МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра водных биоресурсов, аквакультуры и гидрохимии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

Бакалаврская работа

На тему: Эффективность процессов биофильтрации в учебной установке замкнутого водоснабжения с использованием аквапоники

Исполнитель Михайлова Елизавета Константиновна

Руководитель доцент, к. б. н. Шошин Александр Владимирович

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(Подпись)

к.т.н., доц. Королькова Светлана Витальевна

«20» 06 2022 г.

Санкт–Петербург
2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....4
Глава 1 7
ЭКСКРЕЦИЯ АММОНИЯ.....7
АЗОТНЫЙ ЦИКЛ 8
БИОЛОГИЧЕСКИЙ ФИЛТР 13
АЗОТНОЕ ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ 15
АКВАПОНИКА.....17
ОПИСАНИЕ УЧЕБНОЙ АКВАПОННОЙ УСТАНОВКИ.....23
Глава 2 27
ОБЪЕКТ АКВАКУЛЬТУРЫ: АФРИКАНСКИЙ КЛАРИЕВЫЙ СОМ 27
КОРМЛЕНИЕ СОМОВ И ПРИРОСТ БИОМАССЫ.....33
ОБЪЕКТ ГИДРОПОНИКИ: САЛАТ ЛАТУК 36
ПРИРОСТ БИОМАССЫ САЛАТА 41
Глава 3 43
Эксплуатация спектрофотометра 44
МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ МАССОВОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ИОНОВ АММОНИЯ В ВОДЕ ФОТОМЕРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ С РЕАКТИВОМ НЕССЛЕРА. 46
Установление градуировочной характеристики для определения концентрации нитрит-иона 46
Определение концентрации ионов аммония в пробе.....49
Результаты измерений и расчёт массовой концентрации ионов аммония 50
МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ МАССОВОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ НИТРИТ-ИОНОВ В ВОДЕ ФОТОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ 53
Установление градуировочной характеристики для определения концентрации ионов аммония 53
Определение концентрации ионов аммония в пробе.....56
Результаты измерений и расчёт массовой концентрации нитрит-ионов.....57

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ И ИХ ОБРАБОТКА 59
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 65
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ..... 67

ВВЕДЕНИЕ

Технология выращивания гидробионтов в установках замкнутого водоснабжения успешно используется на протяжении десятков лет.

Ведение аквакультуры в открытых или полузамкнутых системах (например, садковое или прудовое рыбоводство) предполагает под собой ограничения в выборе объекта аквакультуры в виду невозможности контролировать условия среды, тогда как в УЗВ все параметры важные при выращивании гидробионтов (температура, количество растворенного кислорода, свет, водородный показатель и др.) контролируются человеком и значительно расширяют возможности для получения продукции гидробионтов. Особенно это ценно для регионов, климатические условия которых неблагоприятны для выращивания выбранного объекта аквакультуры в естественных водоемах или открытых прудах.

В замкнутых системах значительно облегчен процесс профилактики и лечения заболеваний гидробионтов, в совокупности с контролем параметров среды это дает еще одно преимущество установок замкнутого водоснабжения − возможность выращивать большой объёма продукции в сравнительно небольших объёмах.

УЗВ выгодны как с экономической, так и с экологической точки зрения: благодаря рециркуляции воды в системе минимизируется сброс загрязненных сточных вод.

Одним из перспективных направлений развития сельского хозяйства являются интегрированные системы.

Интегрированные системы – это системы, в которых за счёт отходов выращивания первичной продукции выращивается вторичная продукция. При этом продукция, получение которой в данной системе приоритетно называется основной.

Создание таких систем возможно на основе УЗВ – совместное выращивание гидробионтов и наземных или водных растений, называется аквапоникой. Растения в таких системах выращиваются методом гидропоники.

Гидропоника – метод выращивания растений без почвы, в воде с добавлением питательных веществ. В случае аквапоники в качестве питательных веществ выступают растворенные в воде отходы жизнедеятельности гидробионтов.[29]

Чаще всего в качестве основной продукции в аквапонике выступают гидробионты. Реже аквапонные установки создаются в первую очередь для получения растительной продукции.

Актуальность выбранной темы обуславливается усугубляющейся с каждым годом экологической обстановкой, связанной с растущим загрязнением земельных и водных ресурсов отходами сельскохозяйственной деятельности. Население Земли непрерывно растет, в связи с чем, растут и потребности в продуктах питания. Следствием этого является увеличение объёмов производства рыбной и растительной продукции, а в месте с этим, и нагрузки на природные системы в которые попадают отходы производства, приводящие к первичному и вторичному загрязнению среды.

Цель работы: оценить эффективность биологической очистки в учебной аквапонной установке замкнутого водоснабжения с использованием аквапоники.

Для достижения цели дипломной работы были поставлены следующие задачи:

- Рассмотреть процессы биофильтрации в УЗВ с использованием технологии аквапоники.
- Выявить условия эффективного функционирования аквапонных установок.

- Оценить способность растительного фильтра извлекать из воды ионы аммония и нитрит-ионы.
- Определить способность учебной аквапонной установки обеспечить стабильный рост выбранных объектов.

Объектом исследования является учебная аквапонная установка.

Предмет исследования: процессы биологической очистки в условиях аквапонной установки замкнутого водоснабжения.

Структура дипломной работы: выпускная квалификационная работа представлена на 74 страницах и состоит из введения, 3 глав, выводов по написанной работе. Работа содержит 14 таблиц, 25 рисунков, список использованной литературы в количестве 38 источников и терминологический словарь.

Глава 1

В установках замкнутого водоснабжения в результате многократного оборотного использования воды накапливаются продукты жизнедеятельности гидробионтов. Они представляют собой соединения биогенных элементов (в основном азота и фосфора), токсичные для самих объектов аквакультуры.

Наиболее токсичными являются соединения азота.

ЭКСКРЕЦИЯ АММОНИЯ

Большинство гидробионтов являются аммонотелитическими организмами, то есть более 50% выделяемых соединений азота составляет аммоний. У рыб на аммонийный азот (NH_4^+) приходится около 90% от всех выделяемых ими соединений азот. Лишь небольшой процент выделяется рыбами в виде аммиака.[6,24]

Выделение аммония происходит преимущественно через жабры. Это связано с тем, что кровь, содержащая в себе продукты катаболизма белка, постоянно проходит через капилляры жабр, которые имеют большую площадь соприкосновения с внешней средой (рис. 1).[19]

Аммиак NH_3, как незаряженная молекула, может пассивно проникать через мембраны. [24]

Ион NH_4^+, как полярная молекула, не способен свободно проникать сквозь клеточную мембрану, поэтому выделяется во внешнюю среду при помощи, так называемого, калий - натриевого насоса. Ионы калия K^+ и аммония NH_4^+ сходны по своим физическим характеристикам, поэтому аммоний может заменить калий в данном механизме ионного обмена.[24]

3 молекулы натрия Na^+ связываются с молекулой АТФ, которая при прохождении мембраны подвергается процессу фосфорилирования, образуя АДФ и высвобождает ионы Na^+. Молекула АДФ присоединяет к себе 2 иона

NH_4^+, после чего подвергается дефосфорилированию, выпуская ионы NH_4^+ во внешнюю среду.[24]

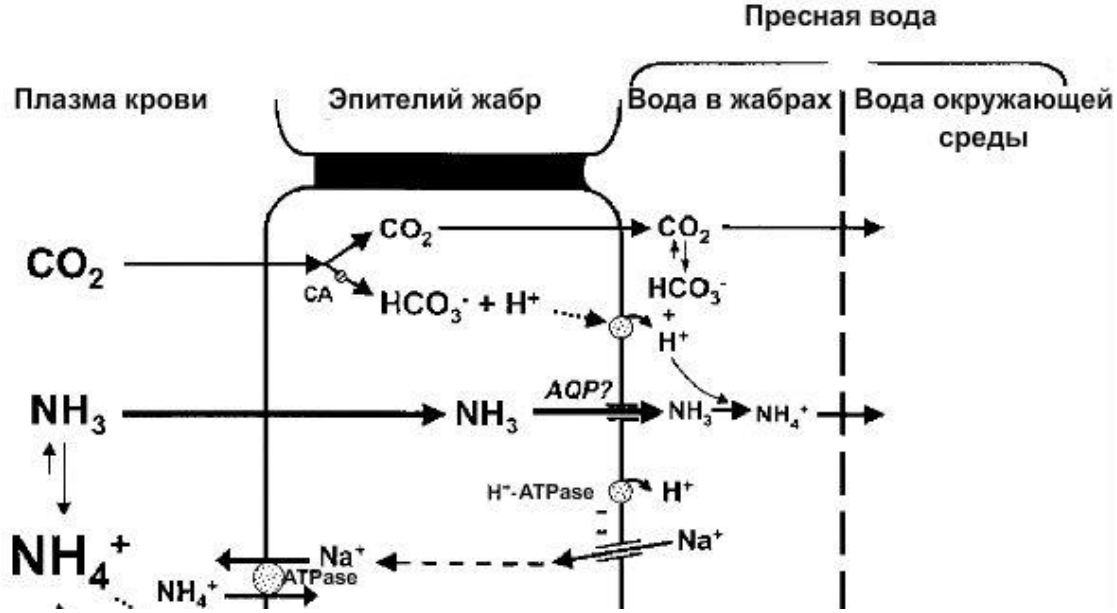

Рисунок 1. Схема выделения аммиака и аммония пресноводными рыбами.

Количество выделяемого аммония зависит от величины и качества потребляемого рыбой протеина и составляет примерно 10,6г аммония на 100 г потребляемого белка.[25]

Также аммоний попадет в воду в результате разложения фекалий рыб и не съеденного корма (минерализации сложных органических соединений).

АЗОТНЫЙ ЦИКЛ

Азотный цикл представляет собой процесс преобразования азота в природе, с переходом его из органических форм в неорганические. В рамках азотного цикла выделяют 3 стадии преобразования азотсодержащих соединений:

1) Минерализация

Минерализация − процесс преобразования мёртвого органического материала до неорганических соединений.

Большая часть выделяемых рыбами соединений азота представляет собой аммонийный азот, в меньшей степени азот попадает в воду в составе сложных органических соединений (аминокислот, мочевины).[18]

Процесс, в результате которого от этих соединений отщепляется аминогруппа с образованием аммония, называется дезаминированием.[18]

Так, примером дезаминирования является процесс расщепления мочевины:

$$O=C(NH_2)2+H_2O \rightarrow CO_2+2NH_3$$

На этой стадии преобразования происходят с помощью гетеротрофных бактерий.[18]

2) Нитрификация

Нитрификация – процесс аэробного окисления аммония до нитратов.

Окислительные процессы осуществляют автотрофные бактерии, в основном существующие в виде фиксированных фракций − прикрепленных к субстрату колоний, называемых биоплёнкой.[31]

Нитрификация происходит в 2 этапа:

I этап: Преобразование аммония в нитриты.

Осуществляется бактериями рода *Nitrosomonas* и идёт в 2 стадии.

Сначала происходит окисление аммония до промежуточного продукта, гидроксиламина, после чего окончательное окисление до нитрита. Общее уравнение окислительного процесса:

$$NH_4^+ + 3/2O_2 \rightarrow NO_2^- + 2H^+ + H_2O$$

II этап: Преобразование нитритов в нитраты.

Окисление осуществляют бактерии рода *Nitrobacter*. Это одноступенчатый процесс, уравнение которого выглядит следующим образом:

$$NO_2^- + 1/2O_2 \rightarrow NO_3^-$$

Процесс нитрификации напрямую зависит от концентрации кислорода в воде. На окисление одного грамма аммония в нитраты расходуется 4,57 грамм

кислорода. Повышение уровня кислорода в воде увеличивает интенсивность нитрификации, кроме того высокая концентрация кислорода в воде подавляет развитие анаэробных бактерий, продукты обмена которых зачастую токсичны. Оптимальной считается концентрация кислорода 4-8 мг/л.[18,25]

Также для эффективности процессов нитрификации важен температурный режим. Первостепенную роль играет именно постоянство температуры среды, поскольку резкое её изменение вынуждает бактерии адаптироваться, переходить в состояние временной температурной инактивации. При резком повышении температуры адаптация проходит незаметно и после периода инактивации наблюдается повышение интенсивности нитрификации, тогда как при резком снижении температуры даже на 1℃ скорость окислительных процессов может уменьшится более чем на 30%. Оптимальный диапазон температуры для процессов нитрификации 17-34℃.[18,25]

Оптимальный диапазон pH для процессов нитрификации составляет 7,2-8,2 (таблица 1).

Таблица 1. Оптимальные значения pH для бактерий, осуществляющих процессы нитрификации.[25]

Нитрифицирующие бактерии	Оптимальный pH
Nitrosomonas	7,2-7,8
Nitrobacter	7,2-8,2

Ультрафиолетовый свет представляет опасность для нитрифицирующих бактерий (в особенности на стадии формирования биоплёнки).[25]

3) Диссимиляция

Диссимиляция – это анаэробный процесс, при котором происходит восстановление азота в продуктах нитрификации до более низкой степени окисления.[18]

$$NO_3^- \rightarrow NO_2^- \rightarrow NO \rightarrow N_2O \rightarrow N$$

Большинство бактерий осуществляющих диссимиляцию, бактерий денитрификаторов, являются облигатными анаэробами. Таким образом, высокое содержание кислорода в системе необходимое для процессов нитрификации подавляет процессы денитрификации.[18]

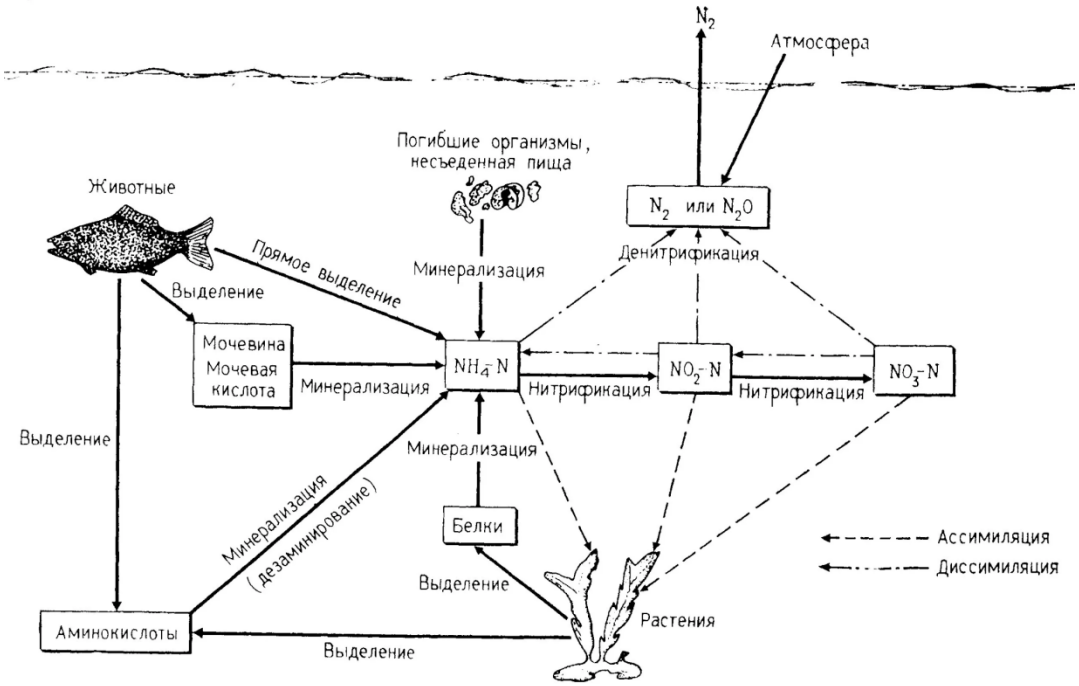

Рисунок 2.Круговорот азота в аквариальных замкнутых системах. [18]

Наиболее токсичным азотсодержащим соединением является аммоний.

