

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Южно-Уральский государственный университет»
(национальный исследовательский университет)
Факультет «Химический»
Кафедра «Экология и природопользование»


РАБОТА ПРОВЕРЕНА

Рецензент, доцент кафедры
анатомии УралГУФК, к.пед.н.,
доцент

 И.Ф. Харина
_____ 2016 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

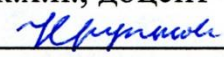
Заведующий кафедрой, д.х.н.,
профессор


_____ В. В. Авдин
_____ 20 мая 2016 г.

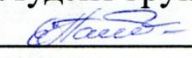
Использование брюхоногих моллюсков для индикации состояния некоторых озер
Ильменского государственного заповедника

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ НИР
ЮУрГУ–022000.2016.888. ПЗ ВК НИР

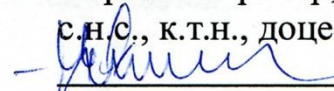
Руководитель НИР,
к.х.н., доцент


_____ Т. Г. Крупнова
_____ 27 мая 2016 г.

Автор НИР
студент группы Хим–442

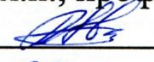

_____ Е.А. Пашина
_____ 26 мая 2016 г.

Нормоконтролер,
с.н.с., к.т.н., доцент


_____ В.Р. Гофман
_____ 9 июня 2016 г.

Челябинск 2016

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
Высшего профессионального образования
«Южно-Уральский государственный университет»
(национальный исследовательский университет)
Факультет «Химический»
Кафедра «Экологии и природопользования»
Специальность «022000 – Экология и природопользование»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой,
д.х.н., профессор

В.В. Авдин
10 июня 2016 г. 2016г.

ЗАДАНИЕ

на выпускную квалификационную работу студента

Пашиной Елены Андреевны

(фамилия, имя, отчество)

1.Тема работы

Использование брюхоногих моллюсков для индикации состояния некоторых озер Ильменского государственного заповедника

утверждена приказом по университету от « 15 » 04 2016 г. № 657

2.Срок сдачи студентом законченного проекта 11.06.16

3.Исходные данные к проекту _____

Данные собраны во время прохождения практики в Ильменском государственном заповеднике

4.Содержание пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов)

Понятие биоиндикации

Характеристика объекта исследования

Методики проведения работ

Результаты и их обсуждение

5.Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

Презентация выпускного квалификационного проекта содержит 22 слайда, выполненных в программе PowerPoint 2010.

Всего 22 листа

6. Дата выдачи задания

01.09.15

Руководитель

Крупнова

/Т.Г. Крупнова/

Задание принял к исполнению

Пашина

/Е.А. Пашина/

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

№ п/п	Наименование этапов дипломного проекта	Срок выполнения этапов проекта	Отметка о выполнении
1	Сбор материала	1.07.15 – 22.07.15	<u>Крупнова</u>
2	Поиск литературных данных по выбранной теме	1.04.16 – 10.04.16	<u>Крупнова</u>
3	Написание литературного обзора	11.04.16 – 5.05.16	<u>Крупнова</u>
4	Описание методик исследования	6.05.16 – 19.05.16	<u>Крупнова</u>
5	Обработка результатов	20.05.16 – 24.05.16	<u>Крупнова</u>
6	Оформление дипломной работы	25.05.16 – 5.06.16	<u>Крупнова</u>
7	Подготовка доклада	6.06.16 – 10.06.16	<u>Крупнова</u>

Заведующий кафедрой

Авдин

д.х.н., профессор В.В. Авдин

Руководитель работы

Крупнова

к.х.н., доцент Т.Г. Крупнова

Студент

Пашина

Е.А. Пашина

РЕФЕРАТ

Пашина Е.А. Использование брюхоногих моллюсков для индикации состояния некоторых озер Ильменского государственного заповедника. - Челябинск: ЮУрГУ, Хим-442, 2016.– 63 с., 20 ил., 12 табл., библиогр. список – 41 наим., 1 прил.

В выпускной квалификационной работе рассмотрено понятие биоиндикации, общие принципы использования биоиндикаторов, а также особенности использования в качестве биоиндикаторов беспозвоночных животных. Приведена характеристика Ильменского государственного заповедника, описаны методы сбора материала, методика проведения физико-химического анализа воды и обработки данных.

В работе выявлена зависимость изменения качественных и количественных параметров *Contectiana listeri* от физико-химических показателей воды.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР.....	8
1.1 Становление и применение биоиндикации для оценки качества окружающей среды	8
1.2 Биоиндикация на различных уровнях организации живой материи	9
1.3 Общие принципы использования биоиндикаторов	12
1.4 Особенности использования беспозвоночных животных в качестве биоиндикаторов.....	16
1.5 Характеристика Ильменского государственного заповедника	23
2 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ	28
2.1 Методика проведения физико-химического анализа воды.....	28
2.2 Методы отбора проб.....	36
2.3 Методы обработки данных.....	38
3 РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ.....	42
3.1 Видовое разнообразие малакофауны озер Ильменское и Аргаяш.....	42
3.2 Модификационная изменчивость <i>Contectiana listeri</i> и расчет вариабельности по исследуемым признакам	42
3.3 Анализ взаимосвязи физико-химических показателей качества воды и модификационной изменчивости <i>Contectiana listeri</i>	47
3.4 Результаты рентгенофлуоресцентного анализа.....	52
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	55
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	57
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	60

ВВЕДЕНИЕ

Конец XX века известен начавшимся научно-техническим прогрессом и последующим экономическим ростом во многих странах, породившим различного рода глобальные экологические проблемы. Для их успешного решения необходима точная и полная информация о наличии и состоянии природных ресурсов, о качестве окружающей природной среды и ее компонентов, а также о причинах и последствиях возникающих экологических бедствий. Антропогенные загрязнения действуют на живые организмы, и в том числе на человека, в самых различных сочетаниях, комплексно. Их интегральное влияние можно оценить только по реакции живых организмов или целых сообществ. Биомониторинг как раз и является средством для получения, обработки, хранения и отображения информации, являющейся основой для прогнозов и, в конечном итоге, для выработки экологически безопасных и экономически эффективных решений.

Применение в качестве биоиндикаторов живых организмов позволяет проводить оценку качества воздуха, воды и почвы. Благодаря специальным индексам и коэффициентам результаты биоиндикации являются достоверными и сопоставимыми. Индикаторные организмы обладают признаками, свойственными системе или процессу, на основании которых производится качественная или количественная оценка тенденций изменений, оценочная классификация состояния процессов и явлений в среде. Однако с точки зрения охраны природы, важнее получить ответ на вопрос, к каким последствиям приведет та или иная концентрация загрязнителя в среде. Эту задачу решает биоиндикация, позволяя оценить биологические последствия антропогенного изменения среды. Физические и химические методы дают качественные и количественные характеристики фактора, но лишь косвенно судят о его биологическом действии. Биоиндикация, наоборот, позволяет получить информацию о биологических последствиях изменения среды и сделать лишь косвенные выводы об особенностях самого фактора. Таким образом, при оценке состояния среды желательно сочетать физико-химические методы с биологическими. Биологические методы контроля качества среды находят широкое применение благодаря простоте использования, экспертности, дешевизне и возможности вести контроль качества среды в непрерывном режиме.

Целью работы - изучить возможность использования брюхоногого моллюска *Contectiana listeri* в качестве биоиндикатора экологического состояния озер Ильменское и Аргаяш.

В соответствии с поставленной целью были решены следующие задачи:

- изучить физико-химические показатели качества воды озер, определить уровень трофности;
- выявить взаимосвязь между физико-химическими показателями качества воды и морфометрическими параметрами раковин моллюсков;
- оценить возможность использования элементного состава раковин и мягких тканей моллюсков в биоиндикационных исследованиях.

Контроль качества окружающей среды с использованием биологических объектов в последние десятилетия оформился как актуальное научно-прикладное направление. Поэтому эта область требует наиболее тщательного рассмотрения.

1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Становление и применение биоиндикации для оценки качества окружающей среды

Зачастую при проведении экологических исследований возникают различные проблемы, связанные со сложностью использования методов анализа, труднодоступностью и дороговизной оборудования, значительными затратами времени, которое необходимо для получения достоверных данных. В результате чего извлечение конкретных результатов задерживается и необходимое решение принимается с опозданием или не принимается вообще. Поэтому в настоящее время всё более часто используют метод индикации [1].

При наблюдении за живыми организмами и их сообществами оцениваются изменения их численности, поведения, морфологии. Такие показатели зачастую отражают перестройки на экосистемном уровне, в том числе и в результате антропогенной деятельности. Это и есть биоиндикация [2].

По определению О.А. Ляшенко [3] *биоиндикация* - это определение биологически значимых нагрузок на основе реакций на них живых организмов и их сообществ. В полной мере это относится ко всем видам антропогенных загрязнений.

По Ю.А. Афанасьеву *биоиндикация* - это оценка состояния среды с помощью живых объектов. Живые объекты (или системы) - это клетки, организмы, популяции, сообщества. С их помощью может проводиться оценка как абиотических факторов (температура, влажность, кислотность, соленость, содержание поллютантов и т.д.), так и биотических (благополучие организмов, их популяций и сообществ) Термин «биоиндикация» чаще используется в европейской научной литературе, а в американской его обычно заменяют аналогичным по смыслу названием «экоотоксикология» [4].

Главной задачей биоиндикации является разработка методов и критериев, которые могли бы выявить ранние нарушения в наиболее чувствительных компонентах природных сообществ [5, 6].

Становление биоиндикации шло параллельно с развитием биологии. Еще в античные времена встречались указания на возможность оценки свойств почв и степени их увлажненности по состоянию растительного покрова. Связь растительности с условиями местообитания подробно описывает в своих работах А. Гумбольдт. А.П. Карпинским были описаны первые схемы растений-индикаторов горных пород, выделено новое направление учения о комплексных индикаторах - растительных сообществах. Позднее биоиндикаторы начали широко использоваться при изучении сельскохозяйственных угодий, климата, ареалов грунтовых вод. Со второй половины XX века начинается активное использование биоиндикации в природоохранных целях. В это же время начало складываться представление о рекреационной дигрессии, то есть изменении природной среды в местах массового отдыха. В направлении количественной биологии можно отметить явный научный бум.

Были опубликованы крупные зарубежные и отечественные обзоры количественных методов в экологических исследованиях [7, 8], а также огромное количество работ посвящённых отдельным аспектам теории, введению и применению мер сходства-различия. С появлением новых методов возрастает интерес к решению многих экологических проблем, были установлены группы видов-индикаторов различных антропогенных воздействий - эвтрофирования водных объектов химического загрязнения почв, влияния на биоту рекреационной деятельности, воздействия на живые организмы приоритетных поллютантов, в том числе ксенобиотиков. Такие группы видов-индикаторов широко используются и в наши дни [3].

Использование методов биоиндикации позволяет решать многие задачи мониторинга. Среди таковых общеизвестный исследователь А.Н. Крайнюкова [9] выделяет:

- токсикологическая оценка промышленных и городских сточных вод для обнаружения вероятных источников высокого и экстремально высокого загрязнения;
- контроль в оперативном и непрерывном режимах аварийных и иных залповых сбросов высокотоксичных сточных вод;
- оценка степени токсичности сточных вод на разных стадиях их формирования с целью проектирования локальных очистных сооружений;
- контроль токсичности сточных вод, подаваемых на сооружения биологической очистки, для предупреждения поступления токсичных веществ в биоценоз активного ила;
- установление уровней безопасного разбавления сточных вод для организмов гидробионтов при корректировке и определении предельно допустимых сбросов;
- токсикологическая оценка сбросных и дренажных вод и выявление водных объектов с опасным уровнем загрязнения воды;
- экологическая экспертиза новых технологий и материалов, проектов строительства и реконструкции очистных сооружений.

1.2 Биоиндикация на различных уровнях организации живой материи

Как известно, биоиндикация может осуществляться на разных уровнях организации живого, начиная с молекулярного и заканчивая экосистемным. С повышением уровня организации биологических систем возрастает и их сложность, так как одновременно усложняется их взаимосвязь с окружающей средой. При этом биоиндикация на высших уровнях включает в себя биоиндикацию на низших уровнях.

Клеточный и субклеточный уровни. Индикация на клеточном и субклеточном уровнях характеризуется узкими пределами протекания биотических и физиологических процессов. К её преимуществам относят высокую чувствительность к нарушениям, позволяющую обнаружить в том числе и незначительное содержание загрязнителей, и выявить их быстро.

Таким образом, именно на этих уровнях возможно наиболее своевременное и качественное выявление нарушений среды. Среди недостатков выделяют необходимость при использовании клеток и молекул в качестве биологических индикаторов высокого уровня технической оснащенности. Загрязнители, действующие на клетки, приводят к последствиям, среди которых выделяют: нарушение биомембран, изменение концентрации и активности макромолекул, накопление загрязняющих веществ, нарушение физиологических процессов в клетке, изменение размеров клеток [4]. Загрязняющие вещества, поглощенные живыми организмами могут быть преобразованы в ходе обмена веществ или же включены в общий метаболизм. Однако обычно большая часть соединений вредных веществ пригодна для использования в незначительном количестве и находится в незагрязненных организмах только в виде следов. Их накопление выше нормального содержания используется как индикационный признак для определения уровней стрессовой нагрузки. Загрязняющие вещества могут напрямую влиять на генетический материал организма и даже вызывать различные мутации. Такого рода нарушения выявляются только с использованием специальной аппаратуры.

Биоиндикация на молекулярном и клеточном уровнях необходима для ранней диагностики в областях с загрязненностью от низкой до средней в случае, когда видимые изменения организма не выявляются [3].

Организменный уровень. Преимуществом биоиндикации на организменном уровне является дешевизна исследования. Это связано с отсутствием необходимости в специальных лабораториях и высококвалифицированных работниках. Среди биоиндикационных показателей у животных можно выделить: снижение темпов роста, интенсивности питания, характера дыхания, изменение плодовитости, поведения, нарушение процессов онтогенеза.

Популяционный и видовой уровни. Как известно, популяция - это естественная пространственная группа особей одного вида. Такая группировка характеризуется плотностью, структурой, особенностями динамики. Изменение этих показателей лежат в основе биоиндикации при помощи популяций.

Природные популяции обычно состоят из нескольких экотипов - групп особей, приспособленных к различным условиям среды. Экотипы способствуют выживанию популяции при изменении условий местообитания. Популяции многих видов включают в себя экотипы с высокой устойчивостью к определенным антропогенным воздействиям. При антропогенном воздействии происходит распространение устойчивых, вытеснение ими чувствительных экотипов. Антропогенные стрессоры воздействуют на характер распространения растений и животных.

На уровне популяции биоиндикация проводится в том случае, если процесс распространения негативных изменений охватывает такое количество особей, при котором заметно сокращается численность популяции, изменяется ее половозрастная структура, сокращается продолжительность жизни, происходит сдвиг фенологических фаз и др.

Биоценотический уровень. Сообщества (или биоценозы) представляют собой совокупность видов растений, животных, микроорганизмов и грибов определенного местообитания. В качестве биоиндикационных используются такие характеристики биоценоза, как общая численность, видовое богатство и разнообразие, видовая структура, экологическая структура (спектры жизненных форм, биотопических групп), а также их изменение во времени. Так, антропогенное воздействие любой природы сопровождается заменой специализированных видов сообщества на эврибионтные. Дальнейшее усиление нагрузки ведет к тому, что в сообществе сохраняются в основном рудеральные и синантропные виды (изменение спектра биотопических групп).

Экосистемный уровень. Под экосистемным уровнем понимается изучение круговорота веществ и потоков энергии. Круговорот веществ происходит с помощью запаса биогенов, организмов-продуцентов (растения, создающие органическое вещество из неорганических), организмов-консументов (животные, распределяющие и регулирующие потоки вещества и энергии) и организмов-редуцентов (грибы и бактерии, которые разлагают органические вещества, восполняя запас биогенов). Среди различных показателей экосистем для биоиндикации представляют интерес трофическая структура и сукцессионные изменения. Изменения трофической структуры выражаются в нарушении соотношения между блоками продуцентов, консументов и редуцентов.

Экосистемный подход позволяет проводить раннюю диагностику изменений окружающей среды. Сигналом тревоги служит ее разбалансировка продукционно-деструкционных процессов. Диагностическими признаками таких сдвигов являются, например, накопление органического вещества, заиление, зарастание водоемов, усиленное развитие микроорганизмов.

В целом, нарушения среды на биоценотическом и экосистемном уровнях приводят к упрощению структуры сообществ и экосистем и нарушению внутренних связей (между видами, экологическими группами, блоками экосистемы и др.), то есть механизмов саморегуляции сообществ и экосистем.

Биосферный уровень. На этом уровне индикаторными показателями являются глобальные изменения водных и наземных экосистем, связанные, в частности, с потеплением климата, фоновым загрязнением окружающей среды, масштабной эвтрофикацией и т.д.

Для более объективной оценки качества окружающей природной среды может быть использован метод комплексной биоиндикации, который основан на использовании комбинации фито- и зооиндикаторов на разных уровнях организации, что позволяет определить изменения в экосистемах на ранних стадиях, в то время как еще не проявляются морфологические и структурные изменения, а также выявить степень устойчивости и реакцию экосистем на воздействие человека, прогнозировать возможные нарушения и принимать меры по их предотвращению.

1.3 Общие принципы использования биоиндикаторов

Установлено, что живым организмам для поддержания нормальной жизнедеятельности необходимы определенные условия. Такие требования выработались в ходе развития вида и определяют его существование в условиях соответствующей экологической ниши. Постоянно находясь во взаимодействии с окружающей средой, живой организм испытывает на себе влияние внешних факторов. Существует разделение таких факторов на абиотические (климатические, эдафические, орографические, химические и др.) и биотические (фитогенные, зоогенные, антропогенные и др.).

Любой организм на генном уровне владеет закрепленным физиологическим порогом толерантности (выносливости) к определенной нагрузке, в пределах которой воздействие является для него переносимым. Реакция организма, его угнетение или процветание находится в зависимости от степени влияния фактора, т.е. каждый вид приспособлен к некоторой интенсивности каждого экологического фактора и к некоторому диапазону его изменчивости.

В соответствии с «законом минимума» Ю. Либиха и «законом толерантности» Шелфорда, нормальная жизнедеятельность организма определяется лимитирующими (ограничивающими) факторами в области пессимума в максимальных и минимальных значениях. Вблизи точек максимума и минимума расположены сублетальные величины экологического фактора, а за пределами зоны толерантности - летальные. Оптимальное значение фактора определить сложно, поэтому принято говорить о зоне оптимума, при котором наблюдается наивысшая продуктивность вида.

Условия среды, выходящие за пределы оптимальной зоны, называются экстремальными и составляют зону угнетения. За пределами зоны толерантности лежат летальные значения, вызывающие гибель организма (рис.1.1).



Рисунок 1.1 - Схема влияния экологического фактора

Физиологический диапазон толерантности является различным для разных стадий развития организма и для всех особей данной популяции. В природе существуют отличающиеся по присутствию и размерам от физиологических (потенциальных) диапазонов толерантности экологические диапазоны присутствия (экологической потенции), которые отражают фактическую реакцию организма на воздействия всех факторов среды. Физиологическая толерантность и экологическая потенция организма определяют его индикаторную ценность [3]. Действие в той или иной степени на биологические системы (организм, популяция, биоценоз) природных или антропогенных факторов и условий среды напрямую отражается на их состоянии.

Биоиндикаторы - организмы, присутствие, количество или особенности развития которых служат показателями естественных процессов, условий или антропогенных изменений среды обитания.

