

Государственное бюджетное нетиповое образовательное учреждение
«Санкт-Петербургский государственный дворец творчества юных»
Эколого-биологический центр «Крестовский остров»

Исследовательская работа:

«Метод очистки загрязнения пресноводных аквариумов от нитратов и
фосфатов с помощью фитофилтра»

Выполнили: **Рольник Софья**, 10 класс;
Яблунина Дарья, 11 класс

Детское объединение: Лаборатория аналитической химии
Руководитель: заведующий лабораторией
ЭБЦ «Крестовский остров»
Ширяев Валерий Алексеевич

Санкт-Петербург,
2024

Оглавление:

Введение.....	3
1. Литературный обзор.....	4
1.1 Качество и характеристики воды.....	4
1.2 Активная кислотность в аквариуме.....	4
1.3 Растворенный кислород.....	5
1.4 Нитраты.....	5
1.5 Нитриты.....	6
1.6 Фосфаты.....	7
1.7 Хлориды.....	8
1.8 Жесткость.....	8
1.9 Аммиак и аммоний.....	9
1.10 Цветность.....	9
1.11 Мутность.....	10
1.12 Схема фитофилтра.....	10
1.13 Сциндапус.....	11
1.14 Сравнение способов очистки аквариума.....	12
2. Материалы и методы.....	13
2.1 Определение нитратов.....	13
2.2 Определение нитритов.....	13
2.3 Определение аммиака/аммония.....	14
2.4 Определение фосфатов.....	14
2.5 Определение растворенного кислорода.....	14
2.6 Определение активной кислотности.....	14
2.7 Определение цветности и мутности.....	15
2.8 Определение хлоридов.....	15
2.9 Математическая обработка измерений.....	15
3. Результаты.....	17
3.1 Показатели воды аквариума.....	17
3.2 Определение показателей аквариумной воды экспресс-тестами.....	17
3.4 Результаты содержания фосфатов в аквариуме.....	18
3.5 Результаты содержания нитратов в аквариуме.....	18
4. Заключение.....	20
4.1. Выводы.....	20
Список литературы.....	21

Введение

В современном мире одним из самых распространенных хобби считается аквариумистика. Аквариумы используют как декоративный элемент для придания уюта дому, в больших аквариумах разводят рыбу на продажу, в качестве корма животным, дабы не наносить ущерб естественным популяциям [1]. Какими бы ни были цели обустройства искусственного водоема, в первую очередь встают вопросы: какие виды рыб заселить в водоем, чем питаются данные виды, как часто и каким образом очищать воду. На все эти вопросы вам с легкостью ответит аквариумист.

Одна из самых важных частей аквариума – вода, от уровня ее загрязнения зависит буквально все, начиная от жизни обитателей и заканчивая функционированием фильтра. Качество воды – это характеристика состава и свойств воды, определяющая ее пригодность для конкретных видов водопользования. Чистоту воды в аквариуме поддерживает фильтр, но часть соединений может удаляться исключительно механическим способом [2].

Помимо механических способов очистки, существуют еще фитофильтры. Фитофильтр - это установка с растением, поглощающем вредные соединения из воды аквариума. Преимущества фитофильтра перед механическим методом заключается в том, что растения поглощают избыточные соединения из воды: нитриты, нитраты, фосфаты и карбонаты, что не может обеспечить обычный фильтр.

Целью данной работы является оценить эффективность использования фитофильтра для очистки пресной воды аквариума от загрязнения ионами нитратов и фосфатов.

Для достижения поставленной цели были выделены следующие задачи:

- 1) Измерить начальные значения основных показателей воды в пресноводном аквариуме
- 2) Сравнить данные, полученные измерением тест-полосками и химико-аналитическими методами
- 3) Разработать модель фитофильтра на основе его основных параметров.
- 4) Установить фитофильтр и провести мониторинг изменения показателей воды.
- 5) Оценить результативность фитофильтра при загрязнении воды в аквариуме, в сравнение с другими методами

1. Литературный обзор

1.1 Качество и характеристики воды

Основным определением качества воды считается характеристика состава и свойств воды, определяющая пригодность для конкретных видов водопользования, это значит, что для пищевой промышленности будут одни требования к качественному составу воды, а для реки Невы совершенно иные. Когда мы говорим об аквариумах, то не существует ни одного официального документа, универсально и строго нормирующего показатели воды в нем, это связано с особенностями отдельно взятого аквариума, например: соленость, объем, система очистки, обитатели [2].

Показатели качества воды подразделяются на физические и химические. Физические параметры включают в себя цвет, запах, вкус, плотность и мутность. Химические характеристики говорят о содержании какого-либо вещества.

Наиболее важными параметрами воды в аквариуме являются цветность, концентрация растворенного кислорода, жесткость, кислотность, содержание нитритов, нитратов, хлоридов, аммония, карбонатов, рН. Серьезное отклонение от нормы любого параметра может приводить к гибели или ухудшению состояния рыб и растений. В таблице 1 приведены оптимальные значения основных показателей воды в аквариумах [12].