Угнетение жизнедеятельности большинства рыб начинается уже при концентрациях ионов аммония 0,5 мг/л.[1]

Длительное воздействие концентраций аммония, превышающих ПДК, вызывает повреждение центральной нервной системы и жабр рыб, что приводит к потере равновесия, нарушению дыхания и судорогам. Повреждение жабр, часто проявляющееся красной окраской и воспалением. Нарушение дыхания ограничивает правильное функционирование других физиологических процессов, что приводит к подавлению иммунной системы и, в конечном итоге, к смерти.[25]

Также симптомами отравления являются красные полосы на теле, вялость и потребность рыбы заглатывать атмосферный воздух у поверхности.[25]

При критически высоких уровнях аммония симптомы проявляются немедленно, и могут быстро привести к летальному исходу.[25]

Воздействие аммония, даже незначительно превышающего ПДК, в течение длительного периода может привести к стрессу рыб, увеличению заболеваемости и потерь рыбы.[25]

На токсичность аммония влияет pH среды. Чем выше значение водородного показателя, тем сильнее его токсическое действие на организм рыбы. Оптимальными считаются значения pH воды в рыбоводных ёмкостях входящие в диапазон 6,0 – 8,5.[25]

Токсичность аммония увеличивается с повышением температуры.[25]

Также сильно токсичны для рыб нитриты – связываясь с гемоглобином, они нарушают перенос кислорода к тканям. ПДК нитритов в воде рыбоводных ёмкостей составляет 0,25 мг/л. Под воздействием повышенных концентраций нитритов цвет жабр рыб изменяется с ярко красных до почти коричневых.[11]

Наименее токсичными для рыб соединениями являются нитраты. Считается, что большинство рыб могут выдерживать концентрации нитратов до 300 мг/л, некоторые рыбы могут переносить уровни до 400 мг/л.[25]

Для создания в установках замкнутого водоснабжения оптимальных условий для роста и развития рыб необходимо не допускать накопления в системе токсичных продуктов обмена (особенно аммония и нитритов). Удаление их из воды происходит в ходе биологической очистки, которая, в наиболее распространенной форме, представляет собой последовательный переход соединений азота из одной формы в другую по средствам окислительных процессов, осуществляемых бактериями. Этот последовательный переход представляет собой адаптацию азотного цикла, применимую к искусственным системам и завершается окислением соединений

азота до форм, имеющих минимальную токсичность (нитратов) или полным удалением соединений азота из воды.[18]

БИОЛОГИЧЕСКИЙ ФИЛТР

Самым распространенным способом избавления от токсичных азотсодержащих соединений в установках замкнутого водоснабжения является биологический фильтр. В нём происходит наиболее важная для рыбоводных систем стадия азотного цикла – нитрификация.

Эффективность окисления токсичных аммония и нитритов до нитратов в биологическом фильтре обеспечивается следующими факторами:

1. Достаточная концентрация кислорода в воде (не менее 2 мг/л).
2. Постоянство температуры.
3. Поддержание оптимального значения водородного показателя pH 7,2.
4. Низкая освещенность.
5. Достаточная площадь поверхности субстрата для образования биоплёнки.

Эти факторы определяют конструкцию биологического фильтра. Она должна обеспечивать не только субстрат для образования достаточной для очистки загрязненных вод площади бактериальной плёнки, но и способствовать отшелушиванию отмерших ее частей с поверхности, необходимому для поступления достаточного количества кислорода к живым бактериям и выхода свободных планктонных бактерий для заселения нового субстрата. Этому требованию в наибольшей степени удовлетворяют биологические фильтры с плавающей загрузкой.[31]

Наполнитель (субстрат для биоплёнки) таких фильтров представляет собой постоянно движущиеся, за счёт подаваемого при помощи компрессора воздуха, частицы. Они очищаются от отмершей биоплёнки за счёт ударов друг о друга и о стенки фильтр (рис. 3).[38]

Рисунок 3. Биологический фильтр с плавающей загрузкой. (ориг.)

Также преимуществом такого вида фильтров является то, что его частицы обладают максимально возможной контактной площадью для заселения нитрифицирующими бактериями. Загрузка биофильтра может быть изготовлена как из натуральных материалов, например пористые глиняные, или из искусственных (пластиковые) (рис. 4).[31]

Рисунок 4. Примеры загрузки биофильтра: 1 - глиняный пористый субстрат; 2 - пластиковый субстрат "Биошар".[30,32]

Фильтр с плавающей загрузкой является наиболее эффективным и распространенным видом биологического фильтра в установках замкнутого водоснабжения. Реже в рыбоводных системах используются фильтры со

статической загрузкой, они, в свою очередь, делятся на капельные и погружные.[16]

В погружных фильтрах субстрат полностью залит водой, сливаемой по мере ее очищения. В капельных фильтрах субстрат непрерывно смачивается загрязненной водой.[18]

Фильтры со статической загрузкой уступают в эффективности фильтрам с плавающей загрузкой за счёт худшей обеспеченности кислородом и отсутствия в нём возможности самоочищения субстрата.

Высокое содержание кислорода в воде биофильтра препятствует восстановлению нитратов анаэробными бактериями. Однако подавление процессов диссимиляции в системе не является большой проблемой, так как в ходе денитрификации нитраты окисляются не только до относительно безопасной двуокиси азота, но и возвращаются в состояние токсичных нитритов.[18]

Накопление нитратов не представляет опасности для рыб, выращиваемых в УЗВ, и избыток, при необходимости, удаляется при помощи подмены воды.[18]

АЗОТНОЕ ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ

Большую часть кислорода и углерода растения получают из воздуха. Остальные элементы необходимые для жизни и развития поступают путём всасывания питательных веществ корневыми волосками поверхностной ткани корня – ризодермы.[10]

Одним из наиболее важных элементов в организме растения является азот. Он входит в состав хлорофилла, белков, нуклеиновых кислот и большинства витаминов. Недостаток азота замедляет рост растения и синтез хлорофилла. Избыток азота приводит чрезмерному вегетативному росту.[14]

Азот поступает в растения в виде минеральных форм и в результате цикла биохимических преобразований включается в состав органических соединений. Основными источниками азота являются поглощаемые корнями аммоний и нитраты.[14]

Нитраты не могут использоваться при синтезе органических соединений, поэтому при попадании в организм растения они подвергаются ступенчатому ферментативному преобразованию, в результате которого восстанавливаются до аммония. [14]

Процесс редукции нитрата осуществляется в 2 этапа:

1. Восстановление нитрата до нитрита:

$$NO_3^- + НАД(Ф)Н + H^+ \rightarrow NO_2^- + НАД(Ф)^+ + H_2O$$

2. Восстановление нитрита до аммония:

$$NO_2^- + 6\ Фд_{восст.} + 8H^+ \rightarrow NH_4^+ + 6\ Фд_{окисл.} + 2H_2O$$

Поскольку нитраты в растениях восстанавливаются по мере расхода образующегося аммония на биосинтез, они могут накапливаться в больших количествах. Они не токсичны для растений, однако потребление растений с высоким содержанием нитратов может оказывать вредное воздействие на человека и животных.[14]

В нейтральной среде потребление нитритов подавляется в присутствии более предпочтительного источника азота – аммония. В кислой среде основным источником азота становится нитрат. Нитритное питание осуществляется только при низких концентрациях нитрата и аммония.[17]

Нитриты также после потребления растениями восстанавливаются ими до аммония. При низком водородном показателе среды нитрит токсичен для растений и ингибирует поглощение растениями ионов калия.[27]

Особенности питания растений зависят также от присутствия в прикорневом растворе других минеральных веществ. Так при повышенном

содержании магния, кальция и калия предпочтение отдается аммонийному питанию, а при значительном содержании в среде фосфатов − нитратному.[14]

Аммоний, как полученный растением из внешней среды непосредственно в результате всасывания, так и восстановленный из нитритов и нитратов расходуется растениями на образование амидов и аминокислот. Преимущественно этот процесс происходит в корневой системе, поскольку катализируется ферментом глютаматдегидрогеназой, локализованной в основном в митохондриях, которых в корнях больше, чем в листьях.[10]

Немаловажную роль в азотном питании растений играет фосфор.

Сам по себе фосфор как биогенный элемент является важным компонентом растений. Он входит в состав нуклеиновых кислот, АТФ, большинства витаминов и ферментов, участвует в построении ядра и цитоплазмы клеток, является структурным компонентом фосфолипидных мембран. Дефицит фосфора обычно характеризуется плохим развитием корней.[14,25]

Фосфор поступает в растения в результате всасывания корнями фосфатов. Без него не возможен обмен азотистых веществ в организме растения. Соединения фосфора участвуют в восстановительных процессах нитратов и нитритов до аммония, без фосфора невозможен синтез амидов и аминокислот. Азотное питание тесно связано с фосфатным, в отсутствие которого нарушается синтез белка.[14]

АКВАПОНИКА

Аквапоника является интегрированной системой, нацеленной на выращивание товарной продукции гидробионтов и растений.

Одной из отличительных особенностей аквапоники, как метода ведения товарной аквакультуры, является осуществление биологической очистки двумя способами:

- Бактериальное окисление, происходящее в биофильтре. Такой способ характерен для традиционной аквакультуры.
- В результате всасывания растениями в гидропонных модулях.

При этом в гидропонных модулях очистка идёт не только за счёт питания растений, но и в результате процессов нитрификации, аналогичных процессам протекающим в биофильтрах. Нитрифицирующие бактерии образуют биоплёнку на субстрате, в который высажены растения и на их корнях.

Типичная конструкция аквапоники представляет собой рыбоводную ёмкость, вода из которой сначала подвергается механической очистке, затем биологической очистке в гидропонном модуле и биофильтре.

Наиболее распространенными конструкциями гидропонных модулей в аквапонных установках являются:

- Система плавающей платформы.

Представляет собой пенопластовую платформу, имеющую отверстия для помещения в них ячеек с растениями. Ячейки заполнены субстратом, чаще всего минеральной ватой. Корни растений постоянно погружены в воду с растворенными в ней питательными веществами, субстрат смачивается незначительно, не более чем 20% (рис.5).[36]

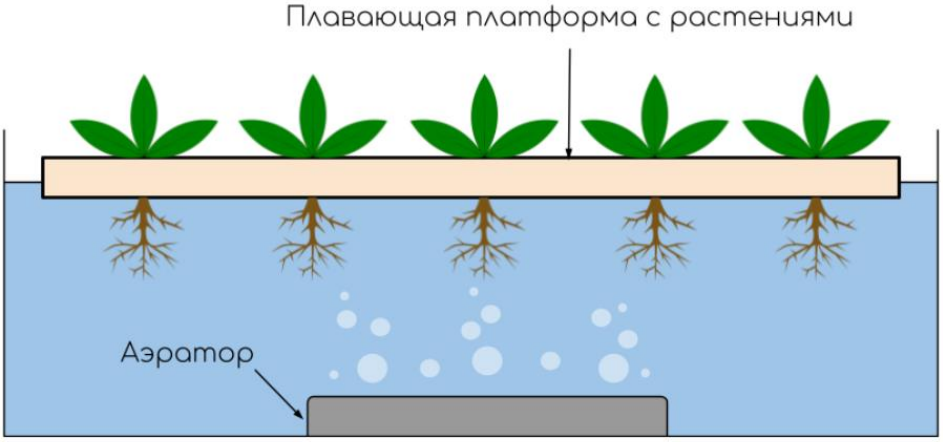

Рисунок 5. Схема системы плавающей платформы. (ориг.)

- Система питательного слоя.

Данная система представляет собой жёлоб или трубу с вставленными в них ячейками или кассетами заполненными субстратом, в которые высажены растения. По дну жёлоба течет вода с растворенными в ней питательными веществами, омывая постоянно погруженные корни растений (рис. 6).[36]

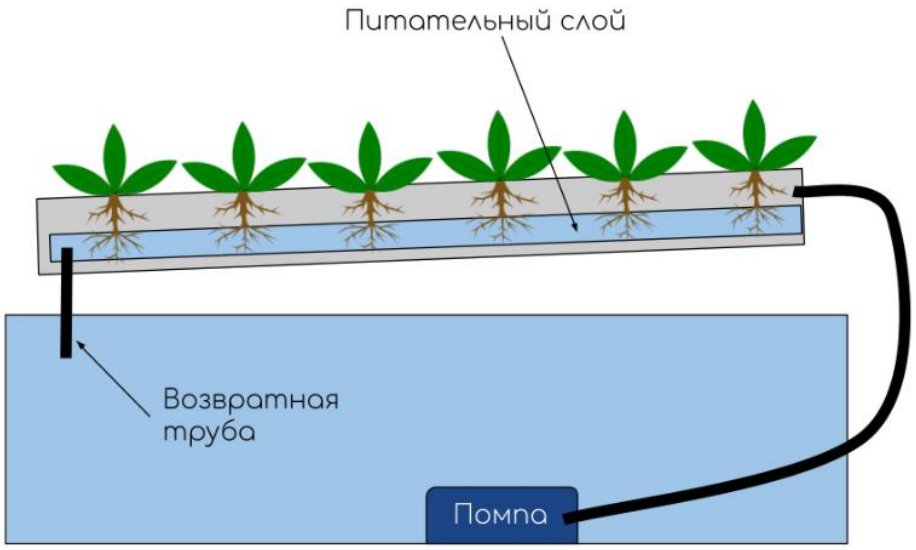

Рисунок 6. Схема системы питательного слоя. (ориг.)

При беспочвенном выращивании культуры растут в закрытых инертных средах. Эти среды не мешают доставке питательных веществ, которая может происходить в почве. Кроме того, среда обеспечивает влажность и вентиляцию корней.