Основываясь на материалах исследований ученых разных стран, можно выделить следующие преимущества, которыми обладают биологические индикаторы:

- при постоянном антропогенном воздействии биологические индикаторы способны отвечать даже на относительно слабые воздействия благодаря наличию кумулятивного эффекта; ответные реакции появляются при накоплении определенных критических значений суммарных дозовых нагрузок;
- суммируют влияние всех без исключения биологически важных воздействий и отражают состояние окружающей среды в целом, включая ее загрязнение и другие антропогенные изменения;
- позволяют проводить исследования без регистрации химических и физических параметров, описывающих состояние окружающей среды;
- определяют скорость происходивших изменений;
- вскрывают направления развития окружающей природной среды;
- с их помощью становится возможным определение мест скопления в экологических системах различного рода загрязнений и ядов, а также возможных путей их попадания в организм человека вместе с пищей;
- позволяют определять степень вредности любых производимых человеком веществ для природной среды и для него самого, при этом предоставляют возможность контролировать их действие.

В целях биоиндикации используются две формы отклика живых организмов - специфическая и неспецифическая.

Специфическая форма показывает, что возникающие изменения связаны с действием определенного фактора. При неспецифической биоиндикации разные антропогенные факторы вызывают одинаковые реакции.

Биологические индикаторы классифицируют также по типу ответной реакции на чувствительные и кумулятивные. В первом случае биоиндикаторы отвечают на воздействия значительным отклонением от жизненных норм, а кумулятивные накапливают антропогенное воздействие, значительно превышающее нормальный уровень в окружающей среде, без видимых изменений.

В качестве биоиндикаторов могут быть использованы представители всех «царств» живой природы. Однако для данного метода не подходят организмы, поврежденные болезнями, вредителями и паразитами. Идеальный биоиндикатор должен отвечать следующим требованиям:

- свойственность данным условиям;
- высокая численность на исследуемой территории;
- продолжительное обитание в данном месте (в течение ряда лет) для возможности прослеживания динамики загрязнения;
- нахождение в условиях, подходящих для отбора проб;
- возможность проведения прямых анализов без первоначального концентрирования проб;
- наличие прямой связи между концентрацией загрязняющих веществ в организме-индикаторе и объекте исследования;
- возможность использования в естественных условиях его существования;
- короткий период онтогенеза для возможности отслеживания действия фактора на последующие поколения.

Однако зачастую отыскать какой-либо организм или группу организмов, способных удовлетворять всем перечисленным требованиям, не представляется возможным. Именно поэтому для биоиндикации используют самые разные группы – от микроорганизмов до рыб и млекопитающих. При индикации пресноводных экосистем излюбленным объектом служат животные макрозообентоса. Они отвечают многим требованиям к биологическим индикаторам, среди которых: повсеместная встречаемость, высокая численность, относительно крупные размеры, удобство сбора и обработки, сочетание приуроченности к определенному биотопу с определенной подвижностью, достаточно продолжительный срок жизни, чтобы аккумулировать загрязняющие вещества за длительный период. Бентосные организмы, как правило, не являются хозяйственно ценными или уникальными объектами, поэтому изъятие их из водоема в исследовательских целях не наносит ущерб его экосистеме [10].

В результате определенного физического или химического воздействия ответная реакция биологического индикатора должна быть четко выражена, то есть специфична, легко определяться визуально или при помощи приборов. Однако для выбора организма-индикатора недостаточно выше перечисленных критериев. Необходимо также учитывать экономическую сторону и характер распространения конкретного организма. Целесообразно отбирать широко распространенные на исследуемом участке виды и не занесенные в «Красную книгу». Помимо бактерий, водорослей, высших растений, беспозвоночных животных и млекопитающих в качестве биологических индикаторов могут быть использованы также пыльца растений, хвоя сосны обыкновенной и др. Для оценки состояния воздуха в городах, особенно на территории крупных промышленных предприятий, часто применяют метод лишеноиндикации.

Этот метод основан на оценке качества воздушной среды при помощи учета видового разнообразия и обилия лишайников. Известно, что встречаемость лишайников напрямую зависит от загрязненности воздуха [11].

Как правило, для более точного определения содержания в природной среде загрязняющего вещества неизвестного химического состава применяют ряд объектов различных групп сообществ. При введении каждого последующего объекта эффективность исследования возрастает. Однако бесконечно расширять набор объектов для использования в такой оценке не считается целесообразным.

Для биоиндикации необходимо отбирать более чувствительные сообщества, характеризующиеся максимальными скоростью отклика и выраженностью параметров. Например, в водных экосистемах наиболее чувствительными являются планктонные сообщества. Они быстро отвечают на изменения окружающей среды из-за короткого жизненного цикла и высокой скорости воспроизводства. Бентосные сообщества, где организмы имеют достаточно длинный жизненный цикл, более консервативны. Перестройки происходят в них при продолжительном хроническом негативном воздействии, которые приводят к необратимым последствиям.

Не менее значимыми характеристиками всякого биоиндикатора считается его достоверность и значимость.

Достоверность - это степень сопряженности индикатора с объектом индикации. Абсолютно достоверным считается индикатор, которому объект индикации соответствует в 100 % случаев. Для определения показателя достоверности берут конкретное число эталонных участков, где обязательно имеется биоиндикатор. Встречаются площадки, где биоиндикатор присутствует вместе с объектом индикации. Процентное соотношение таких площадок и площадок с биоиндикатором, но без объекта индикации служит количественным показателем достоверности биоиндикатора. Если сопряженность превышает 90 %, а показатель достоверности свыше 9, то биоиндикатор считается надежным. Удовлетворительным биоиндикатор является в том случае, если сопряженность составляет 75-90 %, а показатель достоверности находится в пределах 3-9. Сомнительным индикатор считается, когда сопряженность равен 60-75 %, а показатель достоверности составляет 1,5-3. Когда сопряженность менее 60 %, а показатель достоверности менее 1,5 индикация невозможна. Показатель достоверности еще не дает полного представления о практической значимости того или иного индикатора. Например, если растение считается абсолютным индикатором, однако редко встречается в природе, то его практическое значение ограничено. Поэтому для индикаторов вводится показатель значимости, который дает представление о том, насколько часто индикатор встречается вместе с объектом индикации. За 100 % принимается количество эталонных участков с объектом индикации. Значимость выражается отношением количества эталонных участков, где объект индикации присутствует вместе с индикатором, к общему количеству эталонных участков с объектом индикации.

Помимо вышеперечисленных к методам биоиндикации можно отнести выявление на исследуемой территории редких исчезающих видов. Список таких организмов, по сути, является набором индикаторных видов, наиболее чувствительных к антропогенному воздействию [12].

Другим не менее распространенным методом биоиндикации является метод эталонов. Суть его заключается в сравнении исследуемых экосистем с какой-либо фоновой, принятой за образец (эталон) по интересующим показателям. Метод особенно часто применяется при индикации загрязнений, когда сравнение ведется с природными показателями и характеристиками, не затронутыми антропогенным воздействием [3].

1.4 Особенности использования беспозвоночных животных в качестве биоиндикаторов

Главные задачи, решаемые при оценке состояния водной среды, объединяют в три группы:

- угроза инфекционных заболеваний;
- токсичность;
- эвтрофикация.

1.4.1 Угроза инфекционных заболеваний

Первую задачу можно решить при мониторинге загрязнения водоемов сточными водами. Как раз канализационные стоки зачастую содержат патогенные микроорганизмы - основной источник инфекций, который передается через воду. Так как патогенных микроорганизмов много, каждый выявлять трудно и нерационально, был разработан тест на кишечную палочку (*Escherichia coli*). Эта бактерия содержится в больших количествах в толстой кишке человека и отсутствует во внешней среде. *E.coli* не патогенна и даже необходима человеку, но ее присутствие во внешней среде - индикатор неочищенных канализационных стоков, в которых могут быть и патогенные микробы.

Для анализа берут пробы воды объемом 100 мл и подсчитывают содержание в них *E.coli*. Результаты оценивают по табл. 1.1.

Таблица 1.1 - Категорирование загрязнения воды по содержанию кишечной палочки

Содержание <i>E.coli</i> в 100 мл воды	Категория загрязнения воды
0	Безопасна для питья
100-200	Безопасна для плавания
>200	Опасна для плавания

1.4.2 Оценка токсичности

Часто для определения токсичности воды в биоиндикации используют какой-то конкретный вид организмов: рачки дафния (*Daphnia magna*) и артемия (*Artemia salina*), инфузория-туфелька, красные (*Champia parvula*) и бурые водоросли (*Laminaria saccharina*), валлиснерия (*Vallisneria americana*), ряска.

У организмов-индикаторов оценивают выживание, дыхательную активность и иные параметры. К примеру, при помощи ряски можно выявить присутствие ионов тяжелых металлов двумя методами:

- по нарушению движения хлоропластов, которые не концентрируются в клетке со стороны источника света, а перемещаются хаотически;
- по отмиранию клеток листа, что можно обнаружить, используя специальный краситель, легко проникающий в мертвые клетки, но неспособный окрасить живые. Количество мертвых клеток пропорционально концентрации ионов тяжелых металлов в воде.

1.4.3 Эвтрофикация

В зависимости от содержания в воде биогенов выделяют следующие трофические типы водоемов: олиготрофный (бедный биогенами), эвтрофный (богатый биогенами) и промежуточный мезотрофный. В олиготрофных водоемах из-за недостатка биогенов становится невозможным развитие фитопланктона (одноклеточных водорослей в толще воды), однако хорошо развивается бентосная растительность. Данные экосистемы включают в себя достаточное количество видов, они разнообразны и устойчивы. В эвтрофных водоемах обилие биогенов связано с массовым развитием фитопланктона, помутнением воды, обеднением бентосной растительности из-за недостатка света, дефицита кислорода на глубине, что ограничивает разнообразие видов. Экосистема теряет многие виды, упрощается, становится неустойчивой.

Определить трофность водоемов можно при помощи биологических индикаторов. В эвтрофных водоемах обильны и разнообразны черви-коловратки и ветвистоусые рачки-дафнии, в олиготрофных - веслоногие рачки-циклопы.

Другой характеристикой водоемов является степень их органического загрязнения или сапробность. По мере поступления сточных вод образуются следующие зоны загрязнения: полисапробная, а-мезосапробная, б-мезосапробная и олигосапробная. Первыми методом определения степени загрязненности водоемов по живым организмам предложили Кольквитц и Марсон [13]. С тех пор список биологических индикаторов постоянно пополняется.

Полисапробные водоемы характеризуются наличием тех же организмов, что и эвтрофные, а также присутствием водоросли кладофора, колиформных бактерий, червей-трубочников, а из рыб - карпов. Для олигосапробных водоемов характерны виды, свойственные олиготрофным водоемам, а также личинки насекомых: поденок, веснянок и ручейников.

Были разработаны также количественные способы оценки качества водной среды.

Среди них выделяют:

- массовое развитие олигохет - индикатор спуска бытовых отходов. Предложено уровень загрязнения оценивать по плотности этих червей: слабое загрязнение - 100- 999 экз/м², среднее - 1000- 5000; сильное >5000 экз/м²;

- индекс сапробности Сладечека. Организмы полисапробы имеют значимость- 4, а-мезосапробы - 3, б-мезосапробы - 2 и олигосапробы - 1. Относительное количество особей учитывается в баллах: массовые скопления - 5 частая встречаемость - 3, случайные находки - 1. В загрязненных водоемах индекс принимает значения от 4,51 до 8,5; в чистых - от 0 до 0,5 [4].

Для биоиндикации качества водной среды на практике используются в основном все группы живых организмов, обитающие в водоемах: планктонные и бентосные беспозвоночные, простейшие, водоросли, макрофиты, бактерии и рыбы. Всякая из этих групп, выступая в качестве биоиндикатора, располагает своими преимуществами и недостатками, которые в свою очередь выявляют границы ее применения при решении задач биоиндикации, поскольку данные группы оказывают немалое влияние на общий круговорот веществ и энергии в водоемах. Организмы, которые обычно используют в качестве биоиндикаторов, ответственны за самоочищение водоема, участвуют в создании первичной продукции, осуществляют трансформацию веществ и энергии в водных экосистемах. Любое решение по результатам биологического исследования основано на совокупности всех полученных данных, а не на единичных находках индикаторных организмов. Как при выполнении исследования, так и при оценке полученных результатов важно иметь в виду возможность случайных, местных загрязнений в месте исследования. К примеру, отмершие растительные остатки, труп лягушки или рыбы могут вызывать местные изменения в характере населения водоема [12]. Биоценоз и его биотоп существуют в единстве взаимной обусловленности. При внешних нагрузках, воздействующих на биотоп, в биоценозе также происходят изменения, связанные с интенсивностью, характером метаболизма и степени участия в нем фотолитотрофов, хемолитотрофов, фотоорганотрофов и хемоорганотрофов, видового состава и т.д.

Зообентос является хорошим, а в большинстве случаев единственным биологическим индикатором загрязнения донных отложений и придонного слоя воды. Макрозообентос служит основой многих систем биоиндикации: эколого-зонального метода Института гидробиологии, биотических очков Чендлера, биотических баллов, расширенного биотического индекса, биотического индекса р.Трент. Наибольшую биомассу бентоса составляют моллюски, но необходимо помнить, что далеко не все моллюски могут служить надежными индикаторами загрязнения воды и донных отложений. Достоверными индикаторами служат легочные моллюски, особенно катушки и речные чашечки.

При оценке степени загрязнения донных отложений по индикаторным организмам зообентоса стоит принимать во внимание то, что на дне даже очень чистых естественных водоемов и водотоков всегда накапливается определенное, хотя бы и очень небольшое, количество мертвых органических веществ, которые считаются необходимой составляющей среды мезосапробных организмов.

Вследствие этого обычные б-мезосапробы, которые являются показателями загрязнения в планктоне, на дне в большинстве случаев таковыми не будут. Для донных отложений бесспорными показателями загрязнения стоит выделить только а-мезосапробов и полисапробов.

При контроле качества водной среды ведется структурный анализ популяций, биоценозов донных (бентосных) организмов. Видовой состав и количественное развитие биоценозов донных организмов наиболее достоверно выявляют степень загрязненности грунта и придонного слоя воды. В довольно чистых водоемах донные сообщества в хорошо аэрируемых площадках дна отличаются высоким видовым разнообразием, что говорит о нормальном состоянии водной экосистемы. В загрязненных водоемах выпадают группы животных, более чувствительные к определенным загрязнителям. Состав биоценозов видоизменяется, иногда катастрофически, и приводит к замене его иным составом. Организмами зообентоса занято в водоеме два основных биотопа: грунт (поверхность и толща) и растительность. Подвижные организмы способны отрываться от поверхности субстрата и плавать в воде, занимая таким образом третий биотоп - водную толщу в пределах придонного слоя воды или водного пространства в зарослях макрофитов.

Некоторые виды животных могут пребывать в каждом из трех биотопов и обитать в различных условиях загрязнения, так как грунт в большинстве случаев является более загрязненным относительно толщи воды. Грунт в прибрежной зоне и на глубине содержит разные концентрации и виды загрязняющих веществ [14].

Бентос, по В.И. Жадину [15], представляет собой группы организмов, которые взаимодействуют с дном водных объектов как субстратом, на котором (эпибентос) или внутри которого (эндобентос) организмы проводят свою жизнь. Состав и обилие бентоса зависят от многих факторов, из которых наибольшее значение имеют глубина, подвижность воды, колебания уровня, характер грунта, зарастаемость.

Некоторые гидробиологи [15, 16] считают зооперифитон (обитателей различных предметов, находящихся в воде) разновидностью бентоса, но большинство исследователей рассматривают зооперифитон как отдельную, самостоятельную жизненную форму [17, 18, 19]. По степени подвижности различают формы вагильные (бродячие), седентарные (лежащие на грунте без перемещений), сессильные (прикрепленные), закапывающиеся и сверлящие. По размерному признаку выделяют организмы микробентоса (< 0,1 мм), мезо(мейо)бентоса (0,1- 2 мм) и макробентоса (> 2 мм).

Зообентос является одним из значимых составляющих экосистем континентальных водоемов и водотоков, но степень его изученности невелика. Это связано главным образом с многообразием его таксономического состава: в пресноводном зообентосе умеренных широт обитают представители до двадцати классов и десяти типов животных.

Для точной идентификации конкретных таксонов зообентоса необходимо использовать специальные методы, и, кроме того, исследовать морфологические характеристики на основных стадиях онтогенеза и кариологический анализ.

Для зообентоса характерна стабильная локализация на конкретных местах обитания в течение долгого времени. Именно поэтому он считается удобным объектом для мониторинга за антропогенной сукцессией и процессами самоочищения водных экосистем. В состав зообентоса включены наиболее долгоживущие группы гидробионтов – моллюски и олигохеты, продолжительность жизни которых достигает 6 лет, причем на их долю приходится большая доля биомассы зообентоса на многих водоемах и водотоках. Такие долгоживущие компоненты биоты являются хорошими индикаторами хронического загрязнения и устойчивости экосистемы [20, 21, 22].

По мнению Ф.Д. Мордухая-Болтовского, зообентос, в отличие от планктона, в пределах одной зоны обнаруживает значительную неоднородность, образуя несколько, а иногда и большое количество сообществ. Состав и обилие бентоса зависят от определенных факторов, из которых значительную роль играют глубина, подвижность воды, колебания уровня, характер грунта, зарастаемость. Биотопами для биоценозов бентоса являются главным образом площадки с однородными на всем протяжении грунтами, располагающиеся в пределах одной вертикальной (глубинной) зоны.

В прибрежье вероятно выделение верхних горизонтов, осыхающих (или промерзающих) при понижении уровня, население которых вследствие этого беднее (состоит только из видов, выносящих временное осыхание дна). В таких водоемах зону обнажения дна (непостоянного затопления) целесообразно разделять еще на горизонты верхний (собственно осыхающий, обнажающийся еще летом) и нижний (покрывающийся льдом, но с непромерзающими грунтами). Каждый из них может быть особым биотопом и отличается от другого характером бентоса. В реках и речных водохранилищах выделяются те же зоны, но с другими наименованиями: литораль называют рипалью, сублитораль или склон – субрипалью, ложе – медиалью.

Сублитораль (субрипаль) и профундаль по условиям обитания для бентоса различаются незначительно в отличие от литорали глубже лежащих частей. Обе зоны лишены подводной растительности, в естественных водоемах не подвергаются обнажению дна, и здесь биотопы зависят в первую очередь от характера грунта. Механический состав грунта определяется гидродинамическими условиями, в основном течением, размывающим илистые отложения (на отмелях, лежащих вдали от берегов, возможен также размыв волнением).

Состав и количество бентоса значительно меняется в совокупности с изменением характера грунта, причем при переходе к грунтам совершенно иного типа, например от мягких илистых к каменистым или плотным искусственным субстратам, возможна почти полная смена всего состава населения беспозвоночных.

Эта зависимость бентоса от грунта привела к особой терминологии биоценоза – отдельные бентические виды делятся по предпочитаемому ими грунту на литофильные (обитатели камней и других твердых субстратов), гипнофильные (обитающие на торфянистых грунтах), фитофильные (живущие на макрофитах), псаммофильные (обитатели песков), пелофильные (обитатели илов) и промежуточные между ними псаммопелофильные [23]. Население различных грунтов в разных зонах водоема часто считают биоценозами. Возможно, однако, что такие системы не следует приравнивать к настоящим биогидроценозам, а считать более мелкими подразделениями. Массу воды, находящуюся над данным типом грунта, не следует относить к тому же биогидроценозу: во всяком случае, границы биотопов в ней не соответствуют границам грунтов. Некоторые авторы для разных грунтов одной зоны используют выражение «станции» как подразделение биотопа. Поскольку понятие «биоценоз» (сообщество) предполагает взаимосвязь между организмами и между ними и неживой средой, то существование этой связи обычно трудно доказать, большинство авторов говорят о «группировках» или «комплексах» бентоса (как и планктона) [24].