Таблица 1 - Нормы химических параметров воды для аквариума

Показатель	Значение
рН, единицы	5-10
Концентрация кислорода, мг/л	больше 5
Концентрация углекислого газа, мг/л	2-10
Концентрация аммиака и аммония, мг/л	меньше 0.5
Концентрация нитритов, мг/л	меньше 0.2
Концентрация нитратов, мг/л	30
Концентрация хлоридов, мг/л	0.5
Концентрация фосфатов, мг/л	1.2
Общая жесткость, °	3-15
Карбонатная жесткость, °	4-15

1.2 Активная кислотность в аквариуме

Показатель рН – величина, показывающая степень концентрации в воде ионов водорода и гидроксидов. Значение рН представляет собой шкалу от 0 до 14, где 0-6 - среда кислая, 7 - нейтральная, 8-14 - щелочная. Оптимальный показатель рН в аквариуме составляет диапазон от 5 до 10 единиц, более точные значения колеблются в зависимости от наполнения аквариума. Данный интервал обеспечивает максимальную доступность элементов питания – первоочередного условия для полноценного роста и успешного размножения живых организмов. Если рН выше 7.2, то важные

для питания растений элементы, такие как: железо, марганец, молибден переходят в недоступную форму (они содержатся в воде, но недоступны для растений) [5], в результате чего растительность подвергается опасности хлороза и ряда других заболеваний. При показателе рН в 7.5 единиц углекислый газ также становится труднодоступным. В таблице 2 указаны причины возможного повышения или понижения рН.

Таблица 2 - Причины изменения рН в аквариуме

Причины повышения	Причины понижения
Аэрация воды: увеличение концентрации кислорода в воде ведет к снижению концентрации углекислого газа.	Искусственная подача в аквариум двуокиси углерода (CO ₂) для роста растений. Это соединение, попадая в воду, растворяется и образует угольную кислоту, увеличивает количество ионов водорода, что способствует понижению рН.
Выделения из аквариумных предметов декора и субстрата: их структура содержит минералы, которые увеличивают рН.	Дыхание растений, рыб, бактерий способствует выделению в воду углекислого газа.
Обилие света: его количество напрямую влияет на скорость процесса фотосинтеза и, на уровень рН.	На снижения рН влияют процесс нитрификации, метанового брожения и окисления сульфидов.

1.3 Растворенный кислород

Растворенный в воде кислород играет большую роль в жизни рыб и растений. Его недостаток и переизбыток губителен для живых организмов. Снижение концентрации кислорода приводит к замедлению роста рыб, также недостаток кислорода может привести к их удушью. Сильное повышение этого параметра приводит к повышению рН. Норма концентрации кислорода не менее 5 мг/л. Допустимый показатель варьируется в зависимости от вида рыб. В среднем, нижний порог составляет 3 мг/л, верхний – 15 мг/л [3].

Также кислород необходим для различных жизненно необходимых окислительных процессов, происходящих в клетках, разложения биологических соединений. Кроме того, снижение уровня кислорода влечет за собой ряд негативных последствий, таких как эвтрофикация, вымирание аэробных организмов, а также рост концентрации легко окисляемых органических примесей.

1.4 Нитраты

Нитраты - это соли азотной кислоты, содержащие однозарядный анион NO₃⁻. Эти соединения образуются в результате деятельности нитрифицирующих бактерий, например видами: *Gamma*proteobacteria, *Pseudomonas*, *Stenotrophomonas* и *Escherichia-Shigella* [5], которые

перерабатывают выделяемый аквариумными организмами аммиак. Поскольку это соединение является продуктом жизнедеятельности живых существ, то его содержание напрямую зависит от их количества. Также чрезмерное кормление рыб обеспечивает накопление органических веществ на дне, тем самым повышая активность бактерий, находящихся там. Большинство аквариумистов рекомендует поддерживать содержание нитратов в пределах нормы – 20-30 мг/л [1]. При этом для некоторых особо чувствительных видов рыб необходимо уменьшить значение этого показателя до уровня 15-20 мг/л.

Нитраты влияют на обитателей аквариума и на растительность. При повышении концентрации, у рыб наблюдается вялость, снижается иммунитет, они становятся болезненными, может наблюдаться «чесотка» о твердые поверхности, растения же могут терять внешне здоровые листья, на листьях некоторых растений появляются дырочки, они желтеют. Высокая концентрация нитратов провоцирует также развитие водорослей [3].

1.5 Нитриты

Нитриты — это соли азотистой кислоты, в растворе также диссоциируют на катион металла и анион NO_2^- . Образование нитритов в воде происходит из-за множества факторов, которые могут быть взаимосвязаны между собой. Вещества успешно перерабатываются микроорганизмами, но только при умеренной концентрации. В случае резкого роста уровня загрязнения и превышения допустимого количества нитритов, бактерии могут не успевать перерабатывать весь объем, в результате чего они продолжают накапливаться в жидкости. В таблице 3 даны значения уровней содержания нитритов. На рисунке 1 представлен азотный цикл в аквариуме, объясняющий причину изменения концентрации, нитритов и нитратов.

Таблица 3 - Содержание нитритов в аквариуме

Концентрация	Уровень
0.0 мг/л	безопасный
0.01 – 0.5 мг/л	требующий контроля
1.0 мг/л	опасный
2.0 мг/л	токсичный



Рис. 1 - Азотный цикл в аквариуме

На рисунке 1 представлена общая схема превращения азота в аквариуме, рассмотрим его основные этапы:

- 1) Образование аммиака. Остатки корма, отмирающие растения, продукты жизнедеятельности рыбок являются источником ядовитого соединения азота — аммиака.
- 2) Нейтрализация аммиака. Это происходит в ходе нитрификации, то есть переработки в менее токсичные вещества — нитриты и нитраты. Переход аммиака в нитраты и нитриты осуществляют нитрифицирующие бактерии, обитающие в грунте и фильтре.
- 3) Удаление нитратов. Происходит с подменой воды в аквариуме, а также нитраты поглощаются живыми растениями.
- 4) Заключительный этап. Денитрифицирующие бактерии, которые обитают в глубоких слоях грунта, превращают нитраты в газообразный азот, который просто улетучивается.