Использование технологии аквапоники значительно упрощает выращивание сельскохозяйственных растений. Исчезает необходимость чередования культур, полива растений, обработки пестицидами и защиты их от сорняков, значительно сокращаются или вовсе пропадает потребность во внесении удобрений. Не требуется техника для обработки почвы. При выращивании растений в воде возможно более быстрое и точное регулирование параметров прикорневой среды, исчезает фактор сезонности. Потеря воды происходит исключительно при испарении через листья, она не просачивается в

почву, что также обеспечивает значительную экономию. В целом, в аквапонике используется только около 10 процентов воды, необходимой для выращивания того же растения в почве.[22,25]

Продуктивность гидропонного выращивания растений в 2 – 5 раз превышает продуктивность традиционного почвенного выращивания растений.[22,25]

Технология аквапоники имеет значительные преимущества в сравнении с технологиями раздельного выращивания (растений в гидропонике, гидробионтов в УЗВ):

1. Аквапоника обеспечивает производство двух сельскохозяйственных продуктов от одного источника азота (корма рыб). [25]
2. При традиционном выращивании растений в гидропонике, питательные растворы со временем истощаются, что вызывает необходимость замены этих растворов, в аквапонных же системах приток питательных веществ постоянен и чаще всего растениям не требует дополнительная подпитка.[20]
3. Рецептура питательных растворов гидропоники чаще всего включает в себя синтетические компоненты, тогда как в аквапонике используются естественные продукты жизнедеятельности.[20]
4. При выращивании аква- и агрокультур образуется значительное количество отходов, загрязняющих окружающую среду, в интегрированных системах выращивания сброс отходов обеих систем сводится к минимуму.[20]

Экономичное использование воды, сведение к минимуму ее подмены, делает аквапонные установки возможными для эксплуатации в засушливых районах с бедными почвами.

Одним из минусов аквапоники является то, что площадь для выращивания сельскохозяйственных культур в значительной степени ограничена, и не может

дать столь же большие объемы продукции, сколько и традиционное сельское хозяйство.

Еще одним значительным недостатком является невозможность ограничить в аквапонике нитратное питание растений, которое преобладает над аммонийным, по причине избытка фосфора и недостатка калия.

Ведение хозяйства методом аквапоники требует точности и профессиональных знаний, поскольку равновесие симбиоза животных, растений и простейших является очень хрупким. Также аквапоника имеет большие первоначальные затраты, чем раздельное производство рыбы и растений.

Каждый организм в аквапонной установке имеет определенный диапазон допустимых значений для каждого параметра качества воды (таблица 2).

Таблица 2. Общие параметры качества воды для рыб (тепло- или холодноводных), гидропонных растений и нитрифицирующих бактерий.[25]

Тип организма	t (°C)	pH	NH_4^+ (мг/л)	NO_2^- (мг/л)	NO_3^- (мг/л)	O_2 (мг/л)
Тепловодные рыбы	22-32	6-8,5	< 3	< 1	< 400	4-6
Холодноводные рыбы	10-18	6-8,5	< 1	< 0,1	< 400	6-8
Растения	16-30	5,5-7,5	< 30	< 1	-	> 3
Бактерии	14-34	6-8,5	< 3	< 1	-	4-8

Диапазоны толерантности к параметрам качества воды схож для всех трёх типов организмов. Однако для максимально эффективного функционирования системы необходим компромисс, поскольку некоторые организмы не будут функционировать на оптимальном уровне при параметрах, оптимальных для других организмов (таблица 3).

Таблица 3. Общие параметры качества воды для рыб (тепло- или холодноводных), гидропонных растений и нитрифицирующих бактерий.[25]

	t (°C)	pH	NH_4^+ (мг/л)	NO_2^- (мг/л)	NO_3^- (мг/л)	O_2 (мг/л)

Аквапоника	18-30	6-7	< 1	< 1	5 – 150	> 5

Все питательные вещества, необходимые растениям для роста и развития присутствуют в рыбных отходах жизнедеятельности, они в достаточной степени обеспечивают растения азотом и фосфором, а также другими элементами необходимыми растениям лишь в следовых количествах. Однако при выращивании растений в аквапонике остро ощущается нехватка калия, кальция и железа.[25]

Калий контролирует раскрытие устьиц, повышает активность ферментов, участвующих в углеродном обмене, ускоряет превращение моносахаридов в олиго- и полисахариды, способствует их переносу и накоплению, участвует в завязывании цветков и плодов. Также от калия зависит выработка пигмента ликопина, отвечающего за красный цвет плодов. Недостаток калия проявляется в виде обожженных пятен на листьях, затруднении образования и созревания плодов.[9]

Кальций используется в качестве структурного компонента как клеточных стенок, так и клеточных мембран. Он участвует в укреплении стеблей и способствует развитию корней. Дефицит проявляется в ожоге кончиков листьев.[25]

Железо используется в хлоропластах и цепи переноса электронов и имеет решающее значение для фотосинтеза. Дефицит проявляется промежуточным пожелтением, после чего вся листва становится бледно-желтой и, в конечном итоге, белой с некротическими пятнами и деформированными краями листьев.[25]

Проблема дефицита этих элементов решается внесением удобрений.

Железо регулярно добавляется в виде хелатного железа в систему аквапоники для достижения концентрации около 2 мг/л. Кальций и калий добавляются в виде гидроксидов или в виде карбонатов.[25]

Есть две основные группы растений, выращиваемых в аквапонике, выделенные на основании их потребностей в питательных веществах.

К растениям с низким питательным спросом относятся листовая зелень и травы, такие как салат, руккола, базилик, мята, петрушка, кориандр, зеленый лук. Многие бобовые, такие как горох и фасоль, также имеют низкую потребность в питательных веществах.[25]

К растениям с высокой потребностью в питательных веществах относятся плодовые растения, такие как помидоры, баклажаны, огурцы, кабачки, клубника и перец. Растения со средней потребностью в питательных веществах: капуста белая, цветная капуста, брокколи.[25]

При выборе объектов аквакультуры для аквапоники опираются на экономическую целесообразность выращивания этой продукции, однако при реализации такого производства наиболее важным является совпадение требований к параметрам качества воды у выбранных объектов аквакультуры с требованиями, предъявляемыми качеству воды бактериями и растениями.

Чаще всего объектами аквакультуры в аквапонных установках становятся тепловодные рыбы: нильская тиляпия (*Oreochromis niloticus*), африканский клариевый сом (*Clarias gariepinus*) и различные представители рода Карпы (*Cyprinus*). В авапонных установках могут выращиваться беспозвоночные, например гигантская речная креветка (*Macrobrachium rosenbergii*). Также возможно выращивание теплолюбивых объектов декоративного рыбоводства.[20]

Для выращивания растений предпочитающих относительно прохладную воду (10-20°C) видом, выбранным для совместного выращивания, может стать радужная форель (*Oncorhynchus mykiss*).[16]

ОПИСАНИЕ УЧЕБНОЙ АКВАПОННОЙ УСТАНОВКИ

Для проведения эксперимента по определению эффективности биофильтрации в УЗВ с использованием технологии аквапоники в учебную установку замкнутого водоснабжения были встроены 2 гидропонных модуля, которые представляют собой промежуточный этап очистки между механическим и биологическим фильтрами (рис. 7).

Рисунок 7. Учебная аквапонная установка. (ориг.)

Объём рыбоводной ёмкости в учебной установке составляет 1,5 кубометра, фактический объём воды в ней на момент проведения эксперимента 300 литров. Вода из рыбоводной ёмкости поступает в барабанный механический фильтр, далее при помощи насоса подается к гидропонным модулям для очистки от токсичных соединений азота. После прохождения модулей вода поступает в биологический фильтр с плавающей загрузкой, где подвергается доочистке.

На последнем этапе очистки вода протекает через резервуар с УФ-лампой предназначенной для удаления из воды патогенных бактерий и одноклеточных организмов, после чего возвращается в рыбоводную ёмкость.

Традиционно в аквапонике первым этапом биологической очистки является биофильтр, но поскольку одной из задач данной работы является

определение способности растительного фильтра извлекать из воды ионы аммония и нитрит-ионы, биофильтрации в рассматриваемой установке начинается с него.

В установке используется гидропонный модуль системы питательного слоя.

Аэрация осуществлялась компрессором модели Jecod PA-60 мощностью 65л/минуту.

Дополнительное освещение для растений в гидропонных модулях осуществляется фитолампами мощностью 6,8 Вт.

На момент проведения эксперимента при помощи электрического нагревателя фирмы BARBUS мощностью 500 Вт поддерживалась постоянная температура воды, равная 27°С. Контроль значения pH воды осуществлялся тестами Нилпа и составлял 6,5-7,5.

Корм в рыбоводную ёмкость подавался автоматической кормушкой.

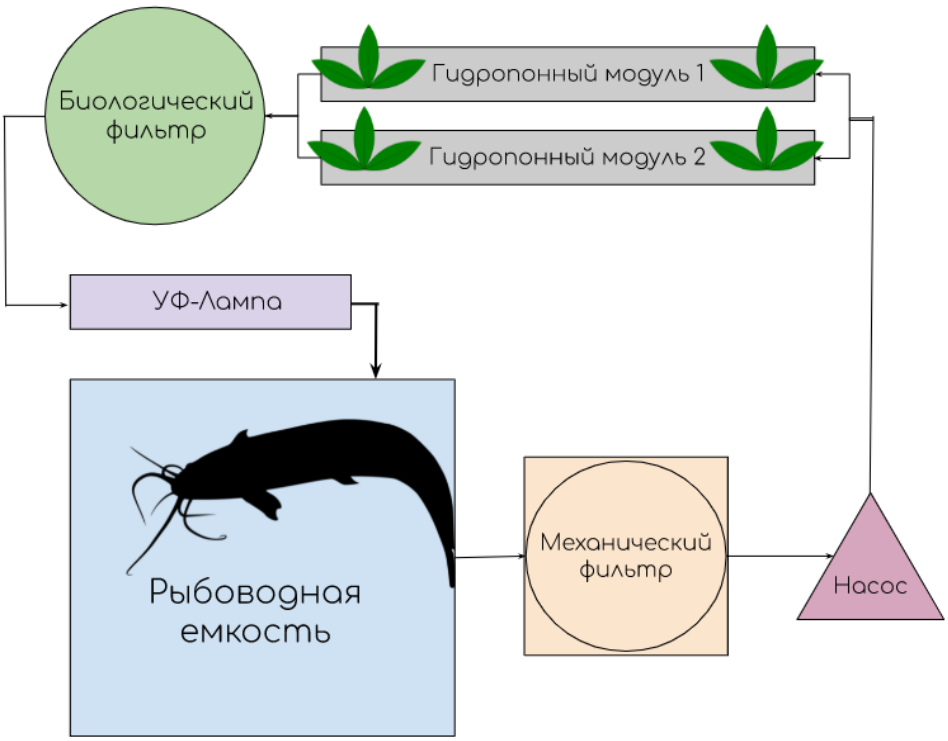

Рисунок 8. Схема учебной аквапонной установки. (ориг.)

В качестве объекта аквакультуры был выбран африканский клариевый сом (*Clarias gariepinus*). На момент проведения эксперимента в рыбоводной ёмкости находилось 10 особей данного вида.

Объектом гидропоники являлся салат латук (*Lactuca sativa*). В качестве питательного раствора использовалась вода из рыбоводной ёмкости.

Глава 2

ОБЪЕКТ АКВАКУЛЬТУРЫ: АФРИКАНСКИЙ КЛАРИЕВЫЙ СОМ

Класс: Лучепёрые рыбы Actinopterygii

Отряд: Сомообразные Siluriformes

Семейство: Клариевые Clariidae

Род: Клариас *Clarias*

Вид: Африканский клариевый сом *Clarias gariepinus, Burchell, 1822*

Африканский клариевый сом (также называемый нильский клариас или мраморный клариевый сом), распространен в большинстве стран Африки, а также в Турции, Ливане, Иордании и Израиль. В Россию *Clarias gariepinus* впервые был завезен в 1994 году.[8,6]

Клариас имеет удлиненное тело с крупной сдавленной головой. У него широкие жаберные щели, первая жаберная дуга имеет 24-110 тычинок (рис 9).

Ключица остроконечная, узкая с продольными ребрами. Рот конечный и большой. Имеется четыре пары усиков. Спинной и анальный плавники длинные; отсутствует адипозный плавник и шип спинного плавника. Передняя кромка грудного шипа зазубренная. Хвостовой плавник округлый.[33]

Африканские сом населяют мелкие водоемы с илистым дном. Такие водоемы подвержены пересыханию. Выживание клариевых сомов обеспечивает дыхание при помощи специального наджаберного органа, пронизанного множеством капилляров и способного усваивать кислород из атмосферного воздуха.[33]

Естественной для клариевого сома является жизнь в полумраке или темноте, поэтому он имеет маленькие глаза и 4 пары усов с чувствительными луковицами, предназначенными для поиска пищи и ориентации в пространстве. Высокая освещенность является для данного вида фактором стресса, особенно при резком включении освещения. Реакция рыб на смену интенсивности

освещения может привести к травмам и даже летальному исходу (рыбы бьются о стены бассейна).[6]

Данный вид относительно толерантен к содержанию аммония и нитритов в воде. Максимальное содержание аммония в воде для личинок и мальков клариевого сома составляет 2,3 мг/л, для взрослых особей 6,5 мг/л. Концентрация нитритов не должна превышать 2 мг/л.[6]

Несмотря на свою толерантность к высоким концентрациям аммония и нитритов, клариевый сом реагирует на повышение концентрации нитратов в воде. Концентрация более 100 мг/л может снижать их аппетит.[25,33]

Характерная окраска - серая с белым брюхом, хотя часто встречаются сомы этого вида черного, коричневого, зеленовато-коричневого цветов.

Рисунок 9. Внешний вид африканского клариевого сома Clarias gariepinus (Burchell, 1822).[8]

Данный вид имеет следующие преимущества, как объект аквакультуры:

- Характерен быстрый темп роста;
- Устойчив к заболеваниям;
- Способен переносить низкие концентрации кислорода, благодаря наджаберному органу;
- Обладает высокой толерантностью к повышению в воде концентрации токсичных соединений азота;

- Может расти при высокой плотности посадки, значительно превышающей рекомендованную;
- Прирост биомассы наблюдается даже при кормлении комбикормами с небольшим содержанием протеина, хотя интенсивность роста сомов повышается с повышением содержания в корме протеина, поскольку в естественной среде обитания данный вид является хищником;[6]
- Соответствие африканского сома современным критериям здоровой пищи. Мясо сома низкокалорийное (91,4 ккал), богато витаминами группы В и жирными кислотами Омега-3.