Для экосистемы озер характерны особые условия обитания живых организмов. Общая стабильность водных масс, отсутствие сильных течений, расслоение температурных, газовых и химических свойств воды по вертикали от поверхности дна создают иные условия существования обитания растений и животных в озерах [25]. Озера умеренной зоны (димектические) обладают высокой годовой амплитудой колебания температуры воды. Перемешивание водных масс в таких озерах осуществляется весной и осенью, летом и зимой же наблюдается температурная стратификация (летом температура у дна ниже, чем у поверхности, зимой – наоборот), холодный и теплый слой воды разделены термоклином [26]. Подобные условия способствуют возникновению дефицита кислорода в придонных слоях воды, особенно в период стагнации в озерах большой степени трофности. Организмы, обитающие в озерах, называют лимнобионтами. Для них характерна большая теплолюбивость и меньшая требовательность к насыщению воды кислородом.

Бентос озер наибольшего качественного и количественного богатства достигает в литорали, меньше его в сублиторали и особенно в профундали. Это связано с тем, что фотосинтезирующие организмы обитают в озерах только на мелководье, и поэтому глубинные зоны беднее пищей, нужной для существования гетеротрофных гидробионтов [27].

По мнению ряда специалистов [28, 21, 29, 30], так как зообентос является наиболее долгоживущим и стационарным компонентом гидробиоценоза, то именно он наиболее четко отражает степень загрязнения, особенно хронического. Наиболее достоверными показателями качества вод являются личинки насекомых (ручейников, поденок, хирономид, веснянок). В состав зообентоса входят также стойкие к загрязнению организмы – моллюски и олигохеты с продолжительностью жизни до 7 лет. При оценке загрязнения водных объектов по зообентосу в большинстве случаев более надежны результаты от использования в качестве биоиндикаторов более крупных таксонов, чем видов.

Между оксифильными личинками насекомых и пелофильными олигохетами прослеживается обратная взаимосвязь. Таким образом, надежными показателями качества воды являются соотношение обилия указанных групп зообентоса к суммарному обилию всех донных животных на единицу площади. Особенно хорошие результаты при этом получаются для малых рек.

Существуют и общие закономерности изменения структуры зообентоса под влиянием сильного антропогенного загрязнения, среди которых выделяют сокращение численности и биомассы многих таксономических групп зообентоса (вплоть до полного исчезновения ряда таксонов), сокращение его биологического разнообразия [31].

В настоящее время в мировой практике отсутствует формализованная классификация критериев и индексов, необходимых для решения поставленных задач биомониторинга. Обилие видов живых существ, населяющих водоем, сложность их взаимодействия как между собой, так и со средой обитания, послужили причиной создания многочисленных вариантов методов оценки состояния природных вод. Большая часть этих методов основана на оценке совокупности показателей: числа видов, численностей и биомасс популяций, населяющих водоем. Эти показатели подразделяют на следующие группы [32]:

- простые, главным образом определяющие какой-то индивидуальный компонент экосистемы (например, численность, биомасса или число видов в сообществе);
- комбинированные, характеризующие компоненты с разных сторон (например, видовое разнообразие учитывает как число видов, так и распределение их обилия);
- комплексные, использующие сразу несколько компонентов экосистемы (например, продукция, самоочищающая способность, устойчивость).

По составу и структуре зообентоса предлагается большое количество методов биоиндикации, которые относятся к следующим основным направлениям [33]:

- определение видов-индикаторов сапробности (или толерантных / интолерантных к загрязнению);
- биоиндикация по соотношению числа видов или численности, или биомассе крупных таксонов (типов или классов) – олигохет, ракообразных, моллюсков; отрядов насекомых; подсемейств хирономид;
- расчет биотических индексов;
- оценка уровня таксономического разнообразия;
- биоиндикация по соотношению трофических групп;
- расчет комбинированных индексов;
- общая оценка по комплексу характеристик сообщества;
- сравнение с характеристиками сообществ эталонных участков.

Некоторые из перечисленных методов нашли широкое распространение в природоохранных ведомствах Европейского экономического сообщества (ЕС).

Однако помимо названных преимуществ использования зообентоса в качестве биоиндикаторов, имеются и существенные недостатки:

- необходимо большое количество проб для осуществления достаточной выборки, что может оказаться дорогостоящим;
- факторы, воздействующие не прямым образом на качество воды, могут влиять на распределение и изобилие организмов;
- сезонные колебания могут усложнять интерпретацию и дальнейшее сравнение данных;
- явление дрефта играет значительную роль в распределении организмов;
- большое количество методов для анализа;
- неопределенность таксономии для некоторых групп;
- макрозообентос не чувствителен к определенным загрязнениям (болезнетворным организмам и некоторым загрязняющим веществам).

Моллюски с давних пор привлекают внимание специалистов по биоиндикации удобством препаровки и хранения, высокими коэффициентами накопления загрязняющих агентов, в частности тяжелых металлов и радионуклидов. Моллюски часто доминируют по численности в сравнении с насекомыми, и по биомассе среди донных организмов. Однако, имея толстые створки раковин (двустворчатые) или плотно закрывающиеся крышечки (живородки, затворки, битинии), моллюски относительно более защищены и менее чувствительны к загрязнению в отличие от других гидробионтов. Более чувствительны к загрязнению моллюски-фильтраторы. К ним относят всех двустворчатых моллюсков. Показано, что крупные двустворчатые моллюски обитают в водах удовлетворительной чистоты, мелкие двустворчатые – в загрязненных водах. В связи с этим был предложен индекс относительной численности двустворчатых моллюсков в зообентосе. Он возрастает с повышением качества воды.

П.В. Бедова и Б.И. Колупаев [34] для биоиндикации стали использовать соотношение численности или числа видов брюхоногих и двустворчатых моллюсков. Гастроподы, по их мнению, являются более устойчивыми к дефициту кислорода и большой мутности воды в связи с особенностями дыхательной системы. Для двустворчатых моллюсков вышеперечисленные факторы являются лимитирующими. Известно, что моллюски являются чувствительным объектом для биомониторинга антропогенного загрязнения пресных и морских вод тяжелыми металлами [33].

1.5 Характеристика Ильменского государственного заповедника

Ильменские горы с давних пор славятся своей живописностью и многообразием минералов. Они привлекают внимание ученых с различных уголков планеты. В разное время здесь побывали выдающиеся немецкие коллекционеры и минералогия: И. Менге, А. Гумбольдт, Г. Розе, работали академики Н. И. Кокшаров, П. В. Еремеев, А. П. Карпинский и многие другие.

История исследования Ильмен датируется приблизительно 1800 годом, тогда же о неповторимости и богатстве Ильменских гор стало известно в России и за рубежом. Исторически сложилось так, что Южный Урал в сравнении со странами Западной Европы является менее освоенным в отношении изученности животного и растительного мира. Первые заметки о биоте территории были сделаны во время экспедиции И. Гмелина и П.С. Палласа в конце XVIII века [35].

В 1920 году Ильменские горы были объявлены минералогическим заповедником, который является одним из первых заповедников, возникших в России. В наши дни это природоохранное, научно-исследовательское государственное учреждение, обладающее статусом института в составе Уральского отделения Российской Академии наук.

Наиболее ценной считается научная и природоохранная значимость Ильменских гор как геологического и минералогического объекта общемирового значения. Этим задачам подчинена организационная структура заповедника, представленная тремя основными подразделениями – отделом охраны, биологическим отделом и отделом естественно-научного музея [36].

Ильменогорский комплекс располагается в южной части Сысертско-Ильменогорского мегантиклинория Восточно-Уральского поднятия, имеет складчато-блоковое строение и сложен разнообразными по составу магматическими и метаморфическими породами: ультрабазитами, габброидами, гранитоидами, миаскитами, сиенитами, карбонатитами, амфиболитами, кварцитами, кристаллическими сланцами. Обилие горных пород обусловлено многосложной и продолжительной историей становления Ильменогорского комплекса.

Наибольший практический и научный интерес связан с пегматитовыми жилами (гранитными, сиенитовыми, миаскитовыми), в которых встречаются топаз, аквамарин, фенакит, циркон, сапфир, турмалин, амазонит, различные редкометалльные минералы.

В геоботаническом отношении территория заповедника принадлежит к южно-таежной лесной зоне, к подзоне сосново-березовых лесов, которая на западе примыкает к темнохвойным лесам водораздельных хребтов, а на востоке - к лесостепи зауральского пенеплена. Специфика зонально-географического положения, пересеченный рельеф, многообразие горных пород, пестрота почвенного покрова и обусловили высокое флористическое богатство и разнообразие растительных сообществ в данном регионе. Известно, что 85 % территории заповедника покрыто лесами. Около 55 % лесов составляет сосна обыкновенная, 40% - береза повислая. Здесь насчитывается свыше 900 видов плаунов, хвощей, папоротников, голосеменных и цветковых растений. Выделено около 20 эндемичных видов растений, почти все эндемики относятся к редким, исчезающим видам и нуждаются в охране. К примеру, самая редкая в этих местах орхидея - башмачок крупноцветный и еще два вида башмачков занесены в Красную книгу - крапчатый и венерин.

Разнообразие почв, микроклимата, рельефа, увлажнения создает в этой природной лаборатории такие условия для жизни растений и животных, что здесь находят для себя благоприятную среду не только представители флоры и фауны лесной зоны, но и степей [37].

Если составить список всех видов животных, обитающих в заповеднике, включая простейших или одноклеточных, червей, моллюсков, насекомых, паукообразных, ракообразных и других беспозвоночных, а также и всех позвоночных, то он будет вмещать в себя несколько тысяч наименований. Фауна позвоночных насчитывает 221 вид, состав беспозвоночных животных оценивается более чем в 10 тыс. видов. Самым крупным животным в заповеднике является лось. Другой представитель семейства оленьих в Ильменах – сибирская косуля. Ее следы здесь встречаются чаще, чем, например, следы зайцев или белок. Из крупных хищников обитают лиса, волк и рысь. Остальные хищники, населяющие заповедник, относятся к семейству куньих. Из них самый крупный – барсук. Из местных грызунов преобладают лесные виды: всем известные заяц-беляк и белка, ее полосатый «меньший брат» – бурундук, редкий ночной зверек – летяга, лесная мышь и полевки. Ильменский заповедник является базой для проведения биологических и экологических исследований. Здесь проводят учет растительного и животного мира, пополняя список уже изученных представителей, занимаются изучением взаимосвязей человека, общества и природы [38].

Озера восточного склона Южного Урала согласно М.А. Андреевой [39] весьма разнообразны по гидрологическим и морфологическим показателям, подстилающим породам и типам грунтов, температурному режиму и химизму вод. Такая разнородность объясняется многообразием типов ландшафтов. Тип ландшафта, в свою очередь, определяется строением геологического фундамента, характером рельефа, сочетанием гидротермических условий, типов почв и биогеоценозов. И.И. Великорецкая выделяет в регионе 5 групп озер, относящихся к следующим типам ландшафтов: 1 – южно-таежный низкогорный; 2 – южно-таежный предгорный; 3 – переходный от южно-таежного к лесостепному равнинный ландшафт на пенеппене; 4 – лесостепной ландшафт на третичной равнине; 5 – лесостепной ландшафт в пределах древней четвертичной долины.

Объектом исследований в данной работе являются озера Ильменской группы, названной так по положению в рельефе. Озера этой группы расположены в предгорно-низкогорной зоне восточного макросклона Южного Урала (Южно-Уральская физико-географическая область Уральской горной страны). Территория Ильменского заповедника лежит в пределах двух ландшафтных зон горной и предгорной. Заповедник занимает площадь 30380 га и протягивается с севера на юг на 41 км; ширина его от 5 км в северной части до 13 км в южной.

В горном районе преобладают крупные формы рельефа, крутые склоны. Преобладающие высоты от 300 до 747 м. Вы тянутые с севера на юг хребты сложены в основном щелочными породами: миаскитами, сиенитами с участием гнейсовидных амфиболитов. Основные породы, залегающие в меридиональном направлении с общим падением слоев на восток, на восточном склоне пронизаны многочисленными пегматитовыми жилами.

Основной хребет Ильменский имеет четкую слабоволнистую гребневую линию, хорошо выраженные изгибы и подошвы. Восточный склон состоит из террасоподобных уступов, образовавшихся в результате выветривания горных пород. В южной части гребень слабо расчленен на ряд сопок, отделенных друг от друга пологими седлами, а с запада и юго-запада крутыми логами, часто со скалистыми склонами. Южная оконечность представляет пологие террасоподобные склоны. В северной части гребень острый, с крутыми и обрывистыми западными и с пологими, изборозженными эрозией восточными склонами.

Предгорья, ярко выраженные лишь с восточной стороны, характеризуются увалисто-холмистым рельефом и преобладанием в составе пород гранитных магматитов. Небольшие возвышенности чередуются с озерными котловинами.

Ильменские озера принадлежат к бассейну реки Миасс, протекающей вдоль западной границы Ильменского заповедника вне его пределов. В гидросеть заповедника входят более 30 крупных и мелких озер, занимающих около 9% площади заповедника, множество ручьев и речек, болота, родники и другие источники. Озера Ильменской группы находятся в пределах низкогорной и предгорной зон на высоте 270-375 м над уровнем моря и расположены рядами вдоль меридионально-ориентированных горных хребтов. Все они имеют тектоническое происхождение, хотя и находятся на различных стадиях развития. Вследствие этого, для некоторых из них характерно сложное строение котловин, значительные глубины, изрезанность береговой линии, крутые каменистые берега, для других выравненность береговой линии, блюдцеобразные котловины, небольшие глубины.

По гидрологическому режиму озера Ильменской группы относятся к проточно-сточным и сточным, им свойственна малая проточность и преимущественно грунтовое питание. Проточность озер периодична, что объясняется колебанием уровня воды. Достаточный промывной режим и выщелоченность подстилающих пород обусловили низкий уровень минерализации воды 130-220 мг/л. Для анионного состава характерно преобладание гидрокарбонатных ионов, среди катионов ионов кальция и магния, присутствие ионов щелочных металлов. Все озера данной группы бедны минеральными соединениями железа, фосфора, азота.

По термическому режиму все озера данной группы разделяются на три типа:

- 1) озера с отчетливо выраженным разделением на термические зоны, с ярко выраженным температурным скачком, с холодными придонными массами;
- 2) мелководные озера, прогреваемые до дна, практически гомотермические;
- 3) переходный тип озер, в которых летом сохраняется вертикальный термический градиент со слоем температурного скачка, нижняя граница которого обычно размыва.

Прозрачность воды колеблется от 1,5 м летом до 9,5 м зимой, причем у глубоких озер она намного больше. Ледовый режим озер различен. Ледостав на озерах отмечается в среднем в конце октября – начале ноября. Ледовый покров сходит полностью в конце апреля – начале мая и держится 150-180 дней.

На больших глубоких водоемах фаза ледообразования наступает на полторы-две недели позже, чем на мелких, сроки же их очистки ото льда отличаются всего на 1-5 дней. Максимальная толщина льда в малоснежные зимы достигает 1,2 м.

Характеристика озера Ильменское (рис. 1.2):

- площадь зеркала: 4,56 км²;
- береговая линия: длина – 9,9 км, коэффициент развития – 1,2;
- высота над уровнем моря: 331,4 м;
- глубина: средняя – 2,8 м, максимальная – 6,1 м.



Рисунок 1.2 – Карта-схема точек пробоотбора

Расположено на южной границе Ильменского заповедника и находится на административной территории г. Миасса. Котловина озера Ильменское относится к эрозионно-тектоническому типу, при этом озерная котловина имеет продолговатую форму. Заповедной является только небольшая часть юго-восточного побережья. На западном берегу озера расположены две базы отдыха, на северном – жилой поселок и нефтебаза.

Для сравнительного анализа в ходе исследования были выбраны точки отбора проб, испытывающие антропогенную нагрузку и без таковой. Озеро Аргаяш находится в Аргаяшском районе, у районного центра Аргаяш. Располагается на Зауральской равнине, занимающей переходное положение от Уральских гор к Западно-Сибирской низменности. Озеро приурочено к углублению продолговатой формы, представляющему собой древнетектоническое нарушение, видоизмененное экзогенными процессами. Дно озера выложено иловыми отложениями богатыми органическими веществами, что создает благоприятные условия для обитания микроорганизмов. Берега невысокие, сложены в основном рыхлыми породами. Растительность лесостепная, почвы – выщелоченные черноземы и серые лесные, вода в озере пресная.

2 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

2.1 Методика проведения физико-химического анализа воды

Титриметрический метод. Методы, основанные на титровании, считаются наиболее важными в количественном анализе. Титрование осуществляется путем измерения стандартного раствора, т.е. раствора точно известной концентрации, необходимого для проведения реакции (достижения точки эквивалентности) с неизвестным количеством определяемого вещества. Стандартный раствор называется титрантом объем титранта, затраченного на титрование, тщательно измеряют с помощью бюретки. Определение основано на законе эквивалентов: по окончании реакции число эквивалентов одного реагента равно числу эквивалентов другого реагента. Эквивалент кислоты - это частица вещества, которая в данной реакции высвобождает один ион водорода или соединяется с ним. Эквивалент окисляющегося вещества - это частица вещества, которая в данной реакции может присоединять или высвобождать один электрон. Следовательно, для того чтобы найти молярную массу эквивалентов, следует разделить молярную массу вещества на количество ионов водорода или на количество электронов, которые участвуют в реакции. Эквивалент вещества, принимающего участие в реакции комплексообразования, зависит от соотношения металла и лиганда.

Чтобы незамедлительно определить наступление точки эквивалентности, применяют специальные вещества - индикаторы, изменяющие в точке эквивалентности свой цвет. Например, при кислотно-основном титровании используются ярко окрашенные слабые кислоты либо основания. Поскольку их подбирают так, чтобы второе основание или кислота (индикатор) было более слабым, то оно и титруется кислотой после определяемого вещества. Помимо этого, и концентрация индикатора намного ниже. Об этом следует помнить и никогда не добавлять большое количество индикатора, иначе на его титрование будет расходоваться слишком большое количество титранта.

В окислительно-восстановительном титровании используют редокс-индикаторы. Они представляют собой ярко окрашенные вещества, которые меняют цвет при окислении или восстановлении. Каждый индикатор меняет свой цвет в конкретной области рН или области значений потенциалов. Их выбирают так, чтобы эти области были как можно ближе к точке эквивалентности.

Спектрофотометрический анализ. Метод молекулярной абсорбционной спектроскопии в ультрафиолетовой и видимой областях спектра обычно называют спектрофотометрией. Объектом спектрофотометрических измерений являются, главным образом, растворы. Спектрофотометрический метод, будучи абсорбционным, основан на измерении поглощения света. Его чаще всего измеряют путем сравнения интенсивностей света внешнего источника, падающего на образец и прошедшего сквозь него.