1.6 Фосфаты

Фосфаты — неорганические соли ортофосфорных кислот. Фосфор - элемент, необходимый в аквариуме по нескольким причинам, включая развитие фосфолипидов, из которых формируются мембраны клеток. Это делает фосфор в форме фосфатов необходимым питательным веществом для всех организмов. В форме аденозинтрифосфата фосфаты отвечают за обмен энергии, а так же важны для других биохимических процессов. Растениям фосфаты нужны для фотосинтеза.

Источниками фосфора в аквариумной воде, являются накопившиеся метаболиты рыб, остатки корма, останки гидробионтов (бактерий, беспозвоночных и растений), а также гниющие остатки и части растений.

Большое количество фосфатов нежелательно, так как они провоцируют «цветение» фитопланктона, что отрицательно влияет на гидрохимический и газовый режим в аквариуме, в первую очередь, за счет активного потребления кислорода микроводорослями для дыхания. Кроме того, отмечено, что высокий уровень фосфатов при больших количествах нитратов отрицательно влияет на жизнедеятельность растений [3].

Максимальной безопасной концентрацией фосфатов в аквариуме является 1.2 мг/л. Концентрации выше 5 мг/л считаются опасными, а выше 10 мг/л - непригодными для жизни чувствительных рыб [7].

1.7 Хлориды

Хлориды — группа химических соединений, соли хлороводородной кислоты. Хлориды обладают высокой растворимостью и поэтому присутствуют во всех природных водах в основном в виде кальциевых, натриевых и магниевых солей.

Чрезмерно высокая концентрация хлоридов вредна для растений и рыб аквариума. У растений нарушается рост, а у рыб затрудняется поглощение кислорода из воды, что приводит к вялости, а при долгом воздействии к гибели. Причиной повышения концентрации может служить замена грунта или добавления минеральных удобрений в аквариум. Так же хлориды могут быть использованы как консервант корма для рыб.

Наиболее простой способ понизить хлориды – заменить воду, уменьшить количество вносимых удобрений или заменить корм и грунт на менее хлористый.

1.8 Жесткость

Жесткость — показатель воды, характеризующийся содержанием катионов металлов, преимущественно кальция и магния. Соответственно, большое количество растворенных солей делают воду жесткой, а маленькое — мягкой.

Для чего важна жесткость:

- 1) Соли кальция и магния важны для опорно-двигательной системы рыб, и требуется их постоянное поглощение;
- 2) Высокая концентрация металлов влияет на репродуктивную способность живых организмов;
- 3) При нехватке магния мальки могут погибнуть или не развиваться;
- 4) Щелочноземельные металлы обеспечивают растениям усвоение питательных веществ

Можно выделить несколько уровней жесткости воды в аквариуме: от 0° до 3° вода считается мягкой, от 8° до 12° – жесткой, показатели от 4° до 7° характеризуют воду средней жесткости.

Повышает жесткость плохо отфильтрованная вода, новый грунт или аквариум, минерализованные корма и удобрения. Понизить жесткость поможет добавление дистиллированной воды, подбор другого корма и удобрения.

1.9 Аммиак и аммоний

Аммиак - бесцветный газ с удушливым резким запахом, хорошо растворяется в воде, спирте и ряде других органических растворителей. Вода, содержащая летальные дозы аммиака, не имеет запаха. В воде существует в виде свободного аммиака (NH_3) и ионов аммония (NH_4^+), а также солей аммония. В аэробных (наличия в воде кислорода) условиях окисляется до нитритов и нитратов. Аммиак во много раз токсичнее аммония, поэтому при незначительных увеличениях концентрации может привести к тяжелым отравлениям всего аквариума.

Аммоний – первая стадия разложения белка, ионизированная форма аммиака, появляющаяся в кислой воде. Концентрация более 0.5 мг/л аммония опасна. Ионы аммония тоже токсичны, но в меньшей степени, нужно также следить за его содержанием в воде. При высоких значениях pH он может перейти в аммиак.

Распространенные симптомы отравления аммиаком/аммонием:

- 1) проблемы с дыханием у рыб;
- 2) обитание рыб на поверхности аквариума;
- 3) трение о стенки аквариума или элементы декора;

1.10 Цветность

Цветность воды согласно стандарту — это характеристика, количественно описывающая природную и питьевую воду, имеющую незначительную естественную окраску. В таблице 4 представлена шкала цветности.

Таблица 4 - Шкала цветности воды

Уровень цветности	Градус цветности, °
малая	0-50
средняя	50-80
высокая	80-120
очень высокая	более 120

Цвет воды обусловлен присутствием в ней следующих компонентов: гуминовых, фульвовых кислот, дающих коричневую или желтоватую окраску; наличием глины или известняка, окрашивающих воду в белый цвет; соединений железа Fe^{3+} ; зеленых, желтых, красных водорослей, фитопланктона.

1.11 Мутность

Мутность воды — показатель, характеризующий уменьшение прозрачности воды в связи с наличием неорганических и органических тонкодисперсных взвесей, а также развитием планктонных организмов. Причинами мутности воды может быть наличие в ней глины, неорганических соединений (гидроксида алюминия, карбонатов различных металлов), а также органических примесей или живых организмов, например бактерий, фитопланктона и зоопланктона.