Параметры среды, наиболее благоприятные для выращивания африканского сома:

- Температура – 22 – 30 °С;
- pH 6,5-8;
- Солёность 0 – 2,5 промилле, до 10 промилле;
- Содержание кислорода 4-5 мг/л;
- Содержание ионов аммония в воде: для личинок и молодых мальков максимум – 2,3 мг/л, для взрослых сомов 6,5 мг/л.[21]

Плотность посадки, рекомендуемая для максимально эффективного выращивания клариевого сома составляет 250-350 кг рыбы/м^2.[21]

При выращивании африканского клариевого сома в УЗВ выделяют 4 основных этапа (рисунок 10):

I этап: Закладка игры на инкубацию и собственно инкубации икры

Производителей отбирают из рыб с высокими темпами роста и находящихся на стадии максимального развития гонад (самцов возрасте 1,5-2 года, самок в возрасте 2 лет). Несмотря на то, что половой зрелости самки

клариевого сома достигают в возрасте 6 месяцев, наилучшие результаты наблюдаются при размножении в возрасте 2 лет.[8]

В природе естественный нерест сомов происходит в ответ на стимулы окружающей среды. В условиях производства искусственный нерест происходит в ходе гормональной стимуляции – гипофизарной инъекции. В качестве подготовки к гормональной стимуляции самок рассаживают в отдельные бассейны и за 2 дня до проведения процедуры прекращают кормление. В бассейнах поддерживается оптимальная температура 26℃. Наступление полной овуляции, оптимальной для получения икры наступает через 12 часов после гормональной стимуляции. Для получения икры самок усыпляют, после получения продуктов помещают в раствор перманганата калия (0,5 г/100 л воды на час). Допустимый забор икры от каждой самки – около 20% от её веса.[8,33]

Половые продукты самцов отбирают хирургическим путём – вырезают семенники, а их содержимое помещают в чашки Петри. Важно не допустить попадание воды в сперму.[12]

Оплодотворение икры происходит порционно: на 300 грамм икры добавляют 3 мл молок от 3 разных самцов. Для активации оплодотворения приливают воду и перемешивают около 5 минут. Затем икру обесклеивают, промывая раствором танина в течение не более 30секунд.[12]

Для инкубации икру раскладывают тонким слоем. Период инкубации длится 20-60 часов, в среднем при оптимальных условиях – 25 часов. Температура воды в лотках для инкубации не должна превышать 27℃.[8]

II этап: выращивание личинок

Этот этап представляет собой подращивание личинок до навески 300-500мг и включает в себя 2 стадии:

1) От момента вылупления до полного рассасывания желточного мешка (длительность 2-4 дня). Признаком полного рассасывания желточного

мешка является переход личинок к активному движению. Личинки на этой стадии должны находиться в полной темноте.[8]

2) От перехода к активному движению до перехода к дыханию атмосферным воздухом (длительность 2-4 недели). Производится в ёмкостях, объёмом не превышающим 1000 литров, с глубиной не более 60 см в полумраке при насыщенности воды кислородом 50-70%. Плотность посадки личинок не должна быть больше 150 штук/литр. На этой стадии первые 4-5 личинок откармливают трубочником и декапсулированной артемией, затем переводят на питание сухими стартовыми кормами, содержащими более 50% белка и около 14% жира (корм составляет 15% биомассы). К концу второй стадии личинок разрежают, уменьшая плотность посадки до 20-50 штук на литр. Это необходимо как для комфортного развития личинок, так и для снижения потерь численности за счёт каннибализма.[37]

III этап: выращивание мальков (длительность 3-5 недель).

Мальков навеской 300-500 мг сортируют по размеру. Кормление производится 3-4 раза в сутки и рацион составляет 5% от биомассы. Оптимальный объём бассейнов для подращивания мальков 5000 л, плотность посадки 2,5 штук/литр. Полная смена воды должна производиться каждые 2 часа.[8]

IV этап: выращивание товарной рыбы

Этот этап также делится на 2 стадии:

1) Выращивание до навески 160-190 г (длительность 50-60 дней).

В ёмкости объёмом 5000 л помещают сомов массой 10-15 г при плотности посадки 2 штуки/литр, при достижении навески 20-30 г плотность посадки должна быть 1-1,5 штуки/литр. При полной смене воды каждые 2 часа и кормлении 3-4 раза в день плавающим кормом (дневной рацион 3 –

5 % от массы рыбы) к концу этой стадии вес каждой рыбы должен составлять 160-190 г.[8]

2) Выращивание до товарной навески 800-1200 г (длительность 30-60 дней). Рыб содержат в бассейнах объёмом 10 м^3 при плотности посадки 0,8-1,5 штуки/литр (400-500 кг на 1 м^3). Рацион кормления составляет 3% от массы рыбы 2 раза в день. Предпочтительна сортировка рыб по размеру.[37]

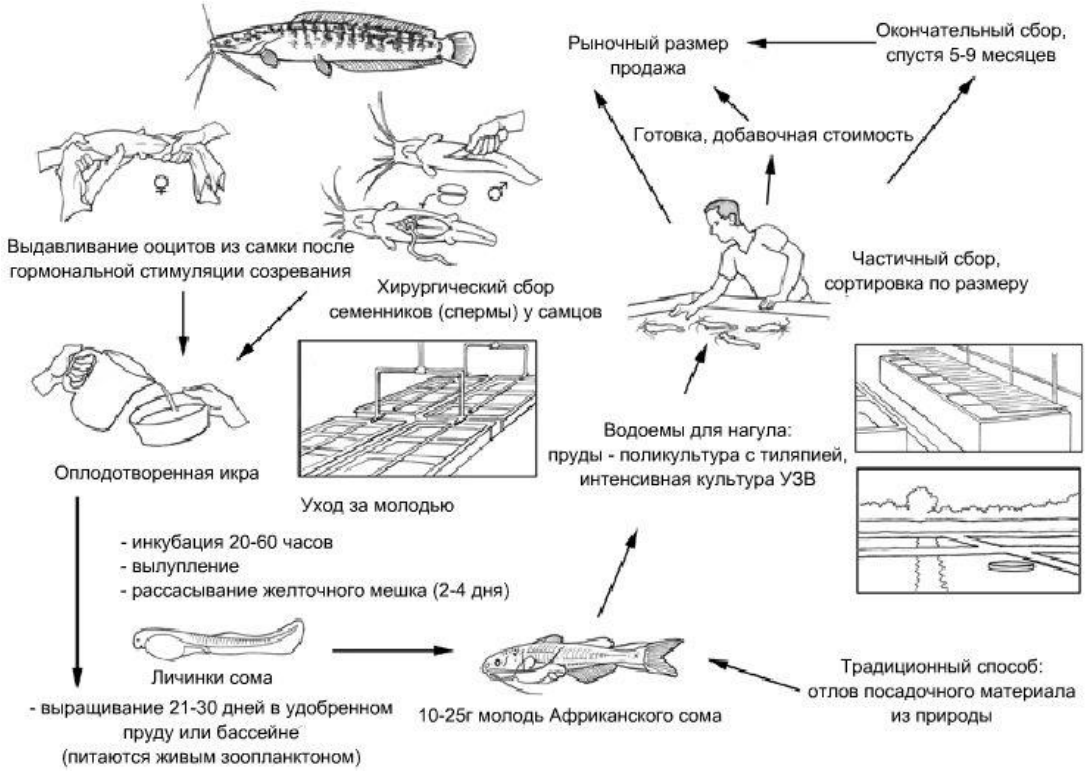

Рисунок 10.Производственный цикл выращивания африканского клариевого сома.[33]

Наиболее важными фактором при выборе объекта аквакультуры для аквапоники, является совпадение его требований к показателям воды с требованиями объектов гидропоники. Большинство ценных сельскохозяйственных растений теплолюбивы и предпочитают воду со

значением pH 6-7. Таким образом клариевый сом является идеальным объектом для аквапоники.

КОРМЛЕНИЕ СОМОВ И ПРИРОСТ БИОМАССЫ

Характер кормления сома различен на разных этапах онтогенеза. Личинок выкармливают крупным зоопланктоном, при достижении навески в 100 мг переводят на пастообразный стартовый комбикорм, при навеске 1−20 грамм сомов кормят комбикормом для сеголеток форели. С повышением возраста и навески рыбы уменьшается частота кормления и процент, который корм составляет от биомассы рыбы.[8]

Взрослых сомов кормят 2 раза в сутки. Скорость роста клариевых сомов зависит от типа и состава комбикорма. Наиболее оптимальным является кормление форелевыми кормами с большим содержанием белка.[6]

Для кормления сомов в учебной аквапонной установке использовался корм DIBAQ EFICO Sigma 811 с диаметром гранул 4,5 мм и следующим химическим составом:

Сырой протеин — 43,6 %

Сырой жир — 15,6 %

Зола — 6,3 %

Клетчатка — 3,8 %

Фосфор — 1,01 %

Кальций — 0,87 %

Натрий — 0,28 %

Во время проведения эксперимента рыб кормили 2 раза в сутки, и количество корма определялась по таблице 4.

Таблица 4. Кормление африканского клариевого сома кормами DIBAQ.[34]

Вес рыбы (г)	0,5-1	1-5	5-15	15-40	40-100	100-200	200-400	400-1000	1000-1500	>1500

Размер гранулы (мм)	1	1,45	1,65	2	3	4,5	4,5	4,5	7	7
Температура										
18°C	ПО ОТРЕБНОСТИ	3,4	2,9	2,3	1,9	1,5	1,2	1,0	0,6	0,5
19°C		4,2	3,6	2,9	2,4	1,9	1,5	1,2	0,8	0,6
20°C		5,1	4,3	3,4	2,9	2,3	1,8	1,5	0,9	0,8
21°C		5,7	4.8	3,9	3,2	2,6	2,1	1,6	1,1	0,8
22°C		6,3	5,4	4,3	3,6	2,9	2,3	1,8	1,2	0,9
23°C		7,0	5,9	4,7	3,9	3,1	2,5	2,0	1,3	1,0
24°C		7,6	6,4	5,1	4,3	3,4	2,7	2,2	1,4	1,1
25°C		8,0	6,8	5,4	4,5	3,6	2,9	2,3	1,5	1,2
26°C		8,4	7,1	5,7	4,8	3,8	3,0	2,4	1,6	1,2
27°C		8,0	6,8	5,4	4,5	3,6	2,9	2,3	1,5	1,2
28°C		7,6	6,4	5,1	4,3	3,4	2,7	2.2	1,4	1,1
29°C		7,2	6,1	4,9	4,1	3,2	2,6	2,1	1,3	1,1
30°C		6,7	5,7	4,6	3,8	3,0	2,4	2,0	1,2	1,0
31°C		5,5	4,2	3,5	3,1	2,8	2,4	2,1	2	1,9
32°C	ПО ПОТРЕБНОСТИ									
кг корма на 100 кг веса рыбы / день										

С момента начала кормления сомов в учебной установке 10 марта производились взвешивания сомов для оценки прироста биомассы, результаты которых отображены в таблице 5.

Таблица 5. Динамика роста сомов (в граммах).

Дата:	10.03	8.04	5.05	26.05	17.06
Биомасса сомов, г	930	2520	2830	3570	4987

В период 10.03 по 17.06 наблюдалось значительное увеличение биомассы массы рыб (рис. 9). Общий прирост составил 4057 г.

В течении первого месяца с начала кормления биомасса сомов увеличилась в 2,5 раза.

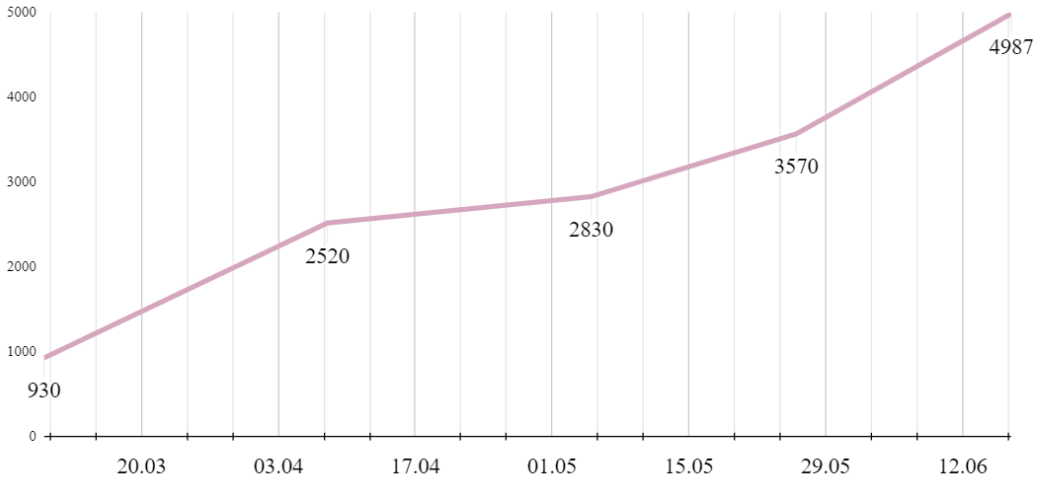

Рисунок 11. Динамика роста сома (в граммах). (ориг.)

Общий прирост биомассы с начала кормления (10.03) до последнего измерения (17.06) составил 4057 грамм.

Была вычислена среднесуточная скорость роста А в периоды с 10.03 по 8.04,с 8.04 по 5.05, с 5.05 по 26.05 и с 26.05 по 17.06 по формул:[13]

$$A = [(M_K/M_0)^{1/t} - 1]100\%;$$

Среднесуточный прирост Р:

$$P = (M_K - M_0)/t$$

где M_K и M_0 – масса рыб в конце и начале опыта соответственно; t – продолжительность опыта, сут.

Результаты вычислений представлены в таблице 6.

Таблица 6. Рыбоводно-биологические показатели выращивания клариевого сома в период с 10.03 по 05.05.

Показатель	**Период**	**Результат вычислений**
Среднесуточная скорость роста	10.03 по 8.04	34 %
Среднесуточный прирост		53 г
Среднесуточная скорость роста	8.04 по 5.05	6 %
Среднесуточный прирост		11,5 г
Среднесуточная скорость роста	5.05 по 26.05	11 %
Среднесуточный прирост		33 г

Среднесуточная скорость роста	26.05 по 17.06	14 %
Среднесуточный прирост		61 г

ОБЪЕКТ ГИДРОПОНИКИ: САЛАТ ЛАТУК

Класс: Двудольные Dicotyledones

Порядок: Астроцветные Asterales

Семейство: Астровые Asteraceae

Род: Салат *Lactuca*

Вид: Салат латук или салат посевной (*Lactuca sativa*)

В диком виде латук распространен в Средней Азии, Западной Европе, Северной Африке, Закавказье.

Выделяют 2 основные разновидности салата посевного:

- Кочанный (*Lactuca sativa* var. *capitata*) – из листьев образуется кочан различной плотности;
- Листовой (*Lactuca sativa* var. *secalina*) – кочан листьями не образуется.

Салат чаще однолетнее растение, редко дву-, многолетнее. Корневая система стержневого типа, в верхней части имеет значительное утолщение, в глубину субстрата уходит большое количество ответвлений.