Отметим, что изменение интенсивности света при прохождении через образец может быть вызвано светопоглощением не только определяемого вещества, но и других компонентов (в частности, растворителя), а также рассеянием, отражением и т.д. Для того, чтобы исключить влияние светорассеяния, фотометрируемый раствор должен быть прозрачным. Прочие эффекты можно скомпенсировать, используя раствор сравнения. В простейшем случае им является чистый растворитель или раствор контрольного опыта (содержащий все компоненты, кроме определяемого). Фотометрируемый раствор помещают в кювету - сосуд с плоскими параллельными прозрачными гранями. Раствор сравнения и фотометрируемый раствор помещают в кюветы одинаковой толщины. Светопоглощение измеряют по двух- или однолучевой схеме. При двухлучевой схеме световой поток источника делят на два потока равной интенсивности и пропускают один из них через фотометрируемый раствор, а второй - через раствор сравнения. Величину светопоглощения находят сравнением интенсивностей потоков на выходе из обоих растворов. При однолучевой схеме раствор сравнения и фотометрируемый раствор устанавливают на пути потока поочередно.

В абсорбционной спектроскопии измеряют не абсолютное значение оптической плотности, а разность оптических плотностей исследуемого раствора и раствора сравнения, оптическая плотность которого принята за нуль. Кювету с исследуемым раствором называют рабочей, а с раствором сравнения - кюветой сравнения; обе эти кюветы должны быть по возможности идентичными. Важное требование к кюветам - прозрачность в области спектра, в которое ведется измерение оптической плотности. Для работы в видимой области кюветы делают из стекла, а ультрафиолетовой - из кварца. Кюветы бывают прямоугольными и цилиндрическими. На грани кюветы указывают расстояние между внутренними стенками. Обычно каждый оптический прибор снабжен набором кювет толщиной от 0,5 до 5 см (при работе на спектрофотометрах наиболее употребимы кварцевые кюветы толщиной 1 см).

Среди методов количественного спектрофотометрического анализа выделяют метод градуировочного графика. Метод заключается в том, что готовят серию из 4-6 растворов определяемого вещества с известной концентрацией, измеряют их оптическую плотность при одних и тех же длине волны и длине кюветы, строят график зависимости оптической плотности A от концентрации c [40]. Градуировочные графики приведены в приложении А (рис. А.1-А4).

Потенциометрия. Потенциометрия представляет собой метод определения концентраций веществ, основанный на измерении ЭДС обратимых гальванических элементов. На практике используют два аналитических метода: прямая потенциометрия (рН-метрия, ионометрия) и косвенная потенциометрия. В первом варианте (прямая потенциометрия) измеряют равновесный потенциал индикаторного электрода в анализируемом растворе, а затем используют полученное значение потенциала индикаторного электрода для вычисления концентрации анализируемого иона в растворе.

При потенциометрическом титровании происходит изменение активности химических веществ (в том числе и анализируемого иона), что приводит к изменению потенциала индикаторного электрода. Вблизи точки эквивалентности происходит резкое изменение (скачок) потенциала индикаторного электрода. Это наблюдается, конечно, лишь тогда, когда хотя бы один из компонентов реакции титрования является участником электродной реакции.

рН-метрия. В настоящее время рН считается характеристикой активности ионов водорода. Для определения рН потенциометрическим методом составляют ячейку из стеклянного индикаторного электрода и хлоридсеребряного электрода сравнения, которые погружают в один и тот же испытуемый раствор. При работе со стеклянным электродом используют метод градуировки электрода.

Ионометрия. В методе ионометрии в качестве индикаторного используют ионоселективные электроды с подходящей электродной функцией, в качестве электрода сравнения – хлоридсеребряный электрод (значительно реже – каломельный электрод). Широкое применение получили ионоселективные электроды: фторид-селективный (F^- - селективный), нитрат-селективный (NO_3^- - селективный), калий-селективный (K^+ - селективный), газочувствительные электроды (определение аммиака NH_3 , сероводорода H_2S), ферментные электроды (определение мочевины, глюкозы).

Для построения градуировочного графика измеряют ЭДС гальванической цепи в стандартных растворах с постоянной ионной силой и с известной концентрацией анализируемого иона. Концентрации стандартных растворов подбирают таким образом, чтобы график имел линейную зависимость. Затем определяют ЭДС цепи в анализируемом растворе [41]. Градуировочные графики приведены в приложении А (рис. А.5-А7).

Рентгенофлуоресцентный анализ (РФА) - это быстрый, неразрушающий и безопасный для окружающей среды метод анализа, обладающий высокой точностью и воспроизводимостью результатов. Метод позволяет качественно, полуколичественно и количественно определять все элементы от бериллия до урана, находящиеся в порошкообразных, твердых и жидких пробах. Концентрации вплоть до 100 % можно анализировать напрямую, без какого-либо разбавления пробы с относительным стандартным отклонением меньше ± 0.1 %. Типичные нижние пределы обнаружения - от 0.1 до 10 ppm (одна часть на миллион). Самые современные рентгеновские спектрометры с модульными устройствами смены образцов способны быстро и гибко манипулировать пробами, что позволяет легко адаптировать прибор под требования заказчика. РФА - физический метод анализа, который позволяет напрямую определять в порошкообразных, твердых и жидких пробах почти все химические элементы периодической системы. Материалами для анализа могут быть твердые тела типа стекла, керамики, металла, горной породы, угля, пластмассы, или жидкости типа бензина, масел, красок, растворов, крови и даже вина.

С помощью рентгенофлуоресцентного спектрометра можно определять как очень низкие концентрации на уровне ppm, так и очень большие - вплоть до 100% без всякого разбавления пробы.

Поэтому РФА - это универсальный метод анализа, основанный на простой и быстрой подготовке пробы, который получил широкое распространение, прежде всего в промышленности, а также в области научных исследований. Широкие возможности рентгенофлуоресцентного анализа особенно полезны при крайне сложном анализе объектов окружающей среды, при контроле качества производства и при анализе сырья и готовой продукции. Рентгенофлуоресцентный анализ раковин, мяса моллюсков и донных отложений производили в лаборатории Центра нанотехнологий Южно-Уральского государственного университета на приборе Rigaku SuperMini 200 High-power Benchtop Sequential WDXRF Spectrometer.

Определение растворенного кислорода в воде. Определение проводят по методу Винклера. Метод Винклера представляет собой йодометрическое титрование, когда о концентрации O_2 судят по количеству выделившегося йода. Количество растворенного кислорода определяют в откалиброванных склянках емкостью 150- 200 мл. Исследуемую воду налить так, чтобы не оставалось пузырьков воздуха. Склянки взвесить на весах сначала пустые, потом заполненные водой. Разность двух взвешиваний равна весу воды в склянке. Содержание растворенного кислорода в пробе фиксируют, добавляя в склянки поочередно: 1- 2 мл $MnCl_2$ и 1- 2 мл щелочной смеси. Пипетки при этом опускают ни дно. После фиксации склянку закрыть и перевернуть несколько раз. После добавления осадителей осадок отстоять 20 минут. После отстаивания пробы осадок растворить, добавляя 2- 3 мл концентрированной HCl (кончик пипетки - под поверхностью раствора). Закрыть склянку пробкой и перемешать пробу до полного растворения осадка. Затем отобрать аликвоту 50 мл в коническую колбу и титровать раствором тиосульфата натрия до соломенно-желтой окраски. После этого добавить 1- 2 мл крахмала (появляется синяя окраска) и продолжить титровать тиосульфатом до полного обесцвечивания. Концентрацию растворенного кислорода рассчитывают по формуле:

$$O_2 = \frac{V \cdot N \cdot K \cdot 8 \cdot 1000}{V_1 - V_2}, \frac{мг}{л}, \quad (1)$$

где V - количество тиосульфата, пошедшего на титрование; N - нормальность тиосульфата; K - поправка на нормальность тиосульфата; 8 - эквивалентная масса кислорода; 1000 - пересчет на 1л пробы; V_1 - объем кислородной склянки, мл; V_2 - общий объем реактивов, прибавленных для фиксации кислорода, мл.

Определение окисляемости. Для проведения анализа в коническую термостойкую плоскодонную колбу емкостью 250 мл наливают 20 мл исследуемой и 80 мл дистиллированной воды, 5 мл разбавленной серной кислоты (1:3 по объему) и 10 мл 0,01 н раствора перманганата. В колбу вставляют небольшую воронку и кипятят жидкость в течение 10 мин (от начала кипячения).

К горячей окрашенной жидкости добавляют из бюретки 10 мл 0,01 н раствора щавелевой кислоты и горячий обесцвеченный раствор титруют 0,01 н раствором перманганата до слабо-розовой окраски. Окисляемость x рассчитывают по формуле:

$$x = \frac{(V1 - Vд) \cdot K \cdot 8 \cdot N \cdot 1000}{W}, \quad (2)$$

где $V1$ - количество раствора перманганата калия, истраченного на титрование, мл; $Vд$ - объем перманганата калия, необходимый для окисления дистиллированной воды; K - поправочный коэффициент нормальности перманганата калия; N - нормальность раствора перманганата калия; W - объем воды, взятой для анализа, мл; 8 - эквивалентная масса кислорода, 1000 - пересчет объема на 1 л.

Если раствор при кипячении обесцветился или побурел, необходимо повторить определение с разбавленной пробой. Определение повторяют и тогда, когда перманганата расходуется более 60 % добавленного количества. При титровании разбавленных проб не должно быть израсходовано менее 20 % добавленного перманганата.

Определение содержания ионов хлора. Содержание в воде ионов хлора определяют титрованием раствором нитрата серебра при наличии индикатора хромата калия K_2CrO_4 . Для проведения анализа необходимо отобрать цилиндром 100 мл исследуемой воды и внести в коническую колбу на 250 мл, прилить 1 мл 10 % раствора хромата калия и титровать раствором нитрата серебра до появления кирпично-красной окраски. Содержание ионов хлора (x) в исследуемой воде вычисляют по формуле:

$$x = \frac{V1 \cdot N \cdot Э \cdot 1000}{V}, \quad (3)$$

где $V1$ - объем титранта (азотнокислого серебра); N - нормальность раствора титранта; $Э$ - эквивалент хлора (35,5); V - объем исследуемой воды, взятой на титрование, мл.

Определение содержания свободной углекислоты. Определение свободной углекислоты производится путем титрования ее едким натром в присутствии фенолфталеина. К 100 мл исследуемой воды прибавить 3-5 капель фенолфталеина и титровать 0,02 н раствором NaOH. Конец реакции определяется получением раствора с устойчивой бледно-розовой окраской, соответствующей стандартному раствору. Количество растворенной углекислоты вычисляется по формуле:

$$CO_2 = \frac{V1 \cdot N \cdot 44 \cdot 1000}{V}, \text{ мг/л} \quad (4)$$

где $V1$ - объем раствора NaOH, идущий на титрование, мл; N - нормальность раствора; V - объем воды, взятой для титрования, мл.

Определение общей жесткости воды. Определение жесткости проводят комплексометрическим методом с двунаатриевой солью этилендиаминтетрауксусной кислоты. Титрование проводят в щелочной среде в присутствии индикатора (эриохром черный Т). Для анализа взять цилиндром 100мл пробы исследуемой воды (или меньшее количество при высокой жесткости, доводя объем до 100 мл дистиллированной водой), 5 мл буферного раствора (рН=10) и 0,1- 0,2 г индикатора. После перемешивания пробу оттитровать трилоном Б до перехода окраски из винно-красной до синей. Общую жесткость пробы x , мг-экв/л, вычисляют по формуле:

$$x = \frac{N \cdot V \cdot 1000}{100}, \quad (5)$$

где N - нормальность раствора трилона Б; V - количество раствора трилона Б, израсходованного на титрование, мл.

Определение кальциевой жесткости воды. Ион кальция в щелочной среде при рН выше 10 с мурексидом образует соединения, окрашенные в оранжево-розовый цвет. В этих условиях магний не титруется трилоном Б. Для определения в колбу отбирают цилиндром 100 мл пробы, содержащей не более 15 мг кальция или меньшее количество пробы, разбавленное до 100 мл дистиллированной водой. В коническую колбу емкостью 250 мл внести 100 мл исследуемой воды. Затем прибавить 2 мл 2 н раствора NaOH, на кончике ложечки внести в колбу немного сухого индикатора мурексида и медленно титровать 0,1 н раствором трилона Б при энергичном перемешивании до перехода окраски от красной до лиловой. Расчет содержания иона Ca^{2+} в воде производят по формуле:

$$[Ca^{2+}] = \frac{V \cdot K \cdot N \cdot 1000}{W}, \quad (6)$$

где V - количество раствора трилона Б в мл, израсходованное на титрование; K - поправочный коэффициент к титру раствора трилона Б; N - нормальность раствора трилона Б; W - объем исследуемой воды в мл.

Определение магниевой жесткости воды. Магниевую жесткость определяют расчетным способом, вычитая результаты определения кальциевой жесткости из общей жесткости. Содержание ионов магния вычисляют по формуле:

$$[Mg^{2+}] = (A - B) \cdot L, \text{ мг/л} \quad (7)$$

Определение щелочности. Определение общей щелочности основано на реакции образования нейтральных солей при титровании воды соляной кислотой. К 100 мл исследуемой воды, отмеренной цилиндром в коническую колбу, прилить 2- 3 капли фенолфталеина. Если окраска не появилась, то в ту же колбу добавить 2- 3 капли метилоранжа и титровать 0,1 н раствором соляной кислоты до перехода окраски из соломенно-желтой в оранжевую.

Суммарное количество кислоты, пошедшее на титрование, и есть общая щелочность воды. Титрование нужно вести на белом фоне. Общую щелочность воды находят по формуле:

$$\text{Щ}_0 = \frac{N \cdot V \cdot 1000}{100}, \text{ мг - экв/л} \quad (8)$$

где V - количество кислоты, израсходованной на титрование 1000 мл воды, мл; N - нормальность раствора кислоты.

Определение температуры воды. Для анализа нижнюю часть термометра погрузить в воду и через пять минут произвести отсчет показаний по шкале термометра с точностью 0,1 °С. Мениск ртути должен находиться на уровне глаз. Отсчет температуры должен производиться без извлечения термометра из воды с точностью до 0,1 °С.

Определение содержания ионов аммония. Определение содержания в воде азотсодержащих веществ основано на образовании ими окрашенных соединений с различными реактивами. Метод основан на способности аммиака и ионов аммония образовывать окрашенное в желто-коричневый цвет соединение с реактивом Несслера в присутствии сегнетовой соли. При малых концентрациях аммиака в воде раствор окрашивается в желтый цвет, а при больших - появляется красно-бурый осадок. Для построения градуировочного графика приготовить рабочий раствор ионов аммония. Для этого 50 мл основного стандартного раствора разбавить до 1 л дистиллированной водой в мерной колбе. В мерную колбу емкостью 50 мл отобрать аликвоту рабочего раствора ионов аммония (0; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 мл), разбавить до метки дистиллированной водой. Перелить в пронумерованные емкости. Так последовательно приготовить раствор сравнения (аликвота 0 мл) и 6 стандартных растворов. В отдельные две емкости отобрать по 50 мл анализируемой воды. Далее к каждому раствору добавить 1 мл раствора сегнетовой соли, перемешать, затем добавить 1 мл реактива Несслера и снова перемешать. Через 10 мин фотометрировать растворы относительно раствора сравнения при длине волны 400-425 нм и длине светопоглощающего слоя 3 см. Построить градуировочный график, определить по графику концентрацию ионии аммония в исследуемой воде. Произвести статистическую обработку и записать результат с доверительным интервалом.

Определение содержания нитритов. Наиболее простой способ определения содержания нитритов - определение с реактивом Грисса. Реактив Грисса представляет собой смесь растворов сульфаниловой кислоты и α -нафтиламина. Эти растворы при отсутствии нитритов между собой не реагируют, а в их присутствии образуют соединение красно-фиолетового цвета. Причем интенсивность окраски пропорциональна концентрации нитрит-иона. Для построения градуировочного графика приготовить рабочий раствор нитрит-ионов. Для этого 1 мл основного стандартного раствора разбавить до 1 л дистиллированной водой в мерной колбе.

В мерную колбу емкостью 50 мл отобрать аликвоту рабочего раствора нитрит-ионов (0; 0,2; 0,5; 1,0; 2,0; 5,0; 10,0; 15,0 мл), разбавить до метки дистиллированной водой.

Перелить в пронумерованные емкости. Так последовательно приготовить раствор сравнения (аликвота 0 мл) и 7 стандартных растворов. В отдельные две емкости отобрать по 50 мл анализируемой воды. Далее к каждому раствору добавить 2 мл реактива Грисса и перемешивать. После 40 мин выдержки при комнатной температуре (или 10 мин на водяной бане) фотометрировать растворы относительно раствора сравнения при длине волны 520 нм и длине светопоглощающего слоя 5 см. Построить градуировочный график, определить по графику концентрацию нитритов в исследуемой воде. Произвести статистическую обработку и записать результат с доверительным интервалом.

Определение содержания фосфатов. Для построения градуировочного графика приготовить II рабочий раствор фосфат-ионов. Для этого вначале нужно приготовить I рабочий раствор - 10 мл основного стандартного раствора довести до 1 л дистиллированной водой. Затем 50 мл I рабочего раствора разбавить до 250 мл дистиллированной водой в мерной колбе. В мерную колбу емкостью 50 мл отобрать аликвоту II рабочего раствора фосфат-ионов (0; 0,5; 1,0; 2,0; 5,0; 10,0; 20,0 мл), разбавить до метки дистиллированной водой. Перелить в пронумерованные емкости. Так последовательно приготовить раствор сравнения (аликвота 0 мл) и 6 стандартных растворов. В отдельные две емкости отобрать по 50 мл анализируемой воды, профильтрованной через плотный бумажный фильтр «синяя лента»). Далее к каждому раствору добавить 1 мл молибденовокислого аммония (реактив I, кислый раствор), перемешать и через 5 мин внести 0,1 мл рабочего раствора двухлористого олова (2,5 мл основного раствора двухлористого олова разбавить до 10 мл дистиллированной водой). Через 10-15 мин фотометрировать растворы относительно раствора сравнения при длине волны 690-720 нм и длине светопоглощающего слоя 3 см. Построить градуировочный график, определить по графику концентрацию ортофосфатов в исследуемой воде. Произвести статистическую обработку и записать результат с доверительным интервалом.

Определение общего железа. Для построения градуировочного графика приготовить рабочий раствор ионов железа (III). Для этого 5 мл основного стандартного раствора разбавить до 50 мл дистиллированной водой в мерной колбе. В мерную колбу емкостью 50 мл отобрать аликвоту рабочего раствора ионов железа (III) (0; 0,1; 0,2; 0,5; 0,7; 1,0; 2,0 мл), разбавить до метки дистиллированной водой. Перелить в пронумерованные емкости. Так последовательно приготовить раствор сравнения (аликвота 0 мл) и 6 стандартных растворов. В отдельные две емкости отобрать по 50 мл анализируемой воды. Далее к каждому раствору добавить 5 мл раствора сульфосалициловой кислоты, 5 мл 10%-го аммиака, тщательно перемешать растворы после прибавления каждого реактива. Через 10 мин фотометрировать растворы относительно раствора сравнения при длине волны 440 нм и длине светопоглощающего слоя 3 см.

Построить градуировочный график, определить по графику концентрацию железа общего в исследуемой воде. Произвести статистическую обработку и записать результат с доверительным интервалом.

Определение активной реакции воды (рН), окислительно-восстановительного потенциала (Eh), электропроводности, солесодержания, содержания нитратов и ионов калия. Для определения применяют электролитический метод. Этот метод основан на применении электродов, потенциал которых зависит от концентрации ионов водорода в исследуемом растворе. Определение потенциала электрода производят, измеряя электродвижущую силу (E) концентрационной цепи, состоящей из стандартного электрода с постоянным потенциалом и исследуемого с неизвестным потенциалом, зависящим от концентрации водородных ионов в исследуемом растворе [40].