Помутнение воды — достаточно частое явление в новых аквариумах. Однако, аквариумная муть может не обойти стороной и уже давно запущенный аквариум.

1.12 Схема фитофильтра

Фитофильтр — это установка для очистки воды, состоящая из ящика с растением, корни которого вытягивают из воды аквариума пагубные соединения [4].

Схема фитофильтра представлена на рисунке 2. Нагнетаемая помпой, вода поднимается в корпус устройства и проходит грубую механическую фильтрацию через поролон. Корни растений, размещенных в основной части фильтра, втягивают из нее вредные вещества. Затем вода, проходя через ещё один слой поролона, возвращается в аквариум.

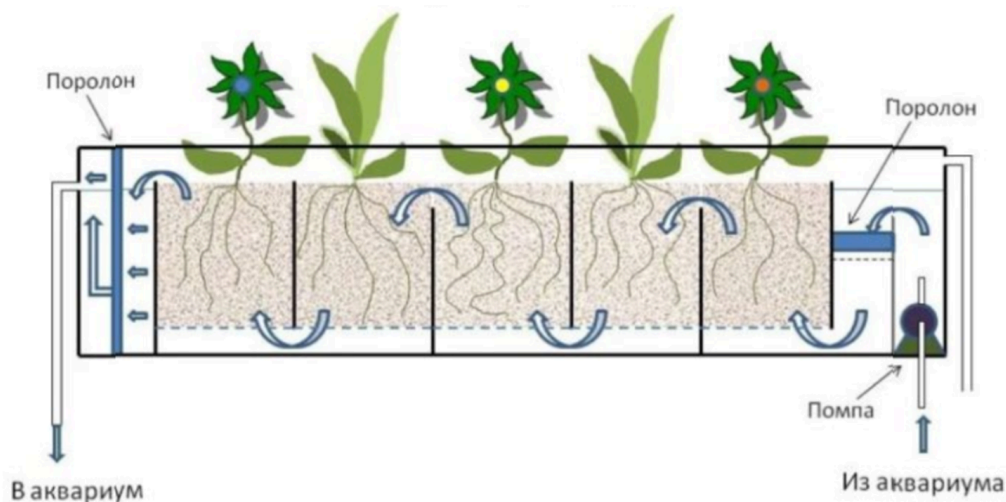


Рис. 2 – Схема фитофильтра

Уникальность фитофильтра состоит в том, что корни растений поглощают неблагоприятные для существования рыб соединения, не накапливая их. В зависимости от вида растений количество и концентрации соединений могут меняться. Таким образом аквариумная вода очищается, и создается благоприятная среда обитания для водных организмов. При такой системе очистки постоянная смена воды не требуется. В таблице 5 представлены преимущества и недостатки этого метода.

Таблица 5 – Преимущества и недостатки фитофильтра

Преимущества	Недостатки
редкая замена аквариумной воды;	громоздкая конструкция устройства
простая конструкция изделия,	
удобный уход за растениями, не мешающий жителям аквариума;	
наполнение воды кислородом и поддержание жизни полезных и необходимых микроорганизмов;	
декоративный элемент интерьера комнаты.	необходимость в дополнительном оборудовании для освещения растений;

Фото спроектированного по рассмотренной ранее схеме и установленного на аквариум фитофильтра представлено на рис. 3. В качестве основного растения были использованы побеги рода *Scindapsus*, и несколько рода *Tradescantia*. Конструкция была собрана вручную, из пластиковых панелей и перегородок, в качестве грунта использовалась лава.



Рис. 3 - Установленная модель фитофильтра

1.13 Сциндапсус

Сциндапсус - лиана с воздушными корнями. Среди представителей рода *Scindapsus* множество популярных комнатных растений. Они светолюбивы, большую часть года предпочитают обильный полив и влажный воздух. Чувствительны к влажности почвы и не переносят температуры ниже 12°C [26].

Исследования использования растений для очистки речной воды показали эффективность сциндапсуса в качестве фитофильтра. Образец *Scindapsus aureus* за 35 дней очистил 76.69% нитратов, 71.06% аммиачного азота и 78.37% фосфатов, что оказалось вторым по результативности среди пяти исследованных растений [17].

1.14 Сравнение способов очистки аквариума

В таблице 7 представлены данные сравнения способов очистки воды от химического загрязнения с фитофильтром. Из данных таблицы можно сделать вывод, что фитофильтр является наиболее удачным вариантом решения в случае с небольшим загрязнением воды и наиболее подходит для чувствительных рыб.

Таблица 7 - Сравнительная характеристика способов очистки воды от химического загрязнения

Особенности	Фитофильтр	Подмена воды	Механический фильтр
Скорость очистки	Постепенная	Мгновенная	Постепенная
Влияние на обитателей	Не влияет	Опасна для чувствительных видов рыб и растений	Может влиять на чувствительные виды рыб и растения
Интенсивность воздействия	Постоянная	Разовая	Постоянная
Декоративность	Да	Нет	Нет
Эффективно против всех опасных соединений	Зависит от вида растения и влияет на конкретные показатели	Да	Не влияет на содержание химических соединений

2. Материалы и методы

1) Пробы набирались из аквариума в день проведения анализа, при заборе воды отслеживалось попадание в пробу: грунта, частичек корма, рыб.