Листья сидячие гладкие или морщинистые, различной формы с зубчатыми краями или цельнокрайные. Цвет варьируется в зависимости от сорта − от светло-зеленого до темно-зеленого, иногда встречается латук красно-бурой расцветки.[15,28]

В гидропонные модули учебной аквапонной установки был высажен салат листовой салат следующих сортов: Афицион РЗ, Кармези, Кучерявец грибовский, Кучерявец одесский, Дубрава.

Оптимальная температура воздуха для роста салата 15-25°С. Повышение температуры значительно ускоряет вегетативный рост салата. Салат образует цветочные стебли с очень мелкими, трубчатыми цветками желто-зеленого цвета, собранными в соцветия.[23]

Салат светолюбивое растение, темпы роста ускоряют за счёт увеличения продолжительности освещения. Оптимальная продолжительность светового дня 16 – 18 часов.

Данный вид имеет следующие преимущества, как объект гидропоники:

Как объект гидропоники имеет следующие преимущества:

- Короткий период созревания − употребление листового салата в пищу осуществляется спустя 30-40 дней после высадки;[7]
- Быстрый темп роста;
- Салат не плодовое растение – способен дать значительный урожай при характерном для аквапонике недостатке калия.
- Значительное разветвление корневой системы с большим количеством мелких корешков увеличивает площадь поверхность всасывания растениями растворенных в воде питательных веществ. Также поверхность корня является субстратом для заселения нитрифицирующих бактерий, осуществляющих биологическую очистку (рисунок. 12).[7]

Рисунок 12. Корни салата латук (*Lactuca sativa*) в учебной аквапонной установке. (ориг.)

В выращивании посевного салата методом гидропоники в составе аквапонной установки выделяют следующие этапы:

I этап: Выращивание рассады.

Этап начинается с проращивания семян в пластиковых лотках на мягком увлажненном субстрате (рисунок 13). Рассада считается готовой для высаживания в гидропонные модули, когда проросток с полностью раскрывшимися семядольными листьями достигает высоты 1−1,5 см.

Рисунок 13. Салат латук на стадии проращивания семян. (ориг.)

II этап: Высаживания рассады в гидропонные модули.

Проростки высаживают в ячейки гидропонного модуля с отверстиями для выхода корневой системы к воде. Предварительно дно ячейки заполняются субстратом. Субстрат в гидропонике представляет собой неорганическую среду без почвы, предназначенную для закрепления корней выращиваемых растений и предоставления им доступа к воде с растворенными в ней питательными веществами. Он должен быть проницаемым для воды и воздуха, что необходимо для комфортного рота бактерий и достаточного дыхания корней растений. В учебной аквапонной установке в качестве такого субстрата использовался синтепон. (рисунок 14).

Рисунок 14.Высаживания рассады салата в гидропонные модули. (ориг.)

III этап: Выращивание салата в гидропонном модуле.

Ячейки с высаженным в них салатом помещаются в гидропонные модули.

Температура воды в модуле должна составлять 20-26℃. При температуре воды ниже 20℃ наблюдается замедление темпов роста – у салата, выращенного при температуре 10-20℃ размер стебля, площадь листьев и сырой вес значительно уступают аналогичным параметрам салата выращенного при температуре 20-26℃.

В процессе выращивания необходимо следить за уровнем затопления водой корневой системы. Расстояние от поверхности воды до дна посадочной ячейки должно составлять 0,5-1 см так, чтобы при прорастании корни сразу достигали воды с растворенными в ней питательными веществами, но при этом субстрат не затопляло водой (рисунок 15).

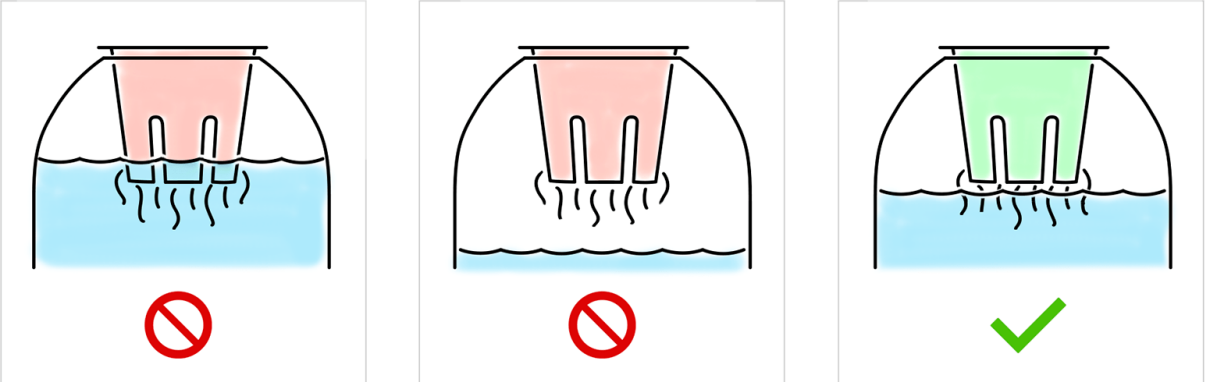

Рисунок 15.Степень погружения корней салата в воду.[35]

ПРИРОСТ БИОМАССЫ САЛАТА

В рамках данной работы отслеживалась динамика роста салата по средством взвешиваний ячеек с растениями. Результаты измерений представлены в таблице 7.

Таблица 7. Результаты измерения биомассы двух партий салата выращенных в периоды с 30.03 по 11.05 и с 11.05 по 17.06, соответственно.

Номер лотка	**Дата взвешивания**						
	Партия I					**Партия II**	
	07.03	**30.04**	**15.04**	**24.04**	**11.05**	**11.05**	**17.06**
1	88	160	282	323	361	75	289
2	130	178	415	419	439	92	312
3	102	157	415	513	580	107	433
4	82	133	394	440	460	105	408
5	80	113	492	500	514	70	215
6	130	205	395	536	556	89	312
Общий прирост биомассы, г	0	335	1751	2119	2914	0	1431

Динамику прироста салата отображает графики (рис. 16 и 17).

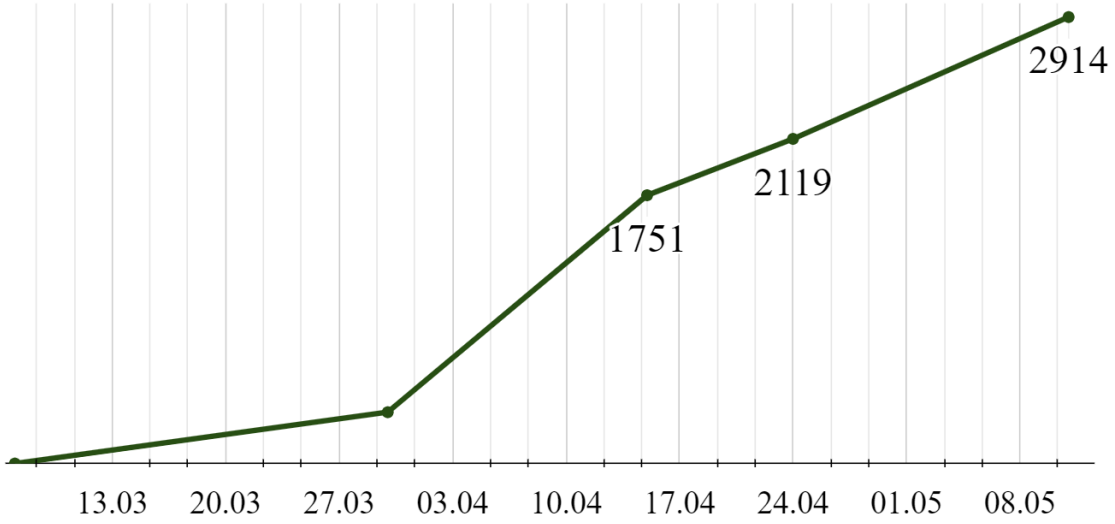

Рисунок 16. Динамика роста салата (в граммах) с 30.03 по 11.05. (ориг.)

Значительный прирост биомассы салата в гидропонных модулях говорит о создании в установке оптимальных условий для роста и присутствии в воде достаточных концентраций необходимых веществ.

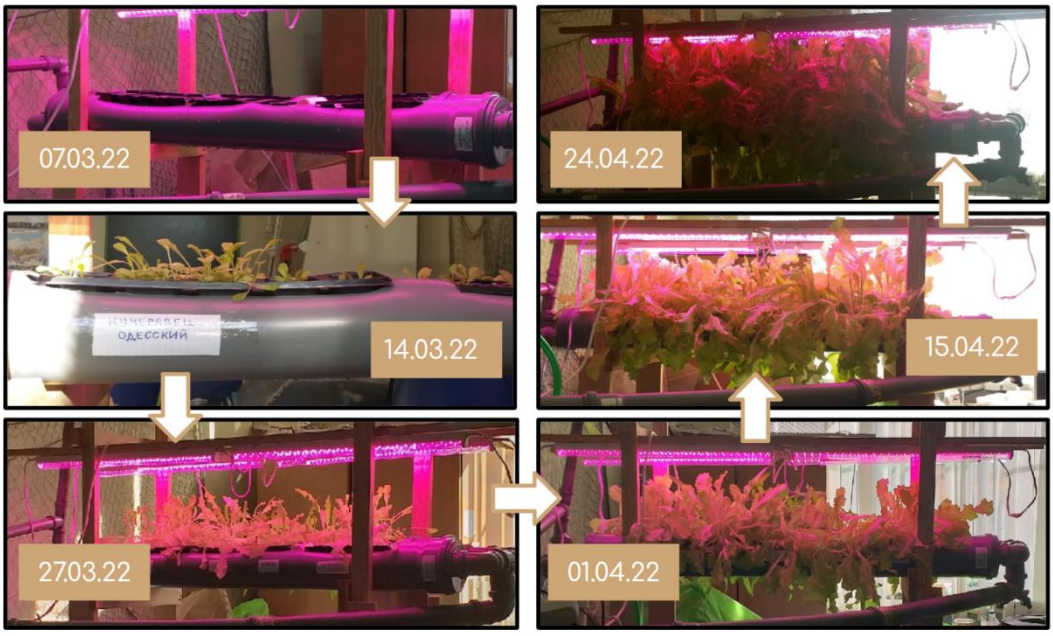

Рисунок 17.Прирост биомассы салата в период 07.03.22-01.04.22. (ориг.)

Глава 3

В рамках данной работы для оценки эффективности биологической очистки измерялась массовая концентрация ионов аммония и нитрит ионов в воде на разных её этапах (рис. 19).

Пробы воды брались в трёх точках:

1) В рыбоводной ёмкости;
2) После прохождения гидропонных модулей;
3) После прохождения биофильтра.

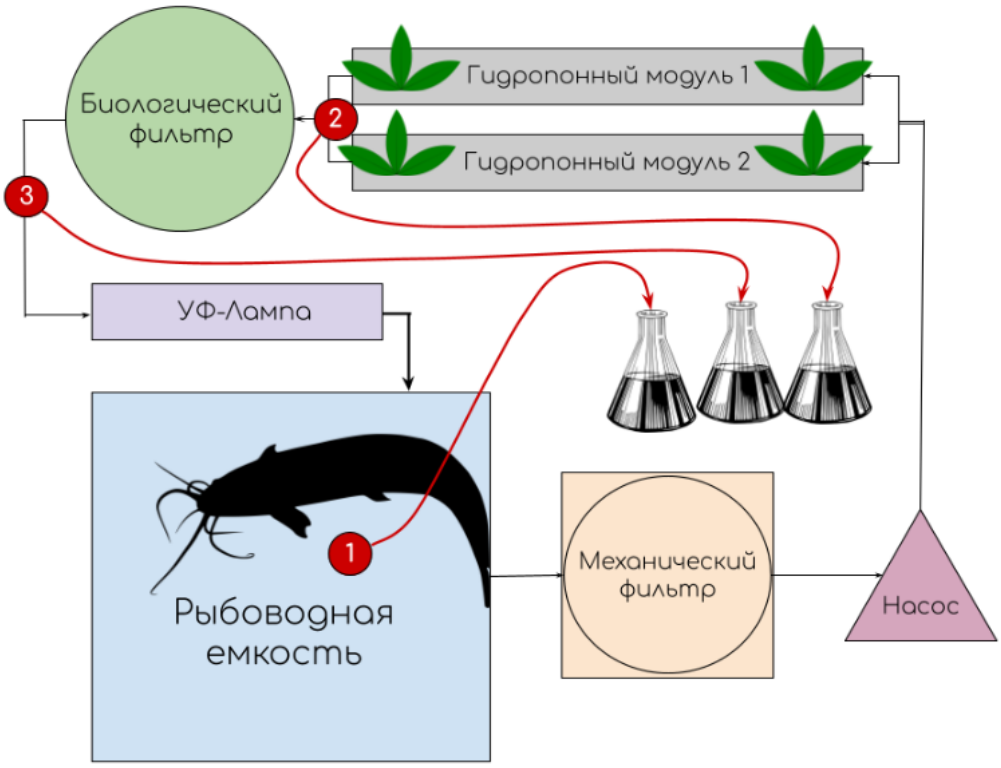

Рисунок 18. Схематичное изображение учебной аквапонной установки с обозначением точек отбора проб. (ориг.)

Все измерения проводились методом фотометрии и выполнялись на спектрофотометре GUYX Visible 721 (рис. 20).

Рисунок 19. Спектрофотометр GUYX Visible 721. (ориг.)

Эксплуатация спектрофотометра:

1. Запуск

   После подключения к источнику питания необходимо убедится, что крышка отделения для образцов закрыта, затем включить прибор переключателем.

2. Выбор длины волны

   При повороте ручки выбирается необходимая для анализа длина волны.

3. Обнуление прибора

   По умолчанию при запуске прибор находится в режиме T – определение пропускания τ, %.

   1) В стойку для кювет помещается кювета с дистиллированной или безаммиачной дистиллированной водой (в соответствии с указаниями, прописанными в методике проведения анализа).
   2) Необходимо закрыть крышку отделения для образцов.
   3) На приборе нажимается клавиша «100%», при этом на дисплее отображается значение 100.0.

4) Нажимается клавиша «0%» - на дисплее отображается значение 0.00.
5) Нажатием клавиши «SET», прибор переключается в режим A – определение оптической плотности D.
6) Для завершения обнуления на приборе нажимается клавиша «0%» для получения значения .000 на дисплее.

4. Выполнение измерений
    1) После обнуления прибора из кюветы выливается дистиллированная или безаммиачная дистиллированная вода и эта же кювета промывается исследуемым раствором
    2) Кювета наполняется исследуемым раствором и помещается в стойку для кювет.
    3) Закрывается крышка отделения для образцов.
    4) На дисплее прибора отображается значение оптической плотности.