2.2 Методы отбора проб

Для целей контроля качества воды по показателям зообентоса в настоящее время необходимо произвести отбор проб организмов макробентоса. В качестве основного орудия сбора для количественного анализа донных беспозвоночных использовали дночерпатель. Количество отобранных проб на станции может быть различным в зависимости от структуры группировок зообентоса и площади захвата грунта дночерпателями, но должно быть достаточным для получения статистически достоверного материала. Отбор проб для качественного анализа проводили с использованием скребков, сачков, драги, сита. Однако отбор пробы драгами следует ограничивать, особенно на некоторых водных объектах, с целью сохранения биоценозов донных беспозвоночных. Лучше по возможности применять дночерпатели и скребки. Промывка добытого дночерпателем грунта проводится на водоеме сразу после отбора проб. После промывки осуществляется сбор организмов с промывных сит.

В лаборатории выбранные животные из дночерпательных проб подвергаются разборке по систематическим группам до уровней типа, класса или отряда с последующим более детальным определением систематического положения животных до уровня рода и вида, за исключением трудноопределяемых групп организмов.

Отбор проб воды – операция, от правильного выполнения которой во многом зависит точность получаемых результатов. Отбор проб при полевых анализах необходимо планировать, намечая точки и глубины отбора, перечень определяемых показателей, количество воды, отбираемой для анализа, совместимость способов консервации проб для их последующего анализа. Чаще всего на водоеме отбираются так называемые разовые пробы. Однако при обследовании водоема может возникнуть необходимость отбора и серий периодических и регулярных проб – из поверхностного, глубинного, придонного слоев вод и т.д. Пробы могут быть отобраны также из подземных источников, водопровода и т.п. Усредненные данные о составе вод дают смешанные пробы.

В ходе практических работ берутся готовые оборудование и материалы. Используемые при выполнении анализа растворы, реактивы, посуда и другие компоненты комплекта должны быть предварительно осмотрены.

При осмотре проверяют:

- целостность и герметичность упаковки растворов, реактивов;
- соответствие выбранного для использования реактива (раствора) или посуды требованиям методики анализа, наличие хорошо и однозначно читаемой этикетки, меток на мерной посуде, контрольных шкал;
- отсутствие повреждений мерной посуды, пробирок, контрольных шкал.

Для забора анализа требуется чистая пластиковая бутылка из-под минеральной или питьевой воды. Для проведения химического анализа природной и сточной воды емкость бутылки должна составлять 1,5- 2,0 л. Перед отбором необходимо спускать воду из источника в течение 3 минут. Ополоснуть бутылку данной водой от 3 до 5 раз. Наполнить бутылку водой доверху так, чтобы некоторое количество воды перелилось через край. Плотнo закрыть бутылку с водой так, чтобы между пробкой и водой не осталось прослойки воздуха.

К пробе воды необходимо приложить документ, содержащий следующую информацию:

- точную дату и время, когда была взята проба;
- точное место, где была взята вода;
- откуда вода взята;
- дополнительную информацию: например, сколько времени пропускаялась вода до взятия пробы;
- причину, по которой проба отправляется в лабораторию: например, изменился вкус воды, появился неприятный запах и прочее;
- каким образом производился отбор воды.

При транспортировке оборудования для анализа, склянки с реактивами и растворами и принадлежности следует располагать в укладочных ящиках на предусмотренных для них местах. Это позволит обеспечить надежную доставку комплектов для полевых анализов к месту работы, исключить бой посуды и попадание внутрь контейнеров пыли и других загрязнений. В случае невозможности доставки бутылки с водой в лабораторию анализа воды в день отбора пробы, допускается ее хранение в течение суток.

После проведения анализа мерные склянки и пипетки следует промыть чистой водой, склянки с растворами необходимо герметично закрыть и уложить в укладочные контейнеры. Затруднения при закрывании контейнеров обычно свидетельствуют о небрежности при укладке. Характеристики образцов воды могут определяться непосредственно в отобранных пробах различными методами: визуальным, органолептическим, визуально- колориметрическим, титриметрическим, турбидиметрическим и расчетным.

Такие показатели как показатель кислотности, растворенный кислород, температура воды, температура воздуха измеряют *in situ* с использованием портативного Multitest IPL- 513 и ртутного термометра.

Насыщаемость кислородом рассчитывают исходя из табличных значений равновесного содержания кислорода при соответствующих температурах.

2.3 Методы обработки данных

Метод главных компонент - один из основных способов уменьшить размерность данных, потеряв наименьшее количество информации. Метод главных компонент - наиболее популярный метод сокращения размерности во многих приложениях, в том числе в визуализации данных.

Визуализация или отображение графов, как ответвление теории графов, относящееся к топологии и геометрии - двумерное представление графа. В основном, это графическое представление укладки графа на плоскость (как правило, допускается пересечение рёбер), направленное, обычно, на удобное отображение некоторых свойств графа, или моделируемого объекта. Графы, как правило, отображаются графически при помощи точек для представления вершин отрезков, или ломаных, для отображения рёбер между связанными вершинами. Для каждого графа существует множество различных способов его отображения. Абстрактно, все они сводятся к способам отображения вершин и рёбер. Более конкретно, важно расположение этих вершин и рёбер, удобство восприятия, использования, стоимость создания и эстетические критерии.

Статистическая обработка модификационной изменчивости. Вариации, т.е. степени варьирования, при непрерывной изменчивости отличаются друг от друга на сколь угодно малую величину, определяемую точностью измерения. Характеризовать их можно дробными числами. Если эти числа ранжировать, т.е. располагать по порядку от меньшей к большей величине, то они составят непрерывный ряд, поэтому этот тип изменчивости получил название непрерывного. Вариации при прерывистой, или дискретной, изменчивости отличаются друг от друга на целое число единиц.

Для оценки размаха варьирования (\lim) в единицах необходимо из X_{\max} вычесть число, предшествующее X_{\min} , т.к. последнее уже встречалось. При непрерывной и прерывистой изменчивости количество единиц будет значительно отличаться. Именно это обстоятельство и определяет разные способы дальнейшей обработки. Но в обоих случаях надо, прежде всего, составить вариационный ряд, т.е. систематизировать варьирующие величины. В связи с тем, что каждая из вариаций встречается не по одному разу, определяют их частоты (f), т.е. число вариант (особей), имеющих одинаковое значение вариаций (X).

Для общей характеристики всего материала необходимо среднюю арифметическую величину, которая бы минимально отличалась от всех вариаций. Она и представляет собой основной параметр и определяется как частное от деления суммы всех вариантов (ΣX) на их число (n):

$$X_{cp} = A + \frac{\dot{a} af}{n}, \quad (8)$$

где A – условное среднее (любая из вариаций (X));

$a = X - A$, т.е. отклонение вариаций от условного среднего;

$n = \sum f$ – сумма всех частот, или объем выборки.

В таблице вариационного ряда в колонке « a » первой заполняют строчку $X=A$, в ней ставят 0. Затем нумеруют строчки вверх и вниз от нее. Строчки, идущие вверх, это вариации, отличающиеся от выбранной за условное среднее тем, что они меньше ее, поэтому, кроме числа единиц, на которые они отличаются от A (что совпадает с номером строчки), они получают знак минус. Затем заполняют колонку « af » путем перемножения чисел двух соседних колонок. Алгебраическую сумму произведений записывают в нижней строчке, а затем вносят в формулу.

Кроме общей характеристики изучаемого признака, необходимо объективно оценить его изменчивость. Для характеристики изменчивости используют специальный параметр – стандартное отклонение (или среднее квадратическое отклонение). Обозначают его σ и определяют по формуле:

$$s = \pm \sqrt{\frac{\sum (X - X_{cp})^2}{n - 1}}, \quad (9)$$

где σ – число именованное и выражается в тех же единицах, в которых производилось измерение.

Стандартное отклонение показывает, на сколько в среднем отличается каждая из вариаций от среднего арифметического. Обратная операция – извлечение квадратного корня – нужна для получения линейной величины, что позволяет сравнивать σ со средним арифметическим. Для вычисления используют более простой метод (условного среднего) и пользуются следующей формулой:

$$s = \pm \sqrt{\frac{\sum a^2 f - \frac{(\sum af)^2}{n}}{n - 1}} \quad (10)$$

Для того чтобы воспользоваться этой формулой, необходимо заполнить еще одну колонку в таблице вариационного ряда « a^2f ». При равенстве средних арифметических, чем больше величина σ , тем больше изменчивость. Для характеристики изменчивости вводя еще одну, относительную или безразмерную величину – коэффициент вариации или изменчивости. Он показывает, какую долю σ составляет от X_{cp} . Определяется по формуле:

$$V = \frac{s}{X_{cp}} \times 100\% \quad (11)$$

Можно проверить, на сколько сигм отличаются минимальная и максимальная вариации от среднего арифметического в вариационном ряду. Эта величина обозначается t и называется нормированным отклонением.

$$t = \frac{|X - X_{cp}|}{s} \quad (12)$$

Чем больше по объему выборка, тем точнее t приближается к 3, т.е. проявляется правило, которое так и формулируется как правило трех сигм. Это – закономерность, характеризующая массу случайных явлений. Она характерна и для модификационной изменчивости. Все вариации, как бы они ни различались укладываются в пределы от $X_{cp}-3\sigma$ до $X_{cp}+3\sigma$, т.е. в пределы 6σ . Модификационная изменчивость укладывается в пределы $X_{cp}\pm 2\sigma$, т.е. в 4 сигмы, или в пределах 5,2 сигмы ($X_{cp}\pm 2,6\sigma$).

Для непрерывной изменчивости, где размах варьирования достаточно большой, использование метода ранжирования, как в предыдущем случае, было бы нерационально. В этом случае удобнее прибегнуть при составлении вариационного ряда к приему разбивки на классы, т.е. объединению в одну группу нескольких вариаций. Задача при этом сводится в основном к определению величины классового интервала (λ), т.е. к определению числа вариаций, которые будут объединены в одну группу – класс. Решение ее определяется двумя величинами: размахом изменчивости (lim) и объемом выборки (n). Объем выборки определяет число классов (r). Число классов определяют по таблице 4.

Таблица 2.1 – Зависимость числа классов от объема выборки

n	r
20	5
30-40	6
>40	7

Величину классового интервала определяют по формуле:

$$l = \frac{lim}{r} \quad (13)$$

Прежде всего, производят запись классов. Затем приступают к разноске, т.е. к определению частот (f) тем же способом, как в предыдущем случае. Для определения основных параметров в качестве вариации (X) берут среднее значение класса. Оно определяется как полусумма крайних вариаций, входящих в класс. Таким образом, при разбивке на классы считают, что все варианты, входящие в один класс, одинаковы и в среднем равны рассчитанному X . Рассчитывают X только для одного класса, который будет условно принят как A . Для простоты расчетов $a = X - A$ удобно выражать не в абсолютных величинах, а в относительных, в числе классовых интервалов.

$$a' = \frac{X - A}{l} \quad (14)$$

В таблице вариационного ряда в колонке «а'» на строчке, соответствующей $X=A$, записывают нуль, затем вверх и вниз нумеруют строчки точно так же, как и в предыдущем случае; по тем же причинам цифры, идущие вверх от нуля, получают знак минус. Эта операция по существу сводится к тому, что величина λ выносится за скобки при определении $\Sigma a'f$, что и отражается в формуле:

$$X_{cp} = A + l \times \frac{\overset{\circ}{\Sigma} a'f}{n} \quad (15)$$

Точно также видоизменяется формула для определения стандартного отклонения:

$$s = \pm l \sqrt{\frac{\overset{\circ}{\Sigma} (a')^2 f - \frac{(\overset{\circ}{\Sigma} a'f)^2}{n}}{n - 1}} \quad (16)$$

3 РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

3.1 Видовое разнообразие малакофауны озер Ильменское и Аргаяш

В исследованных точках было обнаружено 11 видов брюхоногих моллюсков (табл. 3.1).

Таблица 3.1 – Численность видов брюхоногих моллюсков в различных точках пробоотбора

Species	Site 1	Site 2	Site 3	Site 4	Site 5	Site 6	Site 7
<i>Anisus vortex</i>	3	0	0	0	0	0	0
<i>Bithynia tentaculata</i>	6	9	33	3	3	9	4
<i>Lymnaea auricularia</i>	0	4	10	3	20	6	16
<i>Lymnaea ovata</i>	1	0	4	1	4	0	0
<i>Lymnaea stagnalis</i>	1	2	4	4	14	22	8
<i>Physa fontinalis</i>	1	0	3	1	0	1	0
<i>Planorbis carinatus</i>	0	0	0	0	3	5	4
<i>Planorbis planorbis</i>	6	5	8	1	17	22	10
<i>Sphaerium corneum</i>	13	5	24	14	10	13	2
<i>Cincinna piscinalis</i>	2	0	3	0	1	9	8
<i>Contectiana listeri</i>	73	89	89	68	69	65	68
Nr. of taxa (total: 11)	9	6	9	8	9	9	8

3.2 Модификационная изменчивость *Contectiana listeri* и расчет вариабельности по исследуемым признакам

На рисунке 3.1 представлена диаграмма распределения количества завитков. Распределение имеет вид гауссианы.



Рисунок 3.1 – Вариационный ряд количества завитков

Произведены расчеты для определения коэффициента вариации (табл. 3.2).

Таблица 3.2 – Вариационный ряд количества завитков

X	f	a	af	a ² f
3	2	-2	-4	8
4	76	-1	-76	76
5	111	0	0	0
6	11	1	11	11
	n=200		∑ af=-69	∑ a ² f=95

Выберем A=5 и найдем среднее арифметическое:

$$X_{cp} = 5 + \frac{-69}{200} = 5 - 0,3 = 4,7 \quad (\text{зав.}).$$

Найдем стандартное отклонение:

$$s = \pm \sqrt{\frac{95 - \frac{4761}{200}}{200 - 1}} = \pm 0,6 \quad (\text{зав.}).$$

Найдем коэффициент вариации:

$$V = \frac{0,6}{4,7} \times 100\% = 12,8\%$$

Аналогичным образом были определены коэффициенты вариации по другим признакам (рис. 3.2, табл. 3.3 – 3.7).

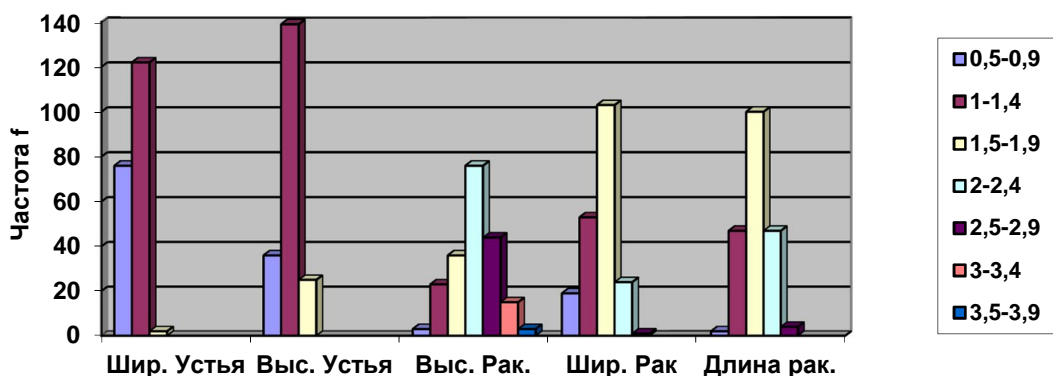


Рисунок 3.2 – Вариационные ряды измеряемых признаков

Таблица 3.3 – Вариационный ряд ширины устья

X	f	a'	a'f	(a') ² f
0,5-0,9	76	-1	-76	76
1-1,4	122	0	0	0
1,5-1,9	2	1	2	2
	n=200		$\sum a'f = -74$	$\sum (a')^2 f = 78$

Выберем A=1,2 и найдем среднее арифметическое:

$$X_{cp} = 1,2 + 0,5 \times \frac{-74}{200} = 1,2 - 0,19 = 1,01 \quad (\text{см}).$$

Найдем стандартное отклонение:

$$s = \pm 0,5 \times \sqrt{\frac{78 - \frac{5476}{200}}{200 - 1}} = \pm 0,252 \quad (\text{см}).$$

Найдем коэффициент вариации:

$$V = \frac{0,252}{1,01} \times 100\% = 24,95\%$$

Таблица 3.4 – Вариационный ряд высоты устья

X	f	a'	a'f	(a') ² f
0,5-0,9	36	-1	-36	36
1-1,4	139	0	0	0
1,5-1,9	25	1	25	25
	n=200		$\sum a'f = -11$	$\sum (a')^2 f = 61$

Выберем A=1,2 и найдем среднее арифметическое:

$$X_{cp} = 1,2 + 0,5 \times \frac{-11}{200} = 1,2 - 0,03 = 1,17 \quad (\text{см}).$$

Найдем стандартное отклонение:

$$s = \pm 0,5 \times \sqrt{\frac{61 - \frac{121}{200}}{200 - 1}} = \pm 0,275 \quad (\text{см}).$$

Найдем коэффициент вариации:

$$V = \frac{0,275}{1,17} \times 100\% = 23,54\%$$

Таблица 3.5 – Вариационный ряд высоты раковины

X	f	a'	a'f	(a') ² f
1-1,4	23	-2	-46	92
1,5-1,9	36	-1	-36	36
2-2,4	76	0	0	0
2,5-2,9	44	1	44	44
3-3,4	15	2	30	60
3,5-3,9	3	3	9	54
	n=200		$\sum a'f = -8$	$\sum (a')^2 f = 286$

Выберем A=2,2 и найдем среднее арифметическое:

$$X_{cp} = 2,2 + 0,5 \times \frac{-8}{200} = 2,2 - 0,04 = 2,16 \text{ (см).}$$

Найдем стандартное отклонение:

$$s = \pm 0,5 \times \sqrt{\frac{286 - \frac{64}{200}}{200 - 1}} = \pm 0,599 \text{ (см).}$$

Найдем коэффициент вариации:

$$V = \frac{0,599}{2,16} \times 100\% = 27,74\%$$

Таблица 3.6 – Вариационный ряд ширины раковины

X	f	a'	a'f	(a') ² f
0,5-0,9	19	-2	-38	76
1-1,4	53	-1	-53	53
1,5-1,9	103	0	0	0
2-2,4	24	1	24	24
2,5-2,9	1	2	2	4
	n=200		$\sum a'f = -65$	$\sum (a')^2 f = 157$

Выберем $A=1,7$ и найдем среднее арифметическое

$$X_{cp} = 1,7 + 0,5 \times \frac{-65}{200} = 1,7 - 0,16 = 1,54 \quad (\text{см}).$$

Найдем стандартное отклонение:

$$s = \pm 0,5 \times \sqrt{\frac{157 - \frac{4225}{200}}{200 - 1}} = \pm 0,413 \quad (\text{см}).$$

Найдем коэффициент вариации по формуле 10:

$$V = \frac{0,413}{1,54} \times 100\% = 26,82\%$$

Таблица 3.7 – Вариационный ряд длины раковины

X	f	a'	a'f	(a') ² f
0,5-0,9	2	-2	-4	8
1-1,4	47	-1	-47	47
1,5-1,9	100	0	0	0
2-2,4	47	1	47	47
2,5-2,9	4	2	8	16
	n=200		$\sum a'f=4$	$\sum (a')^2f=118$

Выберем $A=1,7$ и найдем среднее арифметическое:

$$X_{cp} = 1,7 + 0,5 \times \frac{4}{200} = 1,7 + 0,01 = 1,71 \quad (\text{см}).$$

Найдем стандартное отклонение:

$$s = \pm 0,5 \times \sqrt{\frac{118 - \frac{16}{200}}{200 - 1}} = \pm 0,385 \quad (\text{см}).$$

Найдем коэффициент вариации по формуле 10:

$$V = \frac{0,385}{1,71} \times 100\% = 22,51\%$$

В результате произведенных замеров и расчетов выяснили, что количественные морфологические признаки высоты раковины характеризуются большой, часто непрерывной изменчивостью, на которую существенно влияют экологические факторы.