2) Химические анализы проб воды проводились на базе химико-аналитической лаборатории Эколога-биологического центра «Крестовский остров» Санкт-Петербургского городского Дворца творчества юных. Использованные методы анализа были выбраны как наиболее доступные с учетом материально технической базы лаборатории.

3) Анализ проводился по методикам: ГОСТ 18309-2014 Вода. Методы определения фосфорсодержащих веществ и ГОСТ 18826-73 Вода питьевая. Методы определения содержания нитратов.

4) Для анализа использовались реактивы, приведенные в методиках, спектрофотометр, химические стаканы, мерные колбы объемом 25, 50, 100 мл, тигли, пипетки объемом 1, 5, 10 мл, лабораторные весы с точностью измерений ± 0.01 .

2.1 Определение нитратов

Для анализа воды на содержание нитратов был выбран метод с салицилатом натрия.

В тигель помещают 10 мл исследуемой воды. Прибавляют 1 мл 0.5% салициловокислого натрия и выпаривают досуха на водяной бане. После охлаждения сухой остаток увлажняют 1 мл серной кислоты пл. 1.84 г/мл, тщательно растирают его стеклянной палочкой и оставляют на 10 минут. Затем добавляют 5-10 мл дистиллированной воды и количественно переносят в мерную колбу вместимостью 50 мл. Прибавляют 7 мл 10 Н гидроксида натрия, доводят объем дистиллированной водой до метки и перемешивают.

В течение 10 мин измеряют оптическую плотность раствора в кюветах с толщиной оптического слоя 2-5 см при фиолетовом светофильтре (длина волны 480 нм) по отношению к дистиллированной воде, проведенной через весь анализ.

Содержание нитратов определяют по калибровочному графику.

2.2 Определение нитритов

Для анализа воды на содержание нитритов был выбран метод, с использованием реактива Грисса.

В колбу помещают 50 мл исследуемой воды, так чтобы в ней содержалось до 15 мкг NO_2^- , прибавляют 0.1 г сухого или 5 мл 10% реактива Грисса и перемешивают. Окраска появляется через 40 мин и сохраняется в течение 3 часов. Через 40 мин растворы фотометрируют в кюветах с толщиной оптического слоя 2 см с зеленым светофильтром (длина волны 530 нм) по отношению к дистиллированной воде с добавлением реактива Грисса. Содержание нитритов определяют по калибровочному графику.

2.3 Определение аммиака/аммония

Для определения содержания аммиака и аммония в воде аквариума, был применен способ и использованием реактива Несслера.

В колбу помещают 50 мл исследуемой пробы, приливают 1 мл тартрата калия-натрия и 1 мл реактива Несслера, перемешивают. Через 10 минут фотометрируют в кюветах с толщиной оптического слоя 2 см, с фиолетовым светофильтром (длина волны 425 нм) по отношению к безаммиачной воде, в которую добавлены соответствующие реактивы. Содержание ионов аммония (мг) находят по калибровочному графику.

2.4 Определение фосфатов

Для определения ортофосфатов был выбран метод с использованием аскорбиновой кислоты.

В мерную колбу на 50 мл помещают 1 мл исследуемой воды, добавляют 1 мл 10% аскорбиновой кислоты и 2 мл раствора кислого молибдата, доводят до метки дистиллированной водой и хорошо перемешивают. Через 20 минут фотометрируют на фиолетовом светофильтре в кюветах с толщиной оптического слоя 2 см и длиной волны 880 нм по отношению к дистиллированной воде с соответствующими реактивами. Содержание ортофосфатов находят по калибровочному графику.

2.5 Определение растворенного кислорода

Для определения концентрации растворенного кислорода был использован метод Винклера.

В предварительно калиброванную посуду (100-200 мл) с притертой пробкой отбирают пробу. Жидкость должна быть налита до краев. В колбу добавляют 1 мл раствора сульфата или хлорида марганца, 1 мл щелочного раствора йодида калия. Перед тем, как приступить к титрованию, нужно подождать пока осадок гидроксида марганца осядет на дно. К пробе добавляют 5 мл HCl (2:1), закрывают склянку пробкой и перемешивают раствор, начинают титровать 0.02н тиосульфатом натрия. После того как раствор приобретет слабо-желтую окраску в пробу добавляют 1 мл 0.5% раствора крахмала и продолжают титрование до точки эквивалентности.

2.6 Определение активной кислотности

Измерение активной кислотности проводили согласно ГОСТ 32892-2014. В мерный стакан помещают 40 мл образца при температуре 20°C и затем погружают в него электрод. После достижения стабильного значения, это значение фиксируют и производят промывку электрода.

2.7 Определение цветности и мутности

Цветность определяется методом визуального определения. Готовят хром-кобальтовую шкалу цветности, и образец воды визуально сравнивается со шкалой. Объем использованного раствора приравнивается градусам по таблице соотношения.

Мутность определяется методом визуального определения. Готовится серия разведений и сравнивается с помощью фотометрии.

2.8 Определение хлоридов

Концентрация определяется при значении выше 10 мг/л, титрованием азотнокислым серебром.