Крышку отделения для образцов следует закрывать с осторожностью. При падении крышки необходимо повторить процедуру обнуления.

При установке градуировочной характеристики и дальнейших измерениях в рамках этой градуировочной характеристики необходимо пользоваться одной кюветой во избежание дополнительных погрешностей при анализе.

При измерении оптической плотности нескольких растворов анализ производится в порядке увеличения концентрации в пробе/растворе исследуемых ионов.

Перед каждым измерением кювета промывается анализируемым раствором.

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ МАССОВОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ИОНОВ АММОНИЯ В ВОДЕ ФОТОМЕРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ С РЕАКТИВОМ НЕССЛЕРА.

Данный метод основан на способности аммиака и ионов аммония взаимодействовать с реактивом Несслера с образованием окрашенного в желто-коричневый цвет соединения с последующим фотометрическим определением и расчётом массовой концентрации определяемых компонентов в пробе исследуемой воды.[2]

Установление градуировочной характеристики для определения концентрации нитрит-иона

Требуемые реактивы:

- Реактив Несслера по ТУ 6-09-2089-77
- Калий-натрий виннокислый 4х-водный (Сегнетова соль) по ГОСТ 27068-86
- Государственные стандартные образцы (ГСО 7259-96) состава водного раствора аммоний-ионов
- Натрия гидроокись по ГОСТ 4328-77
- Вода дистиллированная ГОСТ 6709-72

Оборудование:

- Пипетка градуировочная 1-1-2-5 по ГОСТ 29227
- Мерная колба 2-50-2 по ГОСТ 1770
- Конические колбы 100 $см^3$ по ГОСТ 25336 7 шт
- Конические колбы 250 $см^3$ по ГОСТ 25336 3 шт
- Цилиндр мерный 25 $см^3$ по ГОСТ 1770-74
- Лабораторный стакан по ГОСТ 25336
- Дозаторы пипеточные переменного объёма с метрологическими характеристиками по ГОСТ 28311.

- Фильтр «белая» лента по ГОСТ 12026-76
- Воронки пластиковые по ГОСТ 25336-82
- Весы лабораторные по ГОСТ 53228

Приготовление градуировочных растворов:

Приготовление основного раствора:

Получают при разбавлении ГСО в 10 раз безаммиачной дистиллированной водой для получения раствора хлористого аммония с массовой концентрацией ионов аммония 0,1мг/см^3 (100 мг/дм^3).[з]

Приготовление рабочего раствора:

1. Пипеткой отбирают 5см^3 основного раствора ионов аммония с массовой концентрацией 100 мг/дм^3 и помещают его в мерную колбу вместимостью 50см^3.
2. Доводят объём раствора в колбе до метки безаммиачной дистиллированной водой, получая рабочий раствор с массовой концентрацией ионов аммония 10 мг/дм^3.

Рабочий раствор хранится не более 7 дней при температуре 2-10°С в стеклянной ёмкости с плотно закрывающейся крышкой, однако желательно использовать раствор в день приготовления.[з]

Установление градуировочных зависимостей.

Приготовление градуировочных растворов:

1. Градуиоровочной пипеткой в колбы вместимостью 50см^3 приливают 0,0; 3,0; 4,0; 5,0; 10,0; 15,0; 20;0 см^3 рабочего раствора с массовой концентрацией ионов аммония 10 мг/дм^3.
2. Доводят объём раствора в колбах до метки безаммиачной дистиллированной водой.

Полученные градуировочные растворы соответствуют массовым концентрациям ионов аммония 0,00; 0,6; 0,8; 1,0; 2,0; 3,0; 4;0 мг/дм^3. (рисунок 21).[з]

Рисунок 20. Градуировочные растворы для определения оптической плотности ионов аммония. (ориг.)

Погрешность, обусловленная процедурой приготовления образцов для градуировки, не превышает 2,5%.[3]

Приготовление вспомогательных растворов:

- Раствор Сегнетовой соли (калия натрия виннокислого)

50 г Сегнетовой соли растворяют в 100 $см^3$ дистиллированной воды, постепенно нагревая её до 50-60°С, затем прибавляют 0,2 $см^3$ реактива Несслера.[3]

- Раствор гидроксида натрия

  В 75 $см^3$ дистиллированной воды растворяют 25 г гидроокиси натрия. Раствор готовят в термостойком стакане.

- Безаммиачная дистиллированная вода

Анализ градуировочных растворов.

Перед анализом в градуировочный раствор приливают 1,0$см^3$ раствора Сегнетовой соли, тщательно перемешивают, после чего добавляют 1$см^3$ реактива Несслера. Перемешивают.

Оптическая плотность измеряется через 10 минут после приготовления раствора. Окраска смеси устойчива в течение 30 мин.

Холостой раствор – безаммиачная дистиллированная вода с добавлением реактивов (Сегнетовой соли 1,0 $см^3$, реактива Несслера 1 $см^3$).

Градуировочные растворы измеряют в порядке возрастания концентрации.

Градуировочный график строят по полученным результатам анализа в координатах оптическая плотность – концентрация ионов аммония ($мг/дм^3$).

Градуировочная характеристика индивидуальна для каждого прибора и реактива, на которых производятся измерения. Она устанавливается заново после ремонта спектрофотометра или смены партии основных реактивов (в данном случае реактива Несслера). Также вне зависимости от этих факторов она должна обновляться не реже одного раза в месяц.[3]

Определение концентрации ионов аммония в пробе.

1. Перед измерением пробу необходимо отфильтровать при помощи фильтра белая лента (рисунок 22).

Рисунок 21. Фильтрация проб. (ориг.)

2. В коническую колбу объёмом 100 $см^3$ помещается 50$см^3$ анализируемой пробы или меньший объём, доведённый до 50$см^3$ безаммиачной дистиллированной водой.
3. К пробе приливают 1$см^3$ раствора Сегнетовой соли, перемешивают.
4. Затем сразу приливают 1$см^3$ раствора реактива Несслера, перемешивают.

Для проведения измерения необходим объём пробы 50$см^3$ или меньший её объём, доведённый безаммиачной дистиллированной водой до 50$см^3$, далее к пробе приливают 1$см^3$ раствора Сегнетовой соли, 1$см^3$ реактива Несслера, затем перемешивают.[з]

Анализ производят через 10 минут. Окраска устойчива 30 минут, следовательно, при анализе нескольких проб не рекомендуется добавлять реактивы одновременно во все, чтобы время развития окраски было примерно одинаковым.

Измерения проводят при длине волны 440 нм.

Для измерения фона исследуемой пробы готовится следующий раствор: в коническую колбу вместимостью 100$см^3$ помещают 25 мл исследуемой пробы и прибавляют 0,6$см^3$ гидроксида натрия.[з]

Результаты измерений и расчёт массовой концентрации ионов аммония

По результатам измерений оптической плотности градуировочных растворов, приведённых в таблицах 8 и 9, были построены градуировочные графики для разных диапазонов концентраций соответственно (рисунок 23, 24).

Таблица 8 Результаты измерения оптической плотности градуировочных растворов в растворах с концентрацией ионов аммония 0,6 - 4,0 мг/$см^3$.

Оптическая плотность, Д	**Концентрация, С мг/дм3**						
	0,6	**0,8**	**1,0**	**2,0**	**3,0**	**4,0**	**ХОЛ.**
Д1	0,065	0,089	0,110	0,205	0,308	0,401	0,000
Д2	0,063	0,081	0,101	0,202	0,304	0,397	0,004
Д3	0,059	0,087	0,105	0,192	0,308	0,406	0,003

Д4	0,062	0,086	0,105	0,200	0,307	0,401	0,004
Д ср.	0,062	0,086	0,105	0,200	0,307	0,401	

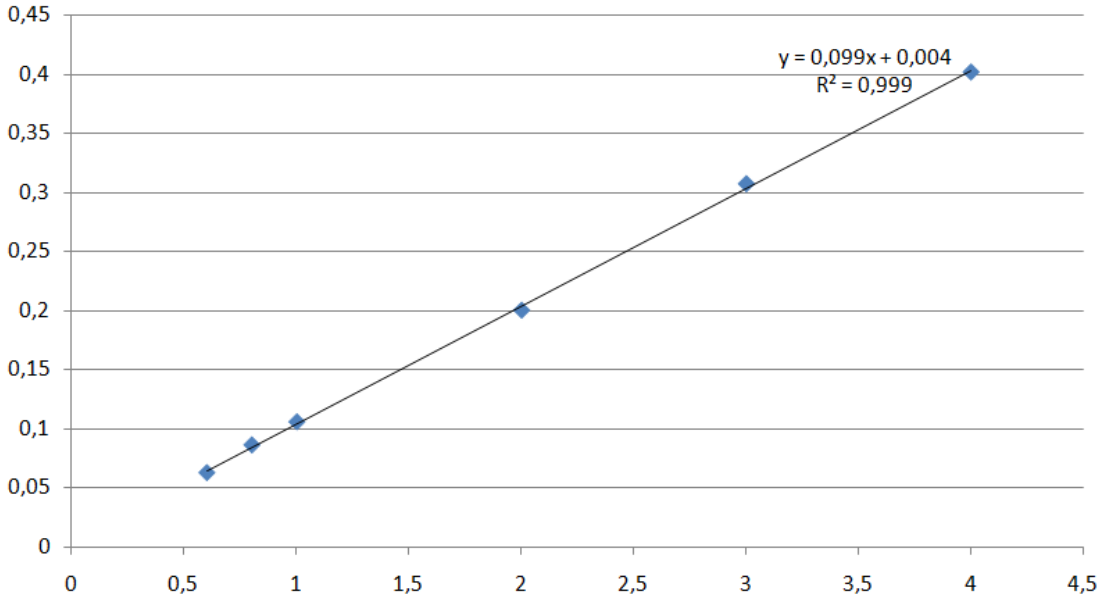

Рисунок 22. Градуировочная характеристика для растворов с концентрацией ионов аммония 0,6 - 4,0 мг/см^3. (ориг.)

Таблица 9. Результаты измерения оптической плотности градуировочных растворов в растворах с концентрацией ионов аммония 0,05 - 0,8 мг/см^3.

Оптическая плотность, Д	**Концентрация, С мг/дм3**							
	0,05	**0,10**	**0,20**	**0,4**	**0,5**	**0,6**	**0,8**	**ХОЛ.**
Д1	0,006	0,012	0,025	0,045	0,059	0,067	0,085	0,000
Д2	0,008	0,019	0,024	0,044	0,055	0,062	0,087	0,004
Д3	0,007	0,017	0,024	0,039	0,057	0,064	0,093	0,003
Д4	0,007	0,016	0,024	0,043	0,057	0,064	0,088	0,004
Д ср.	0,007	0,016	0,024	0,043	0,057	0,064	0,088	

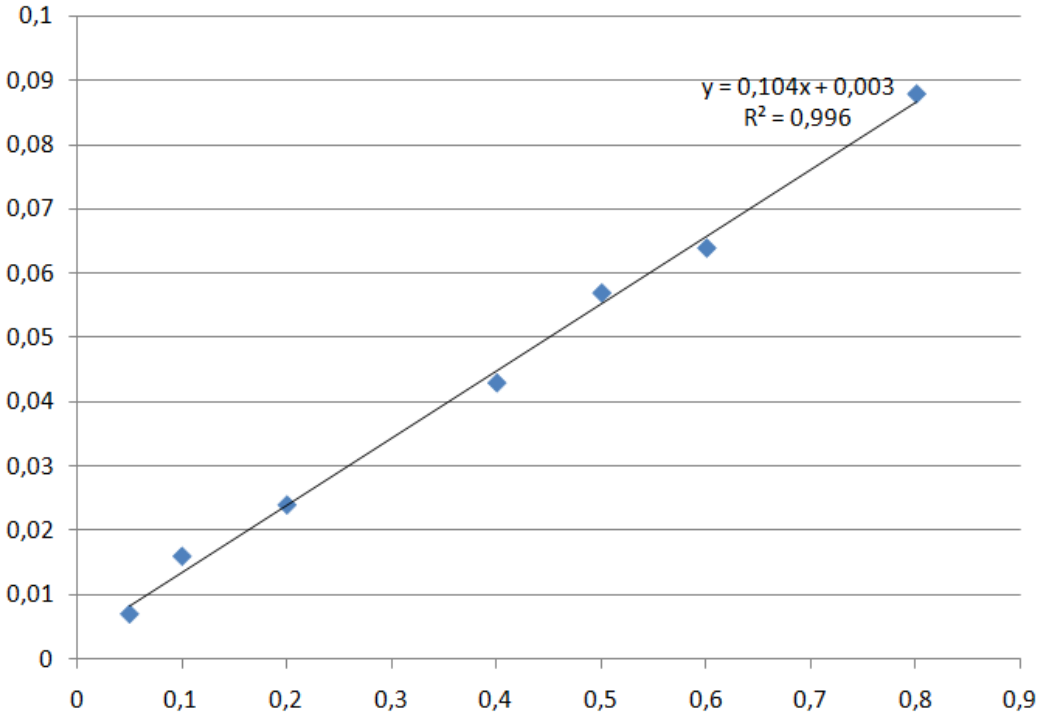

Рисунок 23. Градуировочная характеристика для растворов с содержанием ионов аммония 0,05 - 0,8 мг/см^3. (ориг.)

Расчёт массовой концентрации ионов X (мг/дм^3) производился по формуле:[3]

$$X = \frac{C \times 50}{V}$$

C – массовая концентрация нитрит-ионов, найденная из уравнения градуировочного графика (мг/дм^3);

50 – объём, до которого разбавлена проба, см^3;

V – объём пробы, взятой для анализа, см^3.

Уравнение градуировочной прямой для концентраций 0,6 - 4,0 мг/см^3:

$$y = 0{,}0996x + 0{,}0043$$

$$x = \frac{y - 0{,}0043}{0{,}0996}$$

Уравнение градуировочной прямой для концентраций 0,05 - 0,8 мг/см^3:

$$y = 0{,}104x + 0{,}003$$

$$x = \frac{y - 0{,}003}{0{,}104}$$

Результаты вычислений приведены в таблице 11.