Сравнивая коэффициент изменчивости признаков, отметили, что вариабельность высоты раковины составляет 27,7%, тогда как вариабельность количества завитков – 12,8%. Следовательно, исследование изменчивости признака высоты раковины позволит оценить роль генотипа и среды в формировании изменчивости особей в естественных популяциях, а также критерии классификации различных форм изменчивости. Поэтому, на наш взгляд, можно ориентироваться на степень равномерного распределения признака при оценке качества воды озера.

Высота раковины использовалась в качестве относительного показателя возраста моллюсков. В каждой точке было определено нормированное количество раковин каждого класса.

3.3 Анализ взаимосвязи физико-химических показателей качества воды и модификационной изменчивости *Contectiana listeri*

В таблицах 3.8- 3.10 представлены физико-химические показатели качества воды озер Ильменское и Аргаяш.

Таблица 3.8 - Данные физико-химического анализа воды оз. Аргаяш

Год / Показатель	2014		2015	
	(Site 8)	(Site 9)	(Site 8)	(Site 9)
t _{возд} (°C)	14±1	14±1	14±1	14±1
t _{H2O} (°C)	24±1	24±1	18±1	18±1
O ₂ , мг/л	6,08±0,02	8,8±0,1	7,8±0,1	7,6±0,1
NO ₃ ⁻ , мг/л	1,42±0,02	1,63±0,02	0,70±0,02	0,59±0,02
Cl ⁻ , ммоль/л	0,955±0,005	1,099±0,005	5,13±0,02	7,42±0,02
K ⁺ , мг/л	2,24±0,02	6,48±0,02	2,40±0,02	2,58±0,02
pH, ед.	8,158±0,005	9,259±0,005	8,376±0,005	8,023±0,005
Eh, мВ	267,9±0,1	208,2±0,1	283,9±0,1	290,4±0,1
Электропроводность	16,70±0,02	18,48±0,02	14,83±0,02	15,49±0,02
Солесодержание	87,98±0,02	97,45±0,02	78,02±0,02	81,51±0,02
NH ₄ ⁺ , мг/л	0,31±0,02	0,22±0,02	0,28±0,02	0,26±0,02
PO ₄ ³⁻ , мг/л	0,005±0,005	0,005±0,005	0,026±0,005	0,042±0,005
Fe _{общ} , мг/л	0,20±0,02	0,16±0,02	0,34±0,02	0,24±0,02
NO ₂ ⁻ , мг/л	0,033±0,005	0,027±0,005	0,014±0,005	0,014±0,005
CO ₂ , мг/л	1,76±0,1	0	4,4±0,1	5,28±0,1
Щелочность, мг-экв/л	1,6±0,1	1,6±0,1	2,0±0,1	1,8±0,1
Жестк. общая, мг-экв/л	1,7±0,1	1,7±0,1	2,8±0,1	2,9±0,1
Жестк. (Ca), мг-экв/л	0,9±0,1	0,9±0,1	1,2±0,1	1,3±0,1
Окисляемость, мгO ₂ /л	14,0±0,1	10,8±0,1	46,4±0,1	37,6±0,1

Таблица 3.9 - Данные физико-химического анализа воды оз. Ильменское за 2014 г.

Год / Показатель	2014						
	(Site 1)	(Site 2)	(Site 3)	(Site 4)	(Site 5)	(Site 6)	(Site 7)
t _{возд} (°C)	14±1	17±1	17±1	25±1	19±1	17±1	21±1
t _{Н2О} (°C)	18±1	15±1	17±1	19±1	18±1	22±1	21±1
O ₂ , мг/л	7,20± 0,02	7,84± 0,02	7,52± 0,02	7,68± 0,02	7,20± 0,02	8,64± 0,02	8,32± 0,02
NO ₃ ⁻ , мг/л	1,24± 0,02	1,52± 0,02	1,32± 0,02	1,49± 0,02	1,71± 0,02	1,96± 0,02	1,96± 0,02
СГ, ммоль/л	1,121± 0,005	1,070± 0,005	1,149± 0,005	1,239± 0,005	1,380± 0,005	1,259± 0,005	1,380± 0,005
K ⁺ , мг/л	4,09± 0,02	4,09± 0,02	4,70± 0,02	2,36± 0,02	4,48± 0,02	1,55± 0,02	2,70± 0,02
pH, ед.	8,159± 0,005	8,237± 0,005	8,288± 0,005	8,459± 0,005	8,617± 0,005	8,876± 0,005	8,852± 0,005
Eh, мВ	271,0± 0,1	274,5± 0,1	212,8± 0,1	249,4± 0,1	256,2± 0,1	248,5± 0,1	226,7± 0,1
Электропроводность	21,83± 0,02	21,53± 0,02	21,72± 0,02	22,59± 0,02	23,22± 0,02	23,22± 0,02	21,66± 0,02
Солесодержание	115,4± 0,1	113,8± 0,1	114,8± 0,1	119,5± 0,1	122,8± 0,1	122,8± 0,1	114,4± 0,1
NH ₄ ⁺ , мг/л	0,088± 0,005	0,62± 0,02	0,9± 0,1	0,93± 0,02	0,71± 0,02	0,74± 0,02	0,85± 0,02
PO ₄ ³⁻ , мг/л	0,005± 0,005	0,005± 0,005	0,050± 0,005	0,026± 0,005	0,005± 0,005	0,005± 0,005	0,016± 0,005
Fe _{общ} , мг/л	0,288± 0,005	0,41± 0,02	0,61± 0,02	0,41± 0,02	0,34± 0,02	0,32± 0,02	0,38± 0,02
NO ₂ ⁻ , мг/л	0,033± 0,005	0,046± 0,005	0,105± 0,005	0,043± 0,005	0,066± 0,005	0,043± 0,005	0,053± 0,005
CO ₂ , мг/л	4,4±0,1	3,5±0,1	3,5±0,1	3,5±0,1	0	0	0
Щелочность, мг-экв/л	1,6±0,1	1,7±0,1	1,8±0,1	1,4±0,1	1,6±0,1	1,7±0,1	1,7±0,1
Жестк. общая, мг-экв/л	2,2±0,1	2,2±0,1	2,4±0,1	2,1±0,1	2,0±0,1	2,2±0,1	2,1±0,1
Жестк. (Са), мг-экв/л	1,6±0,1	1,3±0,1	1,3±0,1	1,3±0,1	1,2±0,1	1,3±0,1	1,3±0,1
Окисляемость, мгО ₂ /л	18,0± 0,1	28,0± 0,1	17,6± 0,1	26,4± 0,1	20,0± 0,1	19,2± 0,1	22,4± 0,1

Таблица 3.10 - Данные физико-химического анализа воды оз. Ильменское за 2015 г.

Год / Показатель	2015						
	(Site 1)	(Site 2)	(Site 3)	(Site 4)	(Site 5)	(Site 6)	(Site 7)
t _{возд} (°C)	13±1	17±1	16±1	17±1	19±1	17±1	18±1
t _{Н2О} (°C)	19±1	18±1	17±1	18±1	21±1	18±1	18±1
O ₂ , мг/л	5,28± 0,02	6,08± 0,02	6,8± 0,1	-	6,48± 0,02	-	6,4± 0,1
NO ₃ ⁻ , мг/л	0,33± 0,02	0,9± 0,1	0,7± 0,1	1,29± 0,02	2,7± 0,1	0,78± 0,02	1,05± 0,02

Окончание таблицы 3.10

Год / Показатель	2015						
	(Site 1)	(Site 2)	(Site 3)	(Site 4)	(Site 5)	(Site 6)	(Site 7)
K ⁺ , мг/л	5,9± 0,1	3,9± 0,1	3,72± 0,02	6,47± 0,02	4,9± 0,1	3,9± 0,1	4,08± 0,02
pH, ед.	8,867± 0,005	8,382± 0,005	8,624± 0,005	8,770± 0,005	8,397± 0,005	8,628± 0,005	8,453± 0,005
Eh, мВ	416,4± 0,1	283,4± 0,1	290,5± 0,1	267,6± 0,1	284,5± 0,1	291,3± 0,1	207,2± 0,1
Электропроводность	21,13± 0,02	17,49± 0,02	17,50± 0,02	17,68± 0,02	18,10± 0,02	17,71± 0,02	18,26± 0,02
Солесодержание	111,16 ± 0,02	92,19± 0,02	92,24± 0,02	93,18± 0,02	95,41± 0,02	93,36± 0,02	96,29± 0,02
NH ₄ ⁺ , мг/л	0,44± 0,02	0,37± 0,02	0,49± 0,02	0,045± 0,001	0,37± 0,02	0,005± 0,005	0,32± 0,02
PO ₄ ³⁻ , мг/л	0,066± 0,005	0,082± 0,005	0,066± 0,005	0,024± 0,005	0,024± 0,005	0,040± 0,005	0,05± 0,02
Fe _{общ} , мг/л	0,36± 0,02	0,46± 0,02	0,46± 0,02	0,36± 0,02	0,34± 0,02	0,36± 0,02	0,42± 0,02
NO ₂ ⁻ , мг/л	0,04± 0,0051	0,023± 0,005	0,035± 0,005	0,003± 0,005	0,018± 0,005	0,003± 0,005	0,016± 0,005
CO ₂ , мг/л	6,16± 0,02	5,28± 0,02	5,28± 0,02	2,64± 0,02	3,52± 0,02	3,52± 0,02	6,16± 0,02
Щелочность, мг-экв/л	2,0± 0,1	1,8± 0,1	1,6± 0,1	1,8± 0,1	1,7± 0,1	2,2± 0,1	1,6± 0,1
Жестк. общая, мг-экв/л	2,6± 0,1	3,0± 0,1	3,2± 0,1	2,4± 0,1	3,2± 0,1	2,0± 0,1	3,1± 0,1
Жестк. (Ca), мг-экв/л	1,7± 0,1	1,9± 0,1	2,4± 0,1	1,4± 0,1	1,6± 0,1	1,1± 0,1	1,8± 0,1
Окисляемость, мгO ₂ /л	21,2± 0,1	24,8± 0,1	32,0± 0,1	18,4± 0,1	18,4± 0,1	13,6± 0,1	20,0± 0,1

Методом граф (рис. 3.3–3.6) были определены главные компоненты, которые оказывают определяющее влияние на размерно-возрастную структуру популяции. На наш взгляд показатели качества воды оказывают наибольшее влияние на молодых особей. На рисунке 3.3 представлен граф по коэффициентам Сьеренсена-Чекановского (центрирование по численности моллюсков с высотой раковины 1,5- 1,9 см). Наилучшая корреляция численности с высотой раковины 1,5–1,9 см выявлена от содержания кислорода (в мг/л и насыщенности в %), окисляемости, неорганического растворенного азота и азота в аммонийной и нитратной формах. Перечисленные факторы, таким образом, оказывают наибольшее влияние на выживаемость эмбрионов.

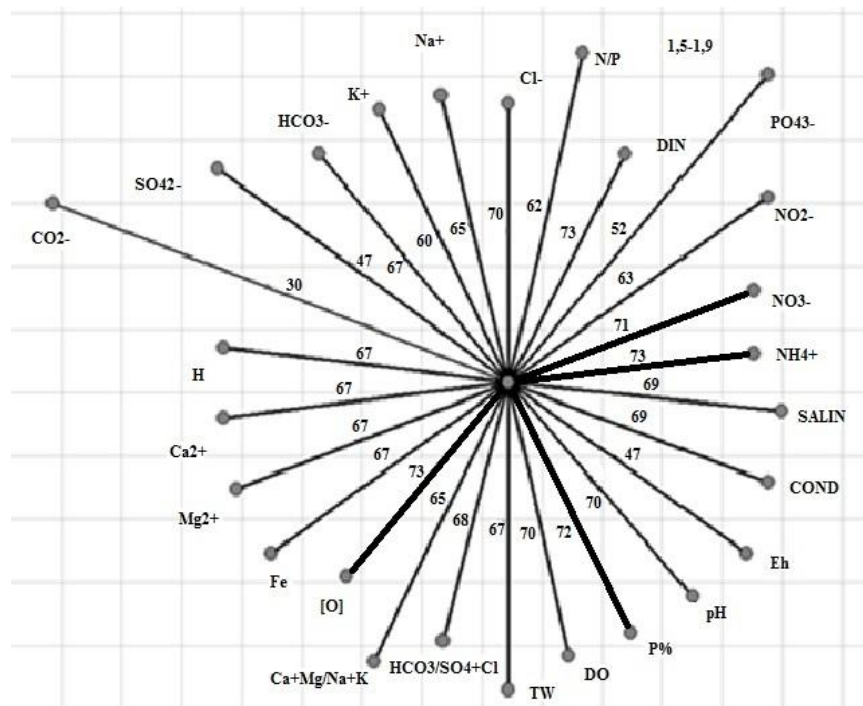


Рисунок 3.3 – Граф по коэффициентам Сьеренсена-Чекановского (центрирование по численности *Contectiana listeri* с высотой раковины 1,5–1,9 см)

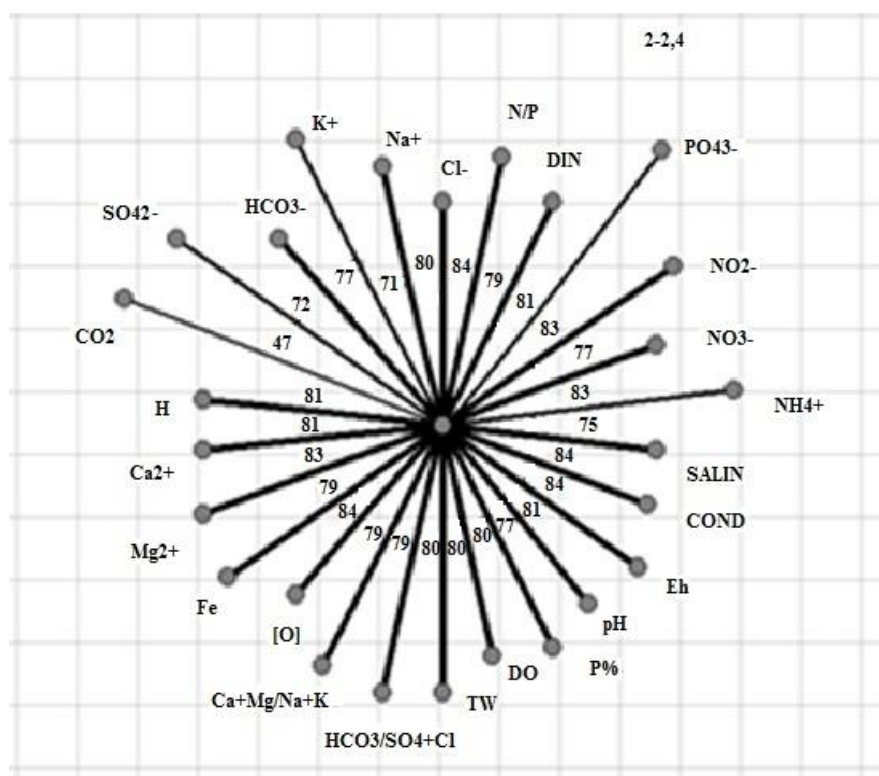


Рисунок 3.4 – Граф по коэффициентам Сьеренсена-Чекановского (центрирование по численности *Contectiana listeri* с высотой раковины 2,0–2,4 см)

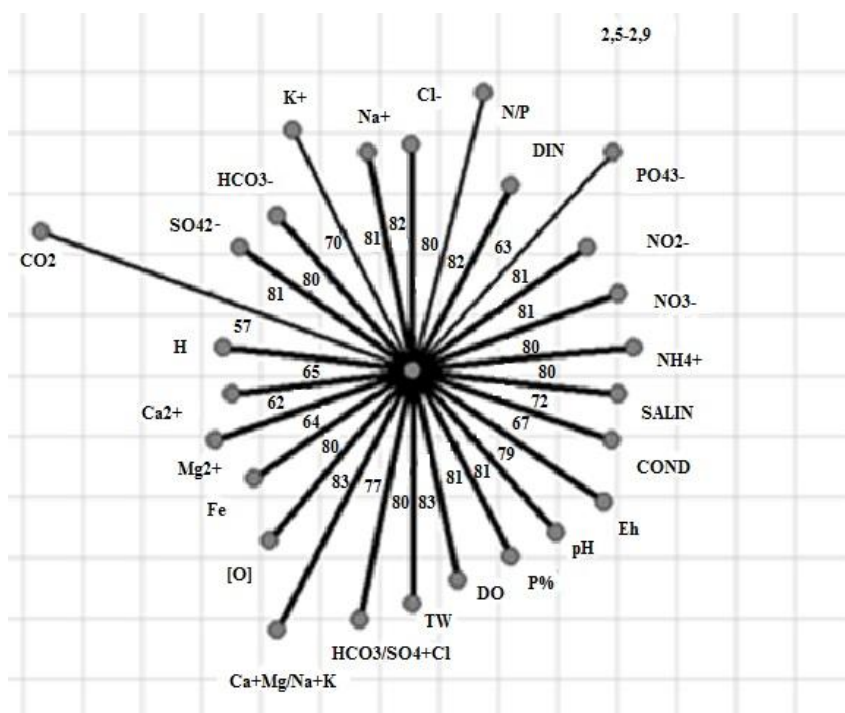


Рисунок 3.5 – Граф по коэффициентам Сьеренсена-Чекановского (центрирование по численности *Contectiana listeri* с высотой раковины 2,5–2,9 см)

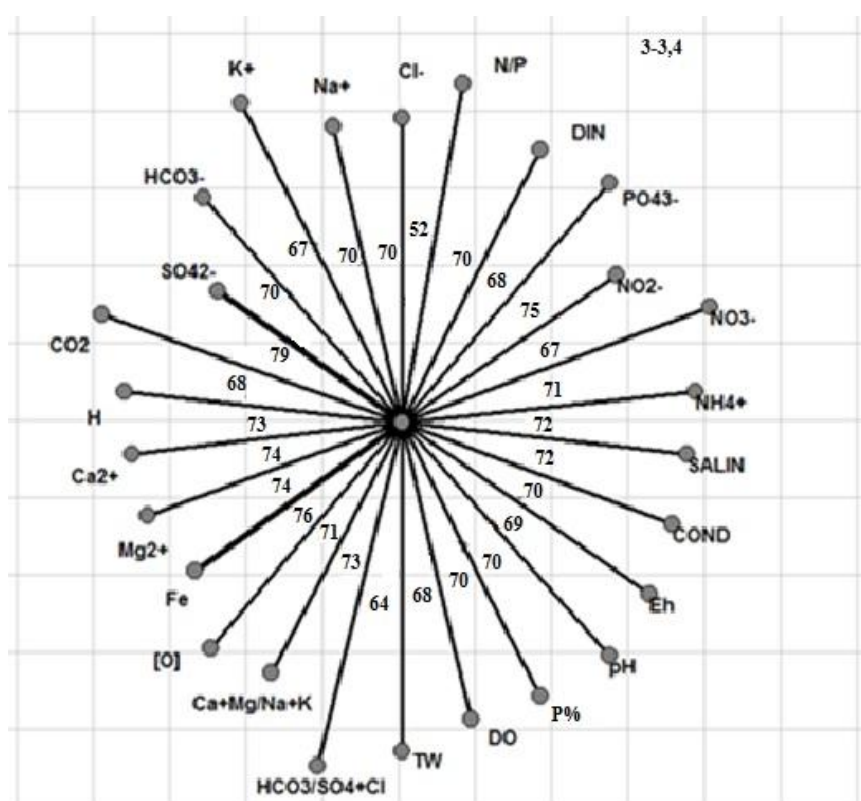


Рисунок 3.6 – Граф по коэффициентам Сьеренсена-Чекановского (центрирование по численности *Contectiana listeri* с высотой раковины 3,0–3,4 см)

3.4 Результаты рентгенофлуоресцентного анализа

Соотношение P/Ca соответствует соотношению органических и неорганических веществ в исследованных образцах. Данное соотношение выше в мягких тканях моллюсков, чем в раковинах (рис. 3). Сера также присутствует преимущественно в органическом веществе тканей моллюсков в составе сульфатированных полисахаридов или серосодержащих аминокислот. Поэтому гистограмма соотношений S/Ca подобна гистограмме P/Ca (см. рис. 3.7).