Активная кислотность титруемой пробы должна быть в пределах 6—10. Если вода мутная, ее фильтруют через беззольный фильтр, промытый горячей водой. Если вода имеет цветность выше 30°, пробу обесцвечивают добавлением гидроокиси алюминия. Для этого к 200 см³ пробы добавляют 6 мл суспензии гидроокиси алюминия, а смесь встряхивают до обесцвечивания жидкости. Затем пробу фильтруют через беззольный фильтр. Первые порции фильтрата отбрасывают. Отмеренный объем воды вносят в две конические колбы и прибавляют по 1 мл раствора хромовокислого калия. Одну пробу титруют раствором азотнокислого серебра до появления слабого оранжевого оттенка, вторую пробу используют в качестве контрольной пробы. При значительном содержании хлоридов образуется осадок AgCl, мешающий определению. В этом случае к оттитрованной первой пробе приливают 2—3 капли титрованного раствора NaCl до исчезновения оранжевого оттенка, затем титруют вторую пробу, пользуясь первой как контрольной пробой.

2.9 Математическая обработка измерений

В работе все измерения имели трехкратную повторность и для всех значений рассчитывался t-критерий Стьюдента, доверительный интервал. Расчет производили по следующим формулам (1) и (2):

$$S = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{N-1}} \quad (1)$$

$$\Delta_{\text{дов}} = \pm S * t \quad (2)$$

где:

S - ошибка репрезентативности

x_i - значение i -й пробы

\bar{x} - среднее значение по выборке

N - количество проб в выборке

$\Delta_{\text{дов}}$ - предельная ошибка

t - критерий Стьюдента

3. Результаты

3.1 Показатели воды аквариума

Первым шагом работы было измерение основных параметров воды в выбранном аквариуме с помощью химических методов анализа проб. Результаты приведены в таблице 6. В воде превышено содержание нитритов, нитратов и фосфатов. Остальные показатели находятся в допустимых пределах.

Таблица 6 - Показатели воды модельного аквариума

Показатель	Значение
Цветность, °	180±5
Мутность, мг/л	2.6±0.1
pH	6.3±0.1
Концентрация кислорода, мг/л	11.9±0.2
Концентрация аммиака и аммония, мг/л	0.61±0.05
Концентрация нитритов, мг/л	0.6±0.1
Концентрация нитратов, мг/л	78±2
Концентрация хлоридов, мг/л	59.6±0.4
Концентрация фосфатов, мг/л	34.4 ±0.3
Общая жесткость, °Ж	5.2±0.1
Концентрация железа, мг/л	1.2±0.1

3.2 Определение показателей аквариумной воды экспресс-тестами

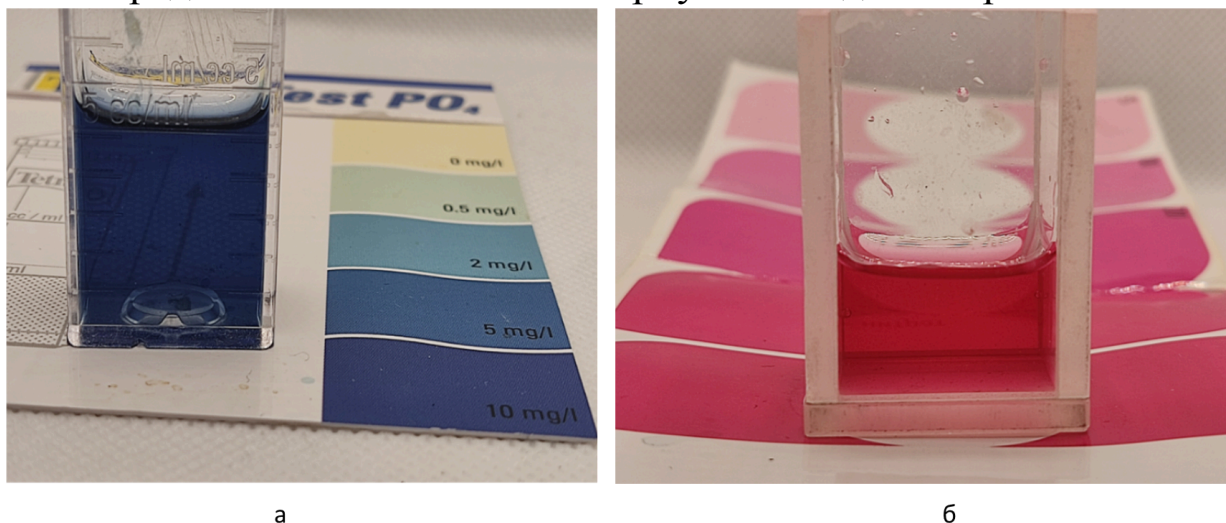


Рис. 5: а - экспресс-тест на фосфаты, б - экспресс-тест на нитраты

Для измерения нитратов и фосфатов аквариумисты чаще всего используют экспресс-тесты. Главным их недостатком является низкая достоверность, например шкала значения фосфатов ограничена 10 мг/л, а концентрация в исследуемой воде составляет 30 мг/л.

На фотографиях (рис. 5) видно, что цвет воды насыщеннее, чем цвета представленные на шкале. Экспресс-тесты удобны для получения

приблизительных значений в полевых условиях, но для исследования связанного с мониторингом не подходят.

3.4 Результаты содержания фосфатов в аквариуме

После установки фитофильтра был проведен мониторинг содержания нитратов и фосфатов в воде модельного аквариума. На рисунке 6 видно, что концентрация фосфатов снижается и продолжает опускаться с течением мониторинга. Растениям для увеличения площади поверхности корней требуется большое количество фосфата, поэтому фитофильтр эффективен.