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ МАССОВОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ НИТРИТ-ИОНОВ В ВОДЕ ФОТОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Сущность метода заключается во взаимодействии нитритов в исследуемой пробе воды с сульфаниловой кислотой в присутствии 1-нафтиламина с образованием красно-фиолетового окрашенного соединения с последующим фотометрическим определением и расчётом массовой концентрации нитритов в пробе исследуемой воды.[2]

Установление градуировочной характеристики для определения концентрации ионов аммония

Требуемые реактивы:

- Сульфаниловая кислота по ГОСТ 4197-74
- α-нафтиламин по ГОСТ 830-77
- Кислота уксусная ледяная по ГОСТ 61-75
- Государственные стандартные образцы (ГСО 7479-98) состава водного раствора нитрит ионов
- Вода дистиллированная по ГОСТ 6709-72

Оборудование:

- Пипетка градуировочная 1-1-2-5 по ГОСТ 29227
- Мерная колба 2-50-2 по ГОСТ 1770

- Конические колбы 100 $см^3$ по ГОСТ 25336 7 шт
- Конические колбы 250 $см^3$ по ГОСТ 25336 3 шт
- Цилиндр мерный 25 $см^3$ по ГОСТ 1770-74
- Лабораторный стакан по ГОСТ 25336
- Дозаторы пипеточные переменного объёма с метрологическими характеристиками по ГОСТ 28311
- Фильтр «белая» лента по ГОСТ 12026-76
- Воронки пластиковые по ГОСТ 25336-82
- Весы лабораторные по ГОСТ 53228

Приготовление градуировочных растворов:

Приготовление основного раствора:

Получают при разбавлении ГСО в 10 раз дистиллированной водой для получения раствора нитрит-иона с массовой концентрацией 0,1 $мг/см^3$ (100 $мг/дм^3$).[4]

Приготовление рабочего раствора:

1. Пипеткой отбирают 5 $см^3$ основного раствора нитрит-иона с массовой концентрацией 0,1 $мг/см^3$ (100 $мг/дм^3$) и помещают его в мерную колбу вместимостью 50 $см^3$.
2. Доводят объём раствора в колбе до метки дистиллированной водой, получая рабочий раствор с массовой концентрацией нитрит-ионов 0,001$мг/см^3$(10 $мг/дм^3$).

Раствор не храниться, поэтому готовится в день проведения измерений.[4]

Приготовление градуировочных растворов:

1. Градуиоровочной пипеткой в колбы вместимостью 50 $см^3$ приливают 0,0; 1,0; 2,0; 4,0; 10,0; 15,0; 30;0 $см^3$ рабочего раствора с массовой концентрацией нитрит-ионов 0,001$мг/см^3$ (10 $мг/дм^3$).

2. Доводят объём раствора в колбах до метки дистиллированной водой и перемешивают.

Полученные градуировочные растворы соответствуют массовым концентрациям нитрит ионов 0,00; 0,02; 0,04; 0,08; 0,20; 0,30; 0;60 мг/дм^3 (рисунок 25).

Рисунок 24.Градуировочные растворы для определения оптической плотности нитрит-ионов. (ориг.)

Погрешность, обусловленная процедурой приготовления образцов для градуировки, не превышает 2,5%.

Анализ градуировочных растворов проводят в порядке возрастания их концентрации. Для построения графика градуировочной характеристики каждый раствор необходимо фотометрировать три раза для усреднения данных и исключения случайных результатов.

Измерения проводят при длине волны 520 нм.[4]

Приготовление вспомогательных растворов:

- Раствор сульфаниловой кислоты

В 150 см^3 горячей дистиллированной воды растворяется 1,2 г сульфаниловой кислоты, затем в раствор доливают 50 см^3 ледяной уксусной кислоты.

- Раствор α-нафтиламина

1,2 г α-нафтиламина растворяют в небольшом количестве дистиллированной воды, затем приливают 50 $см^3$ ледяной уксусной кислоты. Далее объём доводится до 200 $см^3$ дистиллированной водой.

- Раствор уксусной кислоты

К 62,5 $см^3$ ледяной уксусной кислоты приливают 437,5 $см^3$ дистиллированной воды.

Анализ градуировочных растворов.

В градуировочные растворы перед анализом добавляют 1 $см^3$ раствора сульфаниловой кислоты, перемешивают, затем через 5 минут приливают 1 $см^3$ раствора α-нафтиламина.

Измерения проводят через 40 минут.

В качестве холостой пробы используют 50$см^3$ дистиллированной водой с добавлением необходимого количества реактивов (раствора сульфаниловой кислоты и раствора α-нафтиламина).

Измерения проводят при длине волны 520 нм.

Градуировочные растворы измеряют в порядке возрастания концентрации.[4]

Определение концентрации ионов аммония в пробе.

1. Перед измерением пробу необходимо отфильтровать при помощи фильтра белая лента.
2. 50 $см^3$ профильтрованной пробы или меньший объём, доведённый до 50 $см^3$ дистиллированной водой, помещают в коническую колбу объёмом 100 $см^3$.
3. Приливают 1 $см^3$ раствора сульфаниловой кислоты, перемешивают.
4. Через 5 минут добавляют 1 $см^3$ раствора α-нафтиламина.

Анализ производят через 40 минут.

В качестве раствора сравнения (холостой пробы) используют 50 $см^3$ дистиллированной воды с добавлением в неё соответствующих реактивов (1 $см^3$ сульфаниловой кислоты и 1 $см^3$ α-нафтиламина) в порядке аналогичном для исследуемых проб.

Измерения проводят при длине волны 520 нм.

Для измерения фона исследуемой пробы используют раствор ледяной уксусной кислоты:

В коническую колбу вместимостью 100 $см^3$ помещают 25 мл исследуемой пробы и прибавляют 1 $см^3$ уксусной кислоты.[4]

Результаты измерений и расчёт массовой концентрации нитрит-ионов

Для вычисления концентрации нитрит-ионов в исследуемых пробах был построен график градуировочной зависимости, отображенный на рисунке 26 на основании данных измерения оптической плотности градуировочных растворов, приведённых в таблице 10.[4]

Таблица 10. Результаты измерения оптической плотности градуировочных растворов в растворах с концентрацией нитрит-ионов 0,02 - 0,60 мг/ $см^3$.

Оптическая плотность, Д	**Концентрация, С мг/дм3**						
	0,02	**0,04**	**0,08**	**0,20**	**0,30**	**0,60**	**ХОЛ.**
Д1	0,008	0,025	0,045	0,134	0,,192	0,386	0,012
Д2	0,012	0,028	0,057	0,137	0,201	0,385	0,001
Д3	0,010	0,027	0,051	0,121	0,188	0,378	0,015
Д4	0,010	0,025	0,051	0,131	0,192	0,383	0,009
Д ср.	0,010	0,026	0,051	0,131	0,194	0,383	0,009

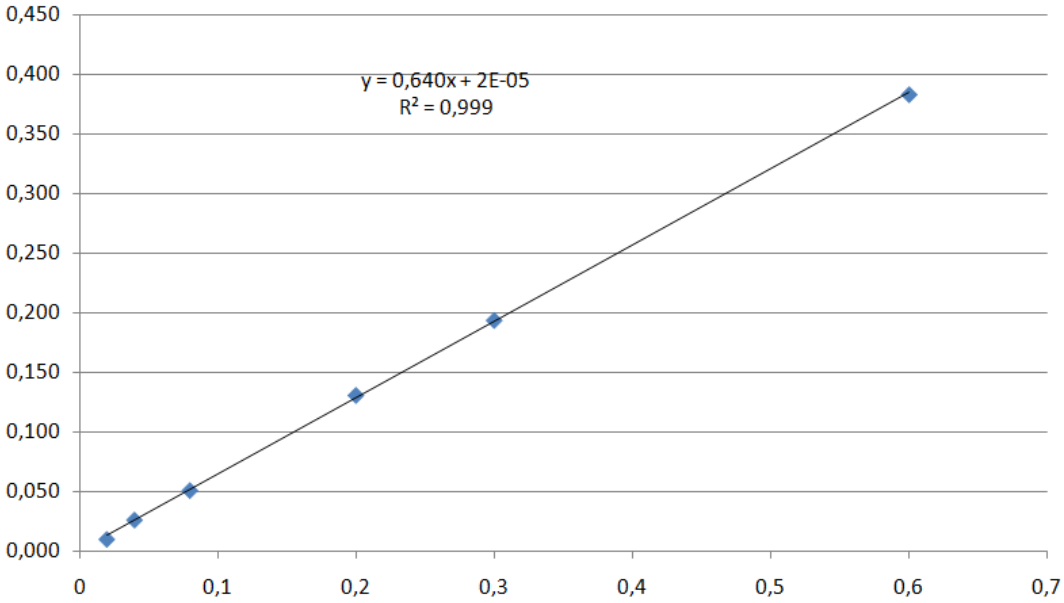

Рис. 25. Градуировочная характеристика для растворов с содержанием нитрит-ионов 0,02-0,60 мг/см^3. (ориг.)

Расчёт массовой концентрации нитрит-ионов X (мг/дм^3) производился по формуле:[4]

$$X = \frac{C \times 50}{V}$$

C – массовая концентрация нитрит-ионов, найденная из уравненя градуировочного графика (мг/дм^3);

50 – объём, до которого разбавлена проба, см^3;

V – объём пробы, взятой для определения, см^3.

Уравнение градуировочной прямой:

$$y = 0{,}6408x + 0{,}00002$$

$$x = \frac{y - 0{,}00002}{0{,}6408}$$

Результаты вычислений приведены в таблице 12.

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ И ЭКСПЕРИМЕНТА

Показателем сбалансированности системы в аквапонной установке является равновесие между биомассой выращиваемых гидробионтов, площадью растительного фильтра (площадь выращивания растений в гидропонных модулях) и объёмом биофильтра (площадью поверхности для образования биоплёнки).

При оптимальной её работе концентрация аммония и нитритов в воде после биологической очистки не должна превышать 1 мг/л, а концентрация нитратов 150 мг/л.

Исходя из данных, приведённых в таблицах 11 и 12 можно сделать вывод, о том, что в промежутке с 26.04.22 по 05.05.22 система находилась в нестабильном состоянии, так как концентрация ионов аммонии и нирит-ионов в воде после прохождения гидропонных модулей увеличивалось. Причиной этому являлась неисправная работа механического фильтра и, как следствие, засорение системы трубопровода, по которой вода от механического фильтра поступала к гидропонным модулям. Накопление механического загрязнения в трубах стало причиной вторичного загрязнения воды аммонийным азотом, что привело к нестабильной работе системы биологической очистки воды.

Таблица 11. Массовая концентрация ионов аммония в пробах воды, взятых в трёх точках.

Дата забора пробы	Режим внесения корма в систему	Массовая концентрация ионов аммония, мг/л		
		1	2	3
26.04.22	стандартный	0,49	0,69	0,32
28.04.22	отсутствие корма в системе 48 часов	0,68	0,55	0,69
04.05.22	отсутствие корма в системе 48	0,20	0,29	0,34

	часов			
04.05.22	через час после кормления	0,45	0,54	0,54
05.05.22	сутки после начала кормления	0,50	0,58	0,66
11.05.22	стандартный	0,47	0,41	0,38
17.05.22	стандартный	2,50	2,48	2,34
21.05.22	отсутствие корма в системе 48 часов	2,43	2,39	2,27
21.05.22	через час после кормления	2,31	2,27	2,18
25.05.22	стандартный	1,10	1,06	0,98
26.05.22	стандартный	3,01	2,95	2,70

Таблица 12. Массовая концентрация нитрит ионов в пробах воды, взятых в трёх точках

Дата забора пробы	Режим внесения корма в систему	Массовая концентрация нитрит-ионов, мг/л		
		1	2	3
26.04.22	стандартный	0,974	1,133	0,362
28.04.22	отсутствие корма в системе 48 часов	0,178	0,206	0,101
04.05.22	отсутствие корма в системе 48 часов	0,026	0,040	0,028
04.05.22	через час после начала кормления	0,031	0,031	0,039
05.05.22	сутки после начала кормления	0,048	0,051	0,04
11.05.22	стандартный	0,134	0,108	0,080
17.05.22	стандартный	0,128	0,112	0,100

21.05.22	отсутствие корма в системе 48 часов	0,070	0,068	0,62
21.05.22	через час после начала кормления	0,132	0,119	0,107
25.05.22	стандартный	0,225	0,188	0,164
26.05.22	стандартный	0,724	0,714	0,613

После очистки труб и приведения системы в стабильное состояние наблюдалось уменьшение концентрации аммония, нитритов и нитратов в воде после прохождения ей гидропонных модулей (таблицы 11,12 и 13). Однако на основании полученных данных, можно сделать вывод, что для осуществления эффективной биофильтрации площадь для выращивания растений и объём биофильтра были недостаточны, так как 17.05 – 25.05 концентрация ионов аммония в системе на всех ее этапах превышала значение 1мг/л.

24.05.22 была нарушена аэрация в системе, что негативно повлияло на процессы нитрификации и привело к повышению концентрации ионов аммония и нитрит-ионов в воде. Повышение концентрации нитратов, закономерно, не произошло.

Таблица 13. Массовая концентрация нитрат ионов и фосфат ионов в пробах воды взятых трёх точках

Показатель	Массовая концентрация ионов, мг/л								
	04.05.22			17.05.22			26.05.22		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Нитраты	148	135	149	101	92,5	90	100	85	82
Фосфаты	16	15	14	17,5	15	14	14	10	9

Недостаточность биологической очистки, объясняется тем, что изначально площадь выращивания растений и объём биофильтра были рассчитаны для начальной биомассы сомов, и стали недостаточными при

увеличении биомассы. В силу технической невозможности увеличения площади посадки растений и объема биофильтра, они оставались неизменными на протяжении всего эксперимента.

При расчётах, необходимых для создания сбалансированной системы аквапоники, наиболее существенными являются значения следующих показателей:

1. Количество корма для рыб, ежедневно вносимого в систему (г.);
2. Тип растений (плодовое/вегетативное);
3. Содержание протеина в корме (%).

Согласно техническому документу ФАО «Мелкомасштабное аквапонное производство продуктов питания. Интегрированное рыбоводство и растениеводство», была рассчитана площадь для выращивания растений и объём биофильтра, достаточные для осуществления эффективной биофильтрации.

Таблица 14. Количество корма необходимого для внесения в систему на 1м^2 площади выращивания растений.

Количество протеина в корме, %	Количество протеина, г	Суточная масса корма, г
43,6	14,4	33

При изначальной биомассе сомов 930 г (таблица 5) и весе каждой особи около 90г ежедневное количество вносимого корма составило 4,5% от массы особи (таблица 4), тогда общий вес ежедневно вносимого корма для всех особей составил 42г корма в день. Для выращивания растений составит 1,2м^2 с плотностью посадки 20-25 растений/м^2.

Количество аммония в воде зависит от нескольких факторов, включая количество белка в корме, его усвояемость, вид рыбы, температуру и удаление рыбных отходов из системы аквапоники.

В среднем в стабильно функционирующей системе 30 % белков, поступающих с пищей, сохраняются в организме рыб. Таким образом, 70 % азота теряется, из них 9% удаляются механическим фильтром. В целом около 61 % азота из корма превращается в аммоний и подвергается нитрификации.

От 42 г, вносимого в систему корма, 18,3 г составляет белок. В среднем в белке содержится 16% азота, что составляет 2,928 г. Из 1 г азота образуется 1,2 г аммония, так из общей массы, вносимого в систему корма, образуется 3,5 г аммония.