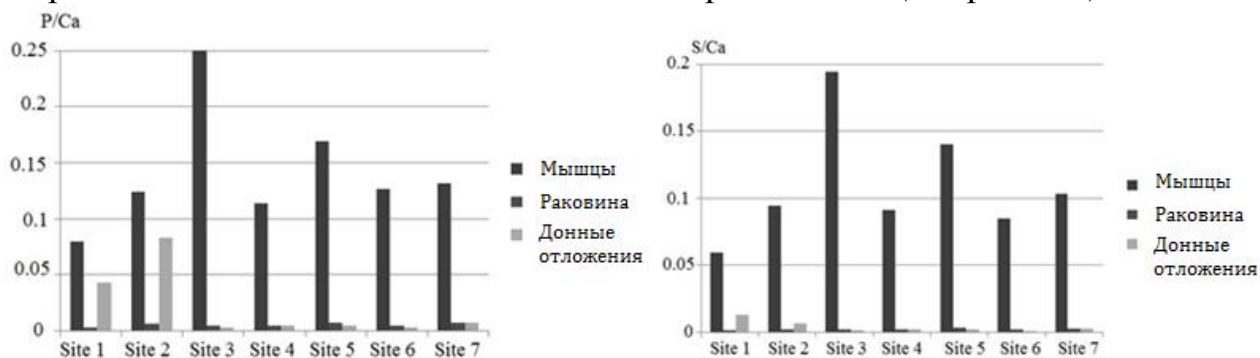


Рисунок 3.7 – Сравнение элементных соотношений P/Ca и S/Ca в мягких тканях, раковинах моллюсков и донных отложениях в различных точках пробоотбора на озере Ильменском

Магний накапливается в основном в мышцах *C. listeri*. Кальций необходим для сокращения мышц, а магний отвечает за расслабление мышц. Магний был обнаружен только в одном образце данных отложений (Точка 1). В раковинах моллюсков магний не содержится. Содержание магния в мягких тканях коррелирует с его содержанием в озерной воде (Рис. 3.8).

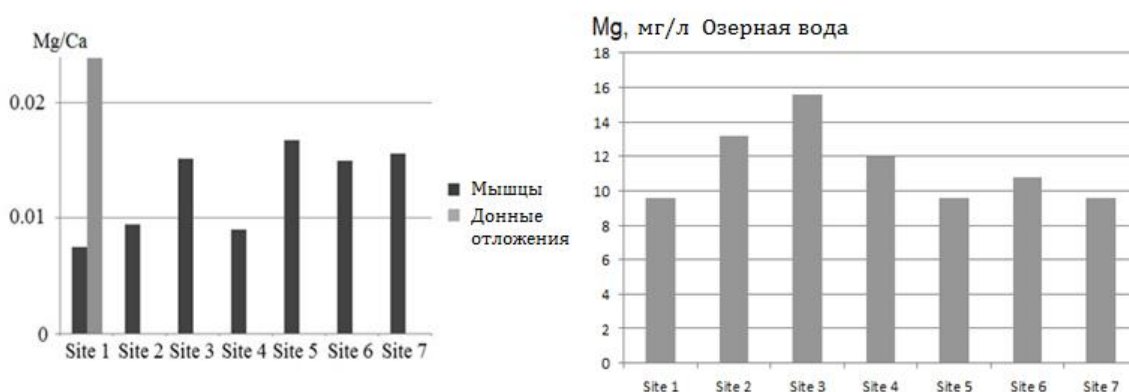


Рисунок 3.8 – Сравнение элементных соотношений Mg/Ca в мягких тканях моллюсков и донных отложениях и концентрации магния в озерной воде в различных точках пробоотбора на озере Ильменском

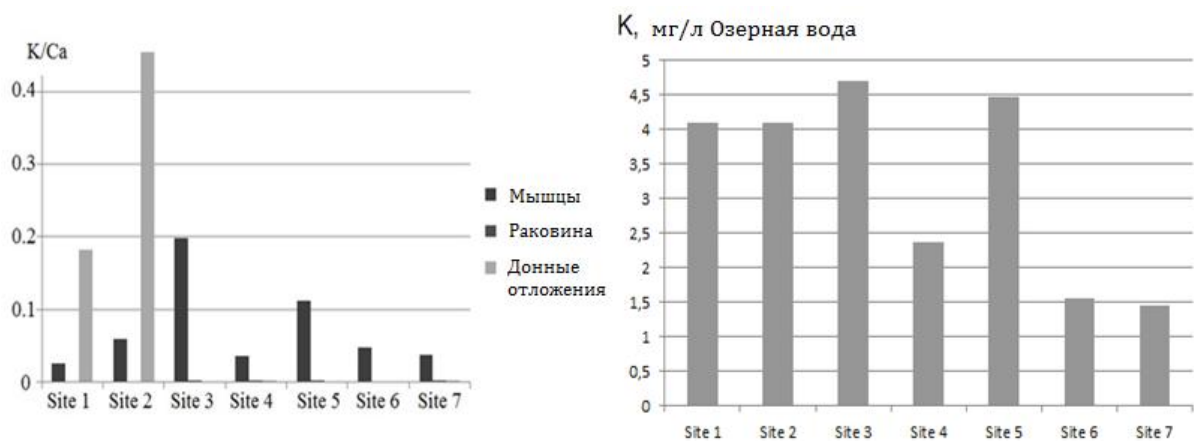


Рисунок 3.9 – Сравнение элементных соотношений К/Са в мягких тканях, раковинах моллюсков и в донных отложениях и концентрации калия в озерной воде в различных точках пробоотбора на озере Ильменском

Гораздо большее количество калия обнаружено в мягких тканях моллюсков, чем в раковинах (рис. 3.9). Калий является важнейшим элементом, обеспечивающим нормальное функционирование клеток, тканей и различных органов брюхоногих моллюсков.

Содержания калия, магния и железа коррелирует с содержанием этих элементов в озерной воде (рис. 3.8–3.10), тогда как корреляции с составом донных отложений не обнаружено.

Железо, стронций, цинка и магний накапливаются в основном в мышцах брюхоногих моллюсков (рис. 3.10, 3.11). Результаты анализов показывают, что концентрации тяжелых металлов в мягких тканях и раковинах моллюсков могут быть значительными.

Следует отметить присутствие меди в организме брюхоногих моллюсков. Медь входит в состав дыхательного пигмента брюхоногих моллюсков. Ее накопление – это отражение физиологических процессов в организме животного.

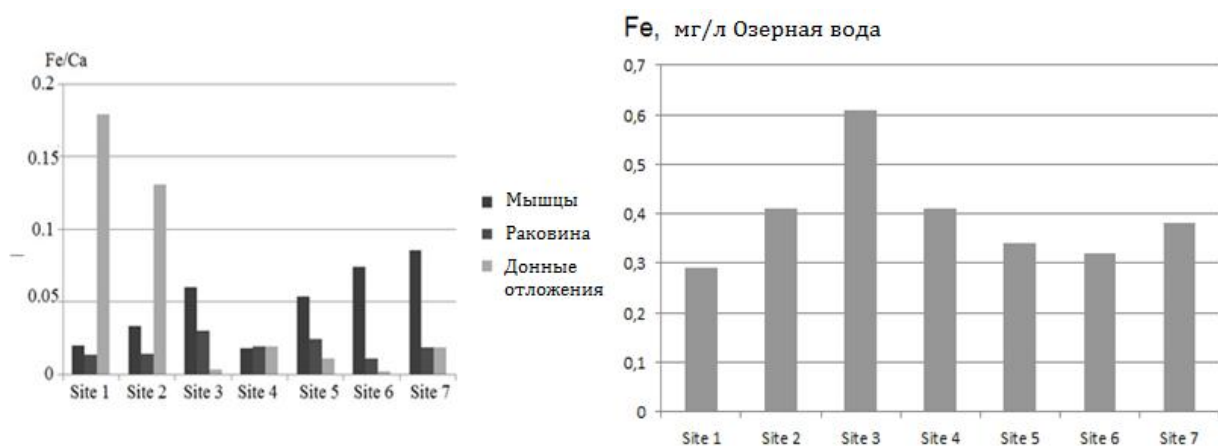


Рисунок 3.10 – Сравнение элементных соотношений Fe/Са в мягких тканях, раковинах моллюсков и в донных отложениях и концентрации железа в озерной воде в различных точках пробоотбора на озере Ильменском

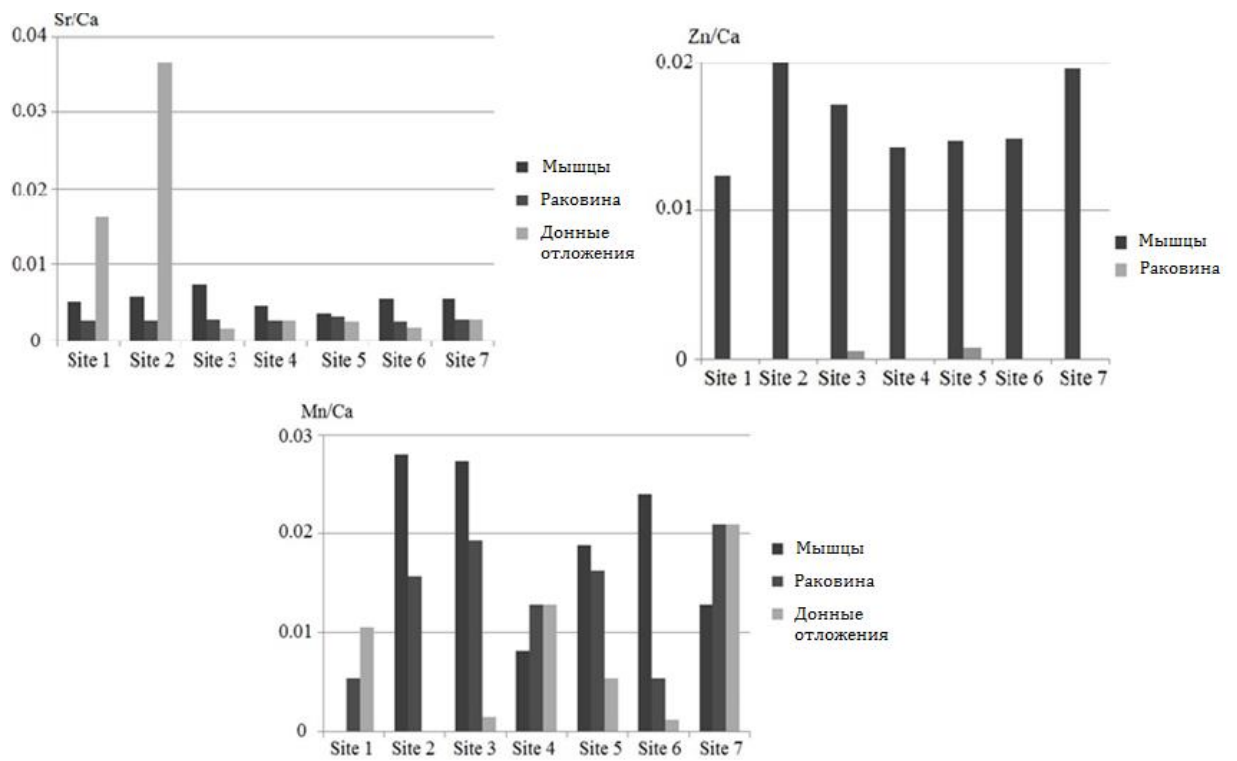


Рисунок 3.11 – Сравнение элементных соотношений Sr/Ca, Zn/Ca, Mn/Ca в мягких тканях, раковинах моллюсков и в донных отложениях в различных точках пробоотбора на озере Ильменском

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования по данным физико-химического анализа были определены уровни трофности озер. Установлено, что озеро Ильменское является мезотрофным, озеро Аргаяш – эвтрофным, что совпадает с литературными данными.

В результате исследования было показано, что высота раковины коррелирует с физико-химическими показателями качества вод, и после дополнительных исследований высота раковины моллюсков может быть использована в биоиндикационных исследованиях.

В работе впервые методом рентгенофлуоресцентного анализа изучен элементный состав раковин и мягких тканей моллюсков распространенного на Южном Урале вида *Contectiana listeria* на примере заповедного озера Ильменское. В целом, наблюдается тенденция более высокого содержания элементов в мягких тканях брюхоногого моллюска *Contectiana listeria*, чем в раковинах. Полученные результаты могут быть использованы в дальнейших исследованиях в качестве эталонных при биомониторинге антропогенно нарушенных озер.

Научные публикации:

Пашина, Е.А. Биоиндикация состояния озер Ильменского государственного заповедника по показателям развития брюхоногих моллюсков / Е.А. Пашина, К.А. Мякишков // XIII Международный научно-практический симпозиум и выставка «Чистая вода России»: сборник материалов (Екатеринбург, 17-19 марта 2015 г.). С. 604-606.

Пашина, Е.А. Использование моллюсков для индикации качества поверхностных вод / Е.А. Пашина, К.А. Мякишков // Пространство общественной жизни: материалы IX Межвузовской студенческой научно-практической конференции (Челябинск, 9 апреля 2015 г.). Челябинск: Издательский дом "Монограф", 2015 – С. 88-89.

Пашина Е.А. Использование модуля «GRAPHS» для выявления индикаторных параметров лужанки обыкновенной (*Viviparus Viviparus*) / Е.А. Пашина, К.А. Мякишков // Труды IV Международной научно-практической конференции молодых ученых «Индикация состояния окружающей среды: теория, практика, образование»: сборник материалов (Москва, 16-18 апреля 2015 г.). Москва: Географический факультет МПГУ, 2015 – С. 34-37.

Пашина, Е.А. Использование брюхоногих моллюсков в биомониторинге / Е.А. Пашина, К.А. Мякишков // БИОЛОГИЯ - НАУКА XXI ВЕКА: 19-я Международная Пущинская школа-конференция молодых ученых: сборник тезисов (Пущино, 20-24 апреля 2015 г.). Пущино, 2015 – 435с.

Пашина, Е.А. Брюхоногие моллюски как экологические индикаторы состояния озер Южного Урала / Е.А. Пашина // Антропогенная трансформация природной среды. Научные чтения памяти Н.Ф. Реймерса и Ф. Р. Штильмарка: сборник материалов (Пермь, 23-25 сентября 2015 г.). Пермь: ФГБОУ ВПО "Пермский государственный национальный исследовательский университет", 2015 – С. 105-110.

Пашина, Е.А. Выявление индикаторных параметров лужанки обыкновенной / Е.А. Пашина, К.А. Мякишков // IV Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых (Брянск, 03-05 июня 2015). Брянск: Изд-во БГИТА, 2015 – С. 69-74.

Пашина, Е.А. Биоиндикация состояния озер Ильменского государственного заповедника по показателям развития брюхоногих моллюсков / Е.А. Пашина, К.А. Мякишков // Международный конкурс научно-исследовательских проектов молодых ученых и студентов: тезисы работ (Екатеринбург, 2015). Екатеринбург: Изд-во Урал.гос.экон.ун-та, 2015 – С. 90-91.

Пашина, Е.А. Мониторинг экологического состояния озер по показателям развития моллюсков / Е.А. Пашина // I Международная школа-конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Биомедицина, материалы и технологии XXI века»: сборник материалов (Казань, 25-28 ноября 2015г.). Казань: Издательство Казанского университета, 2015 – С. 158.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Бродский, А.К. Введение в проблемы биоразнообразия: иллюстрированный справочник / А.К. Бродский. - СПб.: Издательство С.-Петербургского университета, 2002. - 144 с.
- 2 Сергеев, М.Г. Основы экологии: учеб. пособие / М.Г. Сергеев. - Новосибирск: Издательство Новосиб. гос. ун-та, 2007. - Ч. 2. - 108 с.
- 3 Ляшенко, О.А. Биоиндикация и биотестирование в охране окружающей среды: учеб. пособие / О.А. Ляшенко. - СПб.: Издательство СПб ГТУРП, 2012. - 67 с.
- 4 Афанасьев, Ю.А. Мониторинг и методы контроля окружающей среды: учеб. пособие / Ю.А. Афанасьев, С.А. Фомин, В.В. Меньшиков. - М.: Издательство МНЭПУ, 2001. - Ч. 2. - 338 с.
- 5 Мэннинг У.Дж. Биомониторинг загрязнения атмосферы с помощью растений / У.Дж. Мэннинг, У.А. Федер; пер. с англ. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 144 с.
- 6 Никаноров, А.М. Гидрохимия: учеб. пособие / А.М. Никаноров. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 165 с.
- 7 Василевич, В.И. Статистические методы в геоботанике: учеб. пособие / В.И. Василевич. – Л.: Наука, 1969. – 232 с.
- 8 Грейг-Смит, П. Количественная экология растений: учеб. пособие / П. Грейг-Смит. – М.: Мир, 1967. – 360 с.
- 9 Крайнюкова, А.Н. Биотестирование в системе оценки и контроля источников токсического загрязнения водной среды: дис....д-ра биол. наук / А.Н. Крайнюкова. - М.: РГБ, 2003. - 295 с.
- 10 Баканов, А. И. Использование зообентоса для мониторинга пресноводных водоемов / А.И. Баканов // Биология внутренних вод. - 2000. - № 1. - С. 68-82.
- 11 Стадкницкий, Г.В. Экология: учеб. пособие / Г.В. Стадкницкий, А.И. Родионов. - 3-е изд. - СПб.: Химия, 1997. - 240 с.
- 12 Мелехова, О.П. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование: учеб. пособие / О.П. Мелехова, Е.И. Егорова, Т.И. Евсеева. - М.: Издательский центр «Академия», 2007. - 288 с.
- 13 Kolkwitz R., Marsson M. Ökologie der pflanzlichen Saprobien: Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft, Band 26a, 1908. - S. 505-519.
- 14 Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / под ред. В.А. Абакумова. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 239 с.
- 15 Жадин, В.И. Жизнь в реках. Бентос / В.И. Жадин, Е.Н. Павловский // Жизнь пресных вод СССР. - 1950. - Т. 3. - С. 149-183.
- 16 Мордухай-Болтовской, Ф. Д. Особенности водных биогеоценозов и методов их изучения / Ф.Д. Мордухай-Болтовской // Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. – М.: Наука, 1975. – С. 5–9.