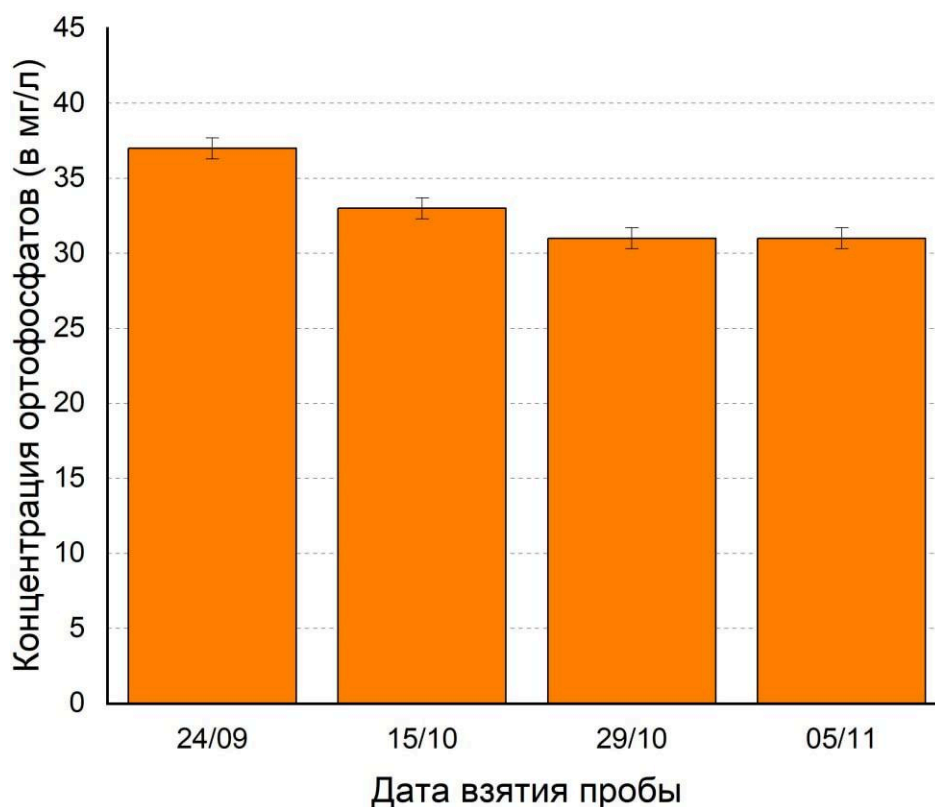


Рис. 6 - График зависимости концентрации фосфатов от времени мониторинга

3.5 Результаты содержания нитратов в аквариуме

На рисунке 7 видно, что концентрация нитратов нестабильна, поэтому заметного эффекта от фильтра нет. Причиной этому оказался неудачный выбор растений. В фитофильтр был посажен *Scindapsus*, наиболее часто используемый в фитофильтрах, но мало эффективный в борьбе с излишней концентрацией нитратов [17]. Побеги рода *Tradescantia* не прижились.

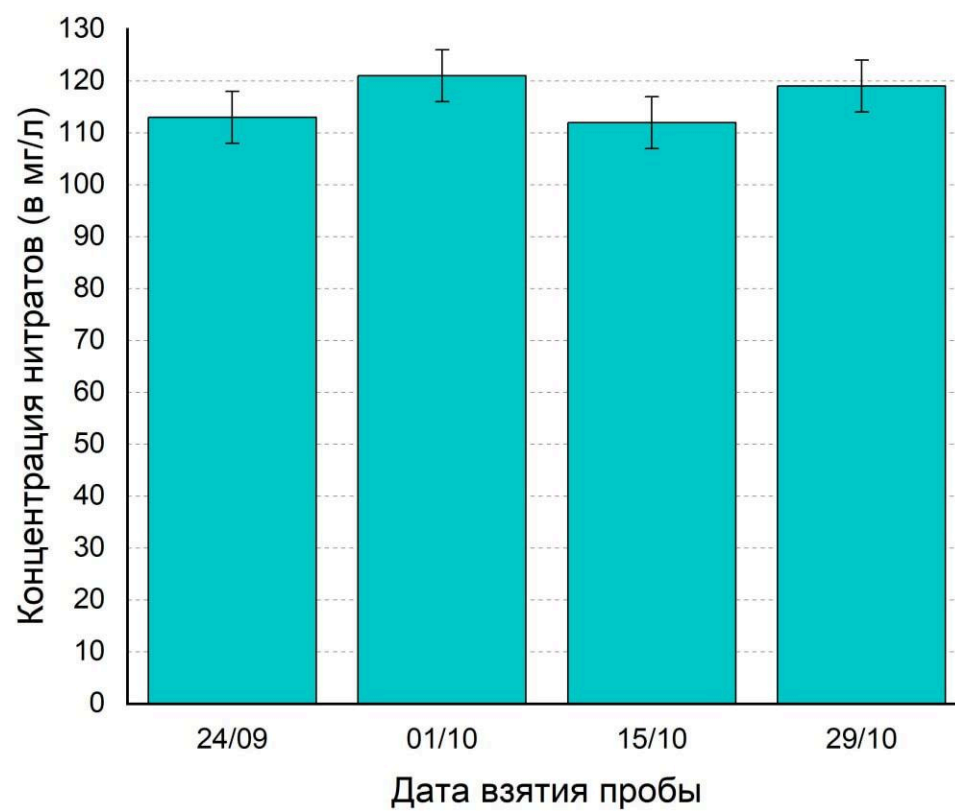


Рис. 7 - График зависимости концентрации нитратов от времени мониторинга

4. Заключение

В заключение можно отметить, что фитофильтр показал свою эффективность в очистке воды пресноводного аквариума, удобство в использовании и преимущества относительно аналогичных способов.