0,57 г аммония преобразуется на квадратный метр площади поверхности в сутки. При внесении 42 г корма рабочая площадь бактерий должна составлять 6,1м^2.

Удельная площадь поверхности - это отношение площади поверхности к объему, выраженное в квадратных метрах на кубический метр (м^2/м^3).

Удельная площадь поверхности пластиковой загрузки биофильтра в учебной лабораторной установке составляет 600 м^2/м^3. Таким образом, объём загрузки, необходимый для переработки 3,5 г аммония составит 0,010 м^3.

Таким образом, изначально, при биомассе сомов 930г, площадь посадки растений составляла 1,2м и вмещала в себя 28 растений, а объём загрузки биологического фильтра составил 10л.

На протяжении всего эксперимента концентрация азотистых соединений в рассматриваемой системе не превышала ПДК для выбранного объекта аквакультуры (концентрации ионов аммония 6,5 мг/л, нитрит-ионов 2 мг/л). Также, после стабилизации работы установки, начиная с 11.05.22 система биофильтрации обеспечивала оптимальную, для клариевого сома концентрацию нитратов (не более 100 мг/л), чему способствовала достаточная концентрация фосфатов (таблица 13).

Таким образом можно сказать, что в учебной лабораторной аквапонной установке поддерживались оптимальные условия для роста и развития

африканского клариевого сома, однако для выращивании менее толерантных к концентрации аммония и нитритов объектов аквакультуры необходимо оптимизировать работу системы биофильтрации.

Для дальнейшего выращивании африканского клариевого сома в рассматриваемой учебной аквапонной установке и эффективной работы системы биологической очистки были рассчитаны необходимая площадь посадки растений и объем загрузки биофильтра.

При итоговой биомассе сома 5 кг (таблица 5) и весе каждой особи около 500г ежедневное количество вносимого корма составит 2,3% от массы особи (таблица 4), тогда общее количество ежедневно вносимого корма для всех особей составит 115г корма в день. Для выращивания растений составит 3,5м^2 с плотностью посадки 20-25 растений/м^2.

Из 115 г вносимого в систему корма 50,1 г приходится на белок, из которого 8,016 г составляет азот. Из 8,016 г азота образуется 9,6 г аммония.

0,57 г аммония преобразуется на квадратный метр площади поверхности в сутки. При внесении 115 г корма рабочая площадь бактерий должна составлять 17 м^2.

Удельная площадь поверхности пластиковой загрузки биофильтра в учебной установке составляет 600 м^2/м^3. Таким образом, объём загрузки, необходимый для переработки 9,6 г аммония составит 0,0283 м^3 (28 л).

Рассматриваемая установка не может эффективно функционировать при осуществлении биологической очистки исключительно за счёт гидропонных модулей, поскольку из-за значительного присутствия в воде фосфора предпочтение в питании растения отдают нитратам, и вода после прохождения модулей требует доочистки от аммония и нитритов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках данной работы в период с 10.03.22 по 17.06.22 проводился эксперимент по совместному выращиванию африканского клариевого сома (*Clarias gariepinus*) и салат латук (*Lactuca sativa*) в учебной аквапонной установке для оценки эффективности процессов биологической очистки. По итогам проведенной работы можно сделать следующие выводы:

- Биологическая очистка в аквапонике осуществляется двумя способами: в гидропонном модуле в результате всасывания корнями растений метаболических отходов жизнедеятельности рыб и в биофильтре, в ходе процессов нитрификации, осуществляемых бактериями родов *Nitrosomonas* и *Nitrobacter*.
- Эффективное функционирование аквапоники определяет соблюдение баланса, выражающиеся в равновесии между количеством рыбы, площадью для выращивания растений и объемом биофильтра (количеством бактерий), а также в создании в установке условий компромисса между требованиями к качеству и параметрам воды предъявляемыми живыми компонентами системы.
- Гидрохимические условия аквапонной установки не позволяют растениям эффективно удалять из воды аммоний и нитриты, поскольку для обеспечения аммонийного питания в воде должно содержаться достаточное количество ионов калия, кальция и магния, дефицит которых характерен для аквапонных установок. Высокое содержание в воде фосфатов способствует нитратному питанию, а аммонийное и нитритное подавляются.
- Толерантность клариевого сома к содержанию в воде токсичных соединений азота и низкие требования салата к содержанию в воде питательных веществ, обеспечили их значительный рост в учебной

аквапонной установке. В условиях недостаточной биофильтрации на виды рыб, менее устойчивые к высоким концентрациям нитритов и нитратов оказывалось бы значительное токсическое действие, замедляющее их рост и угнетающее жизненно важные процессы. На рост салата латук, как листового растения не повлиял дефицит калия в системе, а высокие концентрации нитритов обеспечили значительный вегетативный рост.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения: приказ М-ва сельского хозяйства Рос. Федерации от 13 декабря 2016 года № 552//Электронный фонд. – 2020.
2. ГОСТ 33045-2014. Методы определения азотсодержащих веществ: Межгосударственный стандарт: дата введения 2016-01-01/ Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации // АК "Количественное описание неопределенности в аналитических измерениях". ВНИИМ им. Д.И. Менделеева – Санкт-Петербург, 2002 г. – 2-е издание – 23 с.
3. ПНДФ 14.1:2:3.1 – 95. Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации ионов аммония в природных водах фотометрическим методом с реактивом Несслера: дата введения 2015-05-12 // Центр метрологии и сертификации «СЕРТИМЕНТ» Уральского отделения РАН – Москва. 2017 г. – 26 с.
4. ПНДФ 14.1:2:4.1 – 95. Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации нитрит-ионов в питьевых, поверхностных и сточных водах фотометрическим методом с реактивом Грисса: дата введения 2011-03-15 // Федеральный центр анализа и оценки техногенного воздействия (ФБУ «ФЦАО») – Москва. 2011 г. – 22 с.
5. Власов В. А., Маслова Н.И. Влияние света на рост и развитие рыб // Вестник АГТУ. – Москва, 2013. – С. 24 – 34.
6. Власов, В.А. Рост и развитие африканского клариевого сома (*Clarias gariepinus* Burchell) в зависимости от условий кормления и содержания // Известия ТСХА. – Москва, 2009. – № 3 – С.148 – 156.

7. Гарчева Е.В. Инновационные технологии производства новых овощных культур в Ростовской области // Министерство сельского хозяйства и продовольствия Ростовской области, Научно-практические рекомендации. – Ростов-на-Дону, 2012. – № 3 – 144 с.
8. Дергачев Д.А. Африканский клариевый сом // Государственное бюджетное учреждение Краснодарского края «Кубанский сельскохозяйственный информационно-консультационный центр» – Краснодар, 2015. – 12 с.
9. Ермолаев В.А. Влияние калия на жизнедеятельность растений // ФГБОУ ВО «Курганский государственный университет» – Курган, 2021. – С. 5 – 10.
10. Климентова Е.Г. Физиология растений // УлГУ – Ульяновск, 2014 – 170 с.
11. Ковригин А.В, Походня Г.С [и др.]. Разработка проекта индустриальной технологии производства продуктов аквакультуры: отчет о НИР // БГФУ им. В.Я. Горина. − Белгород, 2016. – 80 с.
12. Курбанов А.Р., Камилов Б.Г. Разведение африканского сома (*Clarias gariepinus*): учебное пособие. – Ташкент, 2017. – 52 с.
13. Левина О.А., Пономарев М.А., Корчунова Ю.В. [и др.] Опыт использования комбикормов с различной нормой содержания протеина при выращивании молоди африканского клариевого сома (*Clarias gariepinus*) в условиях установки замкнутого водоснабжения // Вестник АГТУ. Рыбное хозяйство – Москва, 2015. – № 3 – С. 93 – 101.
14. Муравин Э.А., Смирнов П.М. Агрохимия // «Колос» – Москва, 1984. – 304 с.
15. Осипова Г.С., Кондратьев В.М. Биологические особенности и элементы технлогии выращивания салата посевного (*Lactuca sativa*) // Министерство сельского хозяйства РФ, СПбГАУ. – Пушкин, 2018 – С. 10-34.

16. Проскуренко И.В. Фермерское рыбоводное хозяйство // Институт Гипторыбфлот – Санкт-Петербург, 2000. – 226 с.
17. Соколов О.А., Черников В.А., Шмырева Н.Я. Эколого-физиологическая оценка минерального питания растений // «Известия ТСХА». – Москва, 2016. – № 3 – С. 5 – 17.
18. Спотт, С. Содержание рыбы в замкнутых системах // «Книга по Требованию». – Москва, 2021. – 192 с.
19. Сухаренко Е.В., Максимов В.И. Физиология рыб // ООО НПО «Сельскохозяйственные технологии» – Москва, 2021. – 156 с.
20. Тексье Уильям. Гидропоника для всех // HydroScope – Париж, 2013. – 265 с.
21. Шаляпина Т.С. Создание фермерского хозяйства по промышленному выращиванию клариевого (иорданского) сома в условиях установок замкнутого водоснабжения (УЗВ) // Харьковская электротехническая компания. – Харьков, 2012. – 15 с.
22. Яценко В.Н., Семёнов А.Л., Степанова Т.В. Сравнение эффективности гидропонной и аквапонной технологий на установках замкнутого водоснабжения // Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» – Москва, 2020. – № 12 – С. 1165 – 1178.
23. Masaru Sakamoto, Takahiro Suzuki. Effect of Root-Zone Temperature on Growth and Quality of Hydroponically Grown Red Leaf Lettuce (Lactuca sativa L. cv. Red Wave) // American Journal of Plant Sciences. – 2015. – № 14 – P. 1 – 33.
24. Raymond P. Henry, Cedomil Lucu, Horst Onken and Dirk Weihrauch. Multiple functions of the crustacean gill: osmotic/ionic regulation, acid-base balance, ammonia excretion, and bioaccumulation of toxic metals. // Frontiers in Physiology. – 2012. – p. 34.

25. Somerville Christopher, Cohen Moti. Small-scale aquaponic food production. Integrated fish and plant farming//FAO. – 2014. – 288 p.
26. Wilkie M. Ammonia Excretion and Urea Handling by Fish Gills: Present Understanding and Future Research Challenges // Journal, of experimental zoology. – Toronto, 2002. – P.284 – 301.
27. Zsoldos Ferenc, Haunold Ernst, Vashegvi Agnes, Herger Peter. Nitrite in the root zone and its effects on ion uptake and growth of wheat seedling // Physiologia planetarium − 1993. – P.7 – 18.
28. Агротехника салата. Овощеводство в России. - [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://rusagroweb.ru/kultury/listovye/agrotekhnika-salata.html (Дата обращения: 27.02.22).
29. Аквапоника. Аквавитро. - [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://aquavitro.org/2012/03/27/akvaponika/ (Дата обращения: 04.05.22).
30. Аквариумные керамические кольца. Биологический фльтр. - [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://stellashop.ru/product/4000411311815 Дата обращения 17.04.2022).
31. Бактерии биофильра. Аквавитро. - [Электронный ресурс]: - Режим доступа: http://aquavitro.org/2015/02/18/bakterii-biofiltra/ (Дата обращения 17.04.2022).
32. Биошар. Загрузка для биофильтров. - [Электронный ресурс]: - Режим доступа: http://chinakitay.ru/i/33006909885.html (Дата обращения 24.04.2022).
33. Информационная программа по культивируемым водным видам. *Clarias gariepinus* (Берчелл, 1822 г.). ФАО. - [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://www.fao.org/fishery/en/culturedspecies/clarias_gariepinus/en (Дата обращения: 26.02.22).
34. Корма для рыб. Велес. - [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://velesltd.com/korma-dlya-foreli-dibaq (Дата обращения: 13.03.22).

35. Листовой салат в гидропонике по методу Кратки. Технологии выращивания агрокультур. - [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://alexandertokarev.ru/all/listovoy-salat-v-gidroponike-po-metodu-kratki-chast-2/?utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2F (Дата обращения: 15.02.22).
36. Промгидропоника. Разновидности гидропоники. - [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://www.promgidroponica.ru/raznovidnostigidroponiki (Дата обращения 19.05.2022).
37. Размножение и производство африканского сома *Clarias gariepinus*. Аквафид. - [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://aquafeed.ru/node/44 (Дата обращения 26.02.2022).
38. Фильтры биологической очистки воды. Water-proved. - [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://www.water-proved.de/ru (Дата обращения 7.04.2022).

ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКИЙ СЛОВАРЬ

Аммонотелитический — более 50% выделяемых соединений азота составляет аммоний.

Авапоника — метод совместного выращивания гидробионтов и наземных или водных растений.

Баланс — состояние динамического равновесия в интегрированной сельскохозяйственной системе, такой как аквапоника, при которой различные биологические и химические процессы остаются стабильными с течением времени.

Биологический фильтр (биофильтр) — элемент очистных сооружений системы аквакультуры, в котором органические загрязнители окисляются в результате микробиологической деятельности.

Водородный показатель — мера определения кислотности водных растворов, характеризующая, концентрацию ионов водорода в воде.

Восстановление — тип химической реакции, всегда связанной с окислением, при которой рассматриваемая молекула получает электрон, часто теряя молекулу, атом или ион кислорода.

Гидропоника — форма беспочвенного земледелия, при которой растения получают питательные вещества из раствора, содержащего все основные макроэлементы и микроэлементы, необходимые для роста.

Градуировочная характеристика — зависимость величины, оптической плотности полученной при измерении от концентрации, выраженная в виде формулы (градуировочная функция) или графика (градуировочный график).

Дезаминирование — процесс, в результате которого от этих соединений отщепляется аминогруппа.

Денитрификация — биохимическое восстановление нитратов через промежуточный нитрит до молекулярного (газообразного) азота и двуокиси углерода за счёт микробиологической активности.

Диссимиляция — это анаэробный процесс, при котором происходит восстановление азота в продуктах нитрификации до более низкой степени окисления.

Дистиллированная вода — вода, очищенная от растворённых в ней минеральных солей, органических веществ и других примесей путём дистилляции.

Интегрированные системы – это системы, в которых за счёт отходов выращивания первичной продукции выращивается вторичная продукция.

Минерализация − процесс преобразования мёртвого органического материала до неорганических соединений.

Нитрификация — аэробное бактериальное преобразование (окисление) аммония в нитраты с помощью бактерий родов *Nitrosomonas* и *Nitrobacter.*

Окисление — тип химической реакции, всегда связанный с восстановлением, при котором рассматриваемая молекула теряет электрон, часто связываясь с кислородом.

Пестициды — ядовитые вещества, используемые для уничтожения вредителей и возбудителей болезней растений, а также различных паразитов, сорняков, вредителей.

Плотность посадки — число рыб на единицу площади или масса рыбы на единицу объема воды при зарыблении.

Ризодерма — покровная ткань, корней растений.

Спектрофотометрия — метод фотометрического анализа, в котором определение содержания вещества производится по поглощению им света.