- 17 Константинов, А.С. Общая гидробиология: учебник для вузов / А.С. Константинов. – М.: Высш. шк., 1979. – 480 с.
- 18 Зимбалева, Л.Н. Фитофильные беспозвоночные равнинных рек и водохранилищ: экологический очерк. – Киев: Наук. думка, 1981. – 216 с.
- 19 Hutchinson, G.E. A Treatise on Limnology. The Zoobenthos / ed. Y. N. Edmondson. – John Wiley & Sons, Inc., 1993. – V. 4. – P. 944.
- 20 Финогенова, Н.П. Оценка степени загрязнения вод по составу донных животных / Н. П. Финогенова, А.Ф. Алимов // Методы биологического анализа вод. – Л.: ЗИН АН СССР, 1976. – С. 95–106.
- 21 Абакумов, В.А. Зообентос в системе контроля качества вод / В. А. Абакумов, О. В. Качалова // Научные основы контроля качества вод по гидробиологическим показателям: тр. всесоюз. конф. (г. Москва, 1978). – Л. : Гидрометеиздат, 1981. – С. 5–12.
- 22 Методы биоиндикации и биотестирования природных вод: сборник трудов: вып. 2 / под ред. В.А. Брызгалю, Т.А. Хоружей. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 276 с.
- 23 Митропольский, В.И. Зообентос и другие биоценозы, связанные с субстратом / В.И. Митропольский, Ф.Д. Мордухай-Болтовской // Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. – М.: Наука, 1975. – С. 158–170.
- 24 Зенкевич, Л.А. Биология морей СССР: учебник для вузов / Л.А. Зенкевич. – М.: АН СССР, 1963. – 719 с.
- 25 Жадин, В.И. Реки, озера и водохранилища СССР, их флора и фауна: учебник для вузов / В.И. Жадин, С.В. Герд. – М.: Учпедгиз, 1961. – 600 с.
- 26 Хатчинсон, Д. Лимнология (географические, физические и химические характеристики озер) / Д. Хатчинсон; пер.с англ. – М.: Прогресс, 1969. – 530 с.
- 27 Безматерных, Д.М. Зообентос как индикатор экологического состояния водных экосистем Западной Сибири: аналит. обзор / Д.М. Безматерных. – Новосибирск: Издательство ГПНТБ СО РАН, 2007. – 87 с.
- 28 Макрушин, А.В. Биологический анализ качества вод: учеб. пособие / под ред. Г.Г. Винберга. – Л.: АН СССР, 1974. – 60 с.
- 29 DePauw, N. Macroinvertebrates and water quality / N. DePauw, R. Vannevel. – Antwerpen, 1993. – P. 316.
- 30 Мисейко, Г.Н. Биологический анализ качества пресных вод: учебник для вузов / Г.Н. Мисейко, Д.М. Безматерных, Г.И. Тушкова. – Барнаул: АлтГУ, 2001. – 201 с.
- 31 Braukmann, U. Stream acidification in South Germany – chemical and biological assessment and trends // Aquatic Ecology. – 2001. – V. 35. – P. 207-232.
- 32 Шитиков, В.К. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации: учебник для вузов / В.К. Шитиков, Г.С. Розенберг, Т.Д. Зинченко. – Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. – 463 с.
- 33 Безматерных, Д.М. Методы индикации экологического состояния по составу и структуре зообентоса / Д.М. Безматерных // Межрегиональный экологический форум: сб. материалов. – Барнаул: Printexpress, 2004. – С. 66–69.

34 Бедова, П.В. Использование моллюсков в биологическом мониторинге состояния водоемов / П.В. Бедова, Б.И. Колупаев // Экология. – 1998. – № 5. – С. 410–411.

35 Лагунов, А.В. Привлекательность особо охраняемых природных территорий Южного Урала для научного туризма: тез. докладов / А.В. Лагунов, Е.И. Вейсберг // Проблемы экологии, экологического образования и просвещения в Челябинской области. - 2002. - С. 109- 110.

36 Комплексный доклад о состоянии окружающей среды Челябинской области в 2005 году / под ред. А.М. Галичина. - Челябинск: Полисервис, 2006. - 185 с.

37 Официальный сайт Ильменского государственного заповедника - <http://igz.ilmeny.ac.ru/>

38 Ильменский государственный заповедник им. В.И. Ленина - <http://nashural.ru/Mesta/ilmeni.htm>

39 Андреева, М.А. Озера Среднего и Южного Урала: кн. изд. / М.А. Андреева. – Челябинск: Юж.–Ур., 1973. – 270 с.

40 Крупнова, Т.Г. Химия окружающей среды: учеб. пособие / Т.Г. Крупнова, А.М. Кострюкова. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2011. - 59 с.

41 Сагитова, Р.Н. Электрохимические методы анализа: потенциометрия: учеб. пособие / Р.Н. Сагитова, Р.И. Кравцова, Л.Н. Давлетшина. – Казань: Издательство КГАУ, 2010. – 47 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

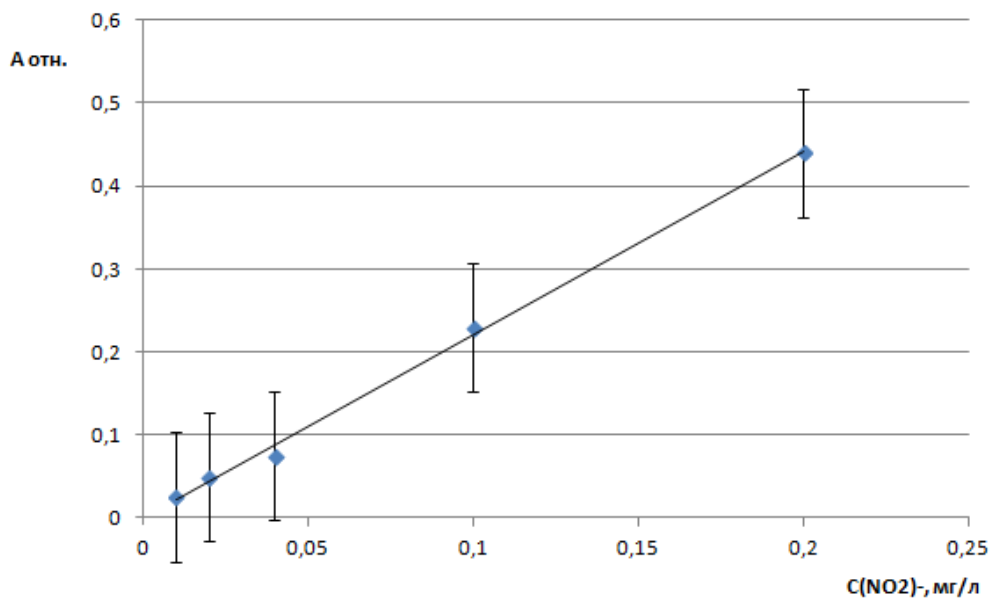


Рисунок А.1 - График зависимости оптической плотности от концентрации раствора $(NO_2)^-$

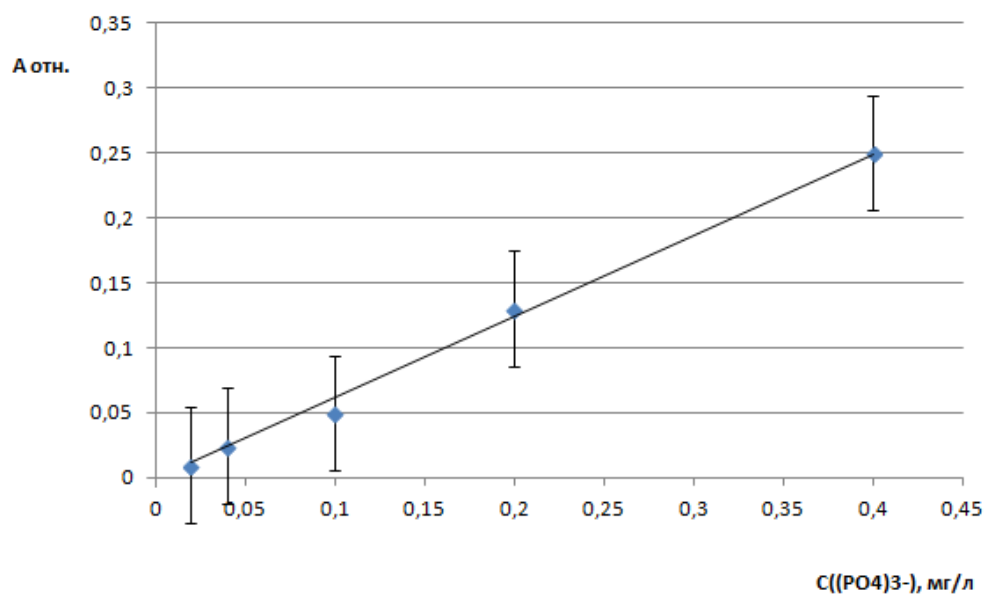


Рисунок А.2 - График зависимости оптической плотности от концентрации раствора $(PO_4)^{3-}$

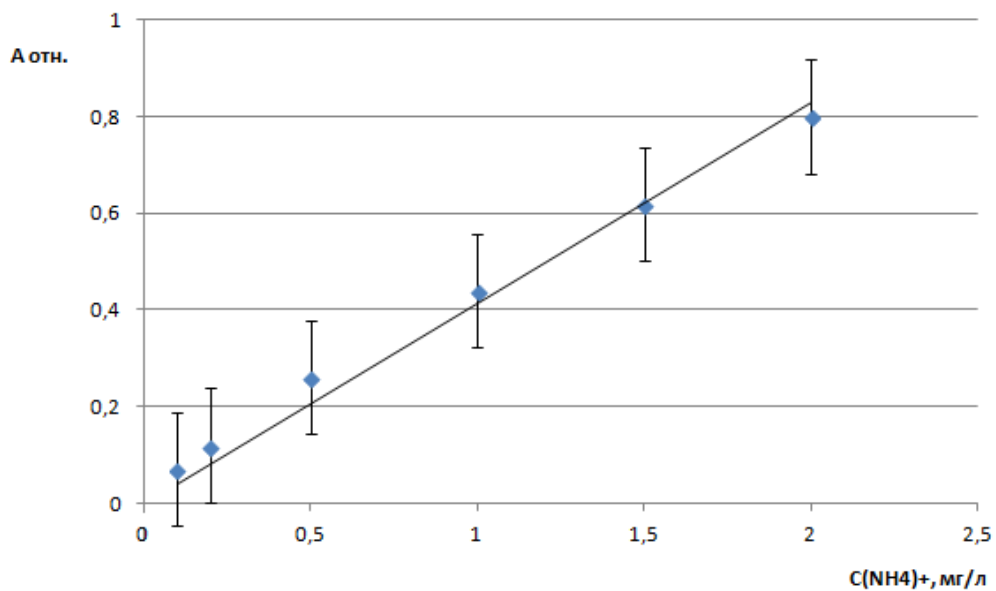


Рисунок А.3 - График зависимости оптической плотности от концентрации раствора $(\text{NH}_4)^+$

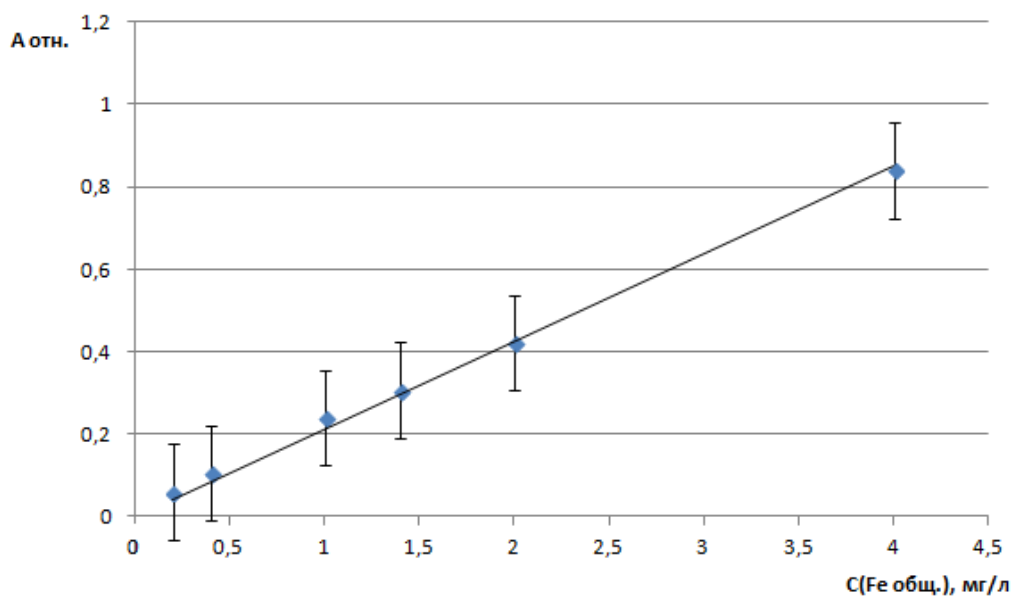


Рисунок А.4 - График зависимости оптической плотности от концентрации раствора $(\text{Fe}_{\text{общ.}})$

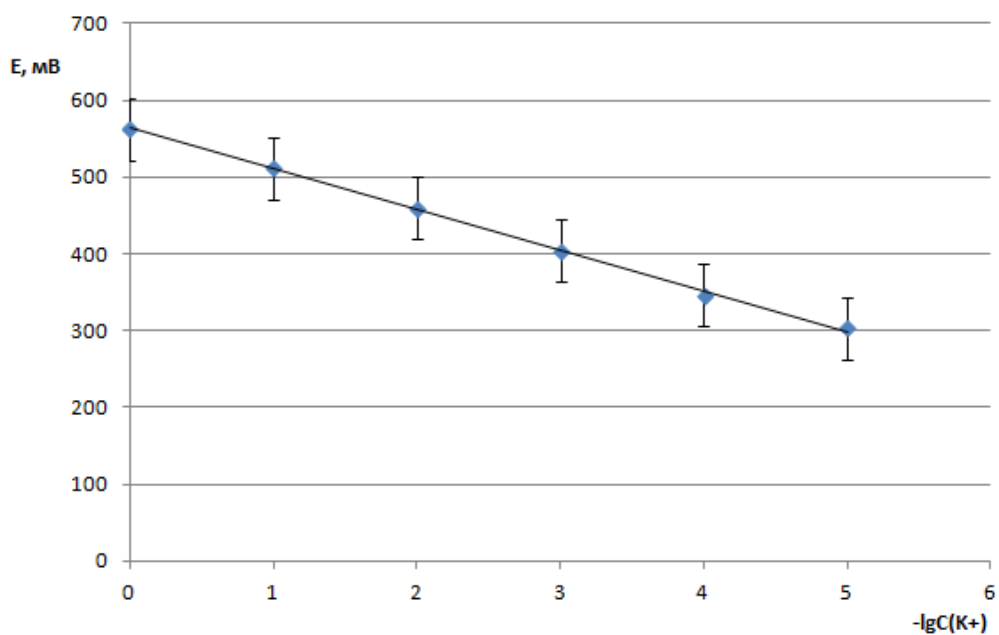


Рисунок А.5 - График зависимости удельной электропроводности от концентрации раствора K^+

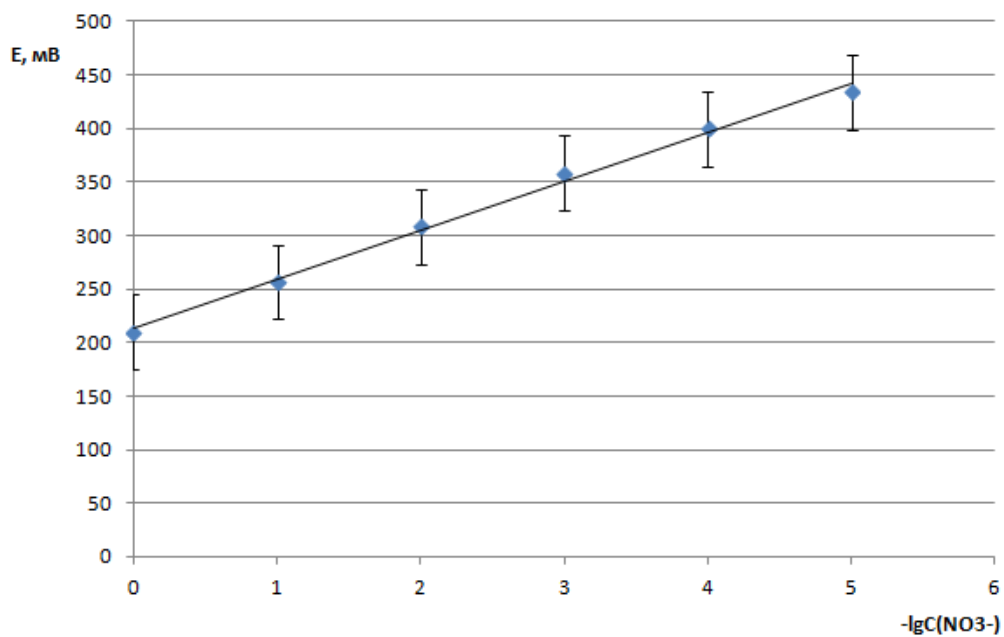


Рисунок А.6 - График зависимости удельной электропроводности от концентрации раствора $(NO_3)^-$

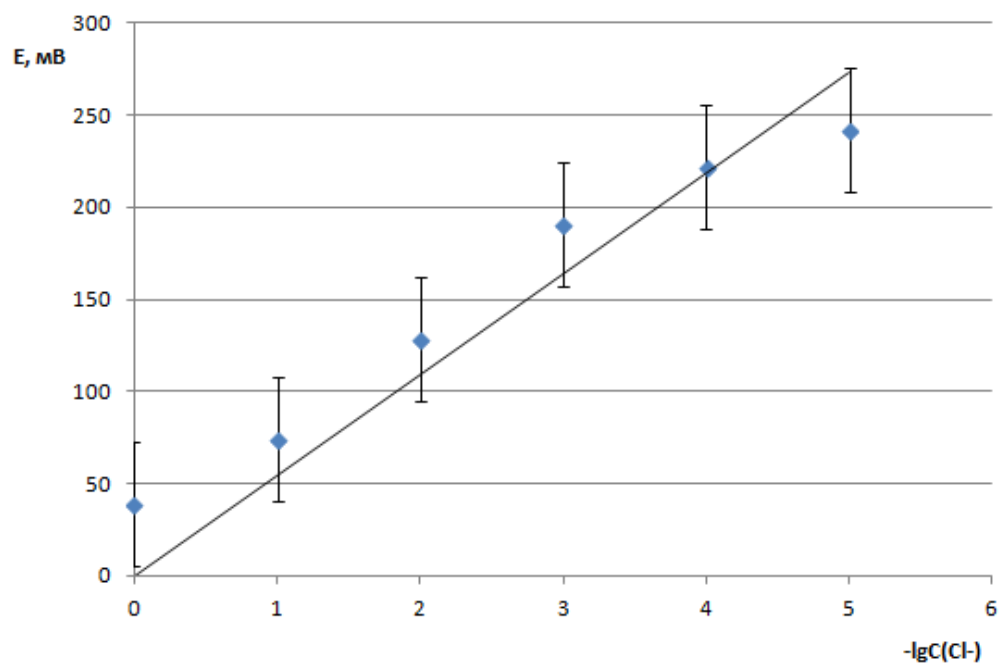


Рисунок А.7 - График зависимости удельной электропроводности от концентрации раствора Cl^-