В работе были проведены сравнения методов очистки, количественного определения и мониторинг. В целом, данная работа вносит важный вклад в аквариумистику, фильтрацию и очистку воды в целом.

В дальнейшем планируется развитие работы по нескольким направлениям: создание рекомендаций по использованию фитофильтра, мониторинг аквариума по другим параметрам воды (растворенный в воде кислород, жесткость, кислотность и активная кислотность), разработка и установка других моделей аквариума, использование других видов растений в уже использованном фильтре и дальнейшие перекомбинации их.

4.1. Выводы

- 1) Путем проведения измерений основных показателей воды модельного аквариума установлено, что концентрация нитратов и фосфатов превышала допустимые значения.
- 2) В результате сравнения экспресс-тестов и химико-аналитических методов установлено, что для работ, требующих точных значений, экспресс-тесты не подходят.
- 3) Разработана и установлена модель фитофильтра.
- 4) Доказана эффективность фитофильтра в борьбе с излишней концентрацией фосфатов. На концентрацию нитратов влияет выбор растений для фильтра.
- 5) Использование фитофильтра является эффективным способом очистки аквариума, альтернативным замене воды.

Список литературы:

1. Auster P. J., Langton R. W. The effects of fishing on fish habitat //American Fisheries Society Symposium. – 1999. – Т. 22. – №. 150-187.
2. Wang C. N., Lin W. C. A New Control System of Water Quality for Aquarium Exhibition Tank //2014 International Symposium On Computer, Consumer And Control. – IEEE, 2014. – С. 690-693.
3. Каленкович Н. В., Купцова Н. С. Физико-химические показатели воды при моделировании экосистем //VII Машеровские чтения. – 2013. – С. 97-98
4. Кинеббас А. К. Совершенствование системы контроля и мониторинга качества воды в условиях современного мегаполиса //Автореферат на соискание ученой степени кандидата технических наук. Санкт-Петербург. – 2007
5. Bhatla S. C. et al. Plant mineral nutrition //Plant physiology, development and metabolism. – 2018. – С. 37-81.
6. Хубларян М. Г., Моисеенко Т. И. Качество воды //Вестник Российской академии наук. – 2009. – Т. 79. – №. 5. – С. 403-410.
7. Муравьев А. Г. Руководство по определению показателей качества воды полевыми методами //СПб.: Крисмас. – 2004. – №. 248.
8. СТ РК ГОСТ Р 51232-2003
9. Осолодкова Е. В. правила содержание обитателей аквариума. – 2021. – С. 6-10.
10. Ключков Д. Г., Абросимова Н. А., Коханов Ю. Б. Роль внешнего фитофильтра в формировании кислородного режима в аквариуме //Актуальные проблемы науки и техники. 2020. – 2020. – С. 345-347.
11. Аксиньин А. В. Устройства для фильтрации и поддержания биологического равновесия в аквариуме– 2014.
12. Туйчиева М. Показатели качества воды // Мировая наука. 2018. №5 (14). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/pokazateli-kachestva-vody> (дата обращения: 23.07.2023).
13. Семенова Е. М. и др. Разнообразие и биотехнологический потенциал нитратредуцирующих бактерий из месторождений тяжелой нефти (Россия) //Микробиология. – 2020. – Т. 89. – №. 6. – С. 675-687.
14. Каленкович Н. В., Купцова Н. С. Физико-химические показатели воды при моделировании экосистем //VII Машеровские чтения. – 2013. – С. 97-98.
15. Шашуловская Елена Александровна, Мосияш Светлана Александровна Динамика минеральных соединений азота и фосфора в экспериментальных условиях в присутствии *Dreissena bugensis* // Известия Самарского научного центра РАН. 2016. №5-1.
16. Михайлова Екатерина Сергеевна, Константинова Ольга Борисовна АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ХЛОРИДОВ // Московский экономический журнал. 2022. №11.

17. Ling S. et al. Purification effects of five landscape plants on river landscape water //IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2017. – Т. 274. – №. 1. – С. 012010.
18. Beyers C. J. D. B., Wilke C. G., Goosen P. C. The effects of oxygen deficiency on growth, intermoult period, mortality and ingestion rates of aquarium-held juvenile rock lobster *Jasus lalandii* //South African Journal of Marine Science. – 1994. – Т. 14. – №. 1. – С. 79-87.
19. ГОСТ Р 57164-2016 «ВОДА ПИТЬЕВАЯ. Методы определения запаха, вкуса и мутности. Причины возникновения мутности воды»
20. ГОСТ 18309-2014 Вода. Методы определения фосфорсодержащих веществ
21. ГОСТ 18826-73 Вода питьевая. Методы определения содержания нитратов
22. ГОСТ 4245-72 Вода питьевая. Методы определения содержания хлоридов
23. ГОСТ 31868-2012 Вода. Методы определения цветности
24. ГОСТ 4245-72 Вода питьевая. Методы определения содержания хлоридов
25. Кондратьева С.А., Ширяев В.А. Химический и физико-химический анализ водных объектов поселка Токсово // Сборник трудов XII Конгресса молодых ученых. — 2023. — №12. Том 3. — С. 350—355.
26. Хессайон Д.Г. Все о комнатных растениях. — 2004. — С. 206.