



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: Создание и использование лабораторной аквапонной установки замкнутого водоснабжения для выращивания африканского клариевого сома *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822)

Исполнитель Забелина Анастасия Викторовна

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

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(Подпись)

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

«20» июня 2020г.

Санкт-Петербург
2020



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: Создание и использование лабораторной аквапонной установки замкнутого водоснабжения для выращивания африканского клариевого сома *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822)

Исполнитель Забелина Анастасия Викторовна

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

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(Подпись)

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

«__» _____ 20__ г.

Санкт-Петербург
2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	2
Глава 1	5
АКВАПОНИКА.....	5
ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ АКВАПОНИКИ.....	6
ОПЫТ РОССИИ И ДРУГИХ СТРАН.....	9
Глава 2	14
АЗОТНЫЙ ЦИКЛ В ПРИРОДЕ. АДАПТАЦИЯ АЗОТНОГО ЦИКЛА К АКВАПОННОЙ УСТАНОВКЕ.....	14
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЗОТА РАСТЕНИЯМИ.....	17
РОЛЬ УСЛОВИЙ АЗОТНОГО ПИТАНИЯ.....	20
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФОСФОРА РАСТЕНИЯМИ.....	20
РОЛЬ ФОСФОРА В ОРГАНИЗМЕ РЫБ.....	23
10 ОСНОВНЫХ ПРИНЦИПОВ АКВАПОННОЙ СИСТЕМЫ.....	23
МЕТОДЫ ВЕДЕНИЯ ГИДРОПОНИКИ В АКВАПОННОЙ УСТАНОВКЕ....	27
Глава 3	30
ОПИСАНИЕ ОБЪЕКТА АКВАКУЛЬТУРЫ: АФРИКАНСКИЙ КЛАРИЕВЫЙ СОМ.....	30
ВЫБОР ОБЪЕКТА ГИДРОПОНИКИ.....	34
Глава 4	41
ПРОЕКТ ЛАБОРАТОРНОЙ АКВАПОННОЙ УСТАНОВКИ.....	41
МАКСИМАЛЬНЫЕ ПЛОТНОСТИ ПОСАДКИ.....	44
ОПТИМАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ.....	48
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	56
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	59

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире экологическая ситуация обострена. Человечество оставляет свой губительный след на Земле, относится к природе потребительски, недостаточно восполняет принесенный ущерб. Но в настоящее время потребитель все чаще отдает предпочтение продукции с пометкой «Эко», поэтому компании делают акцент на экологичности своей продукции и производстве. В ход идут инновации в различных сферах промышленности, новые методы очистки отходов производств, переработка синтетических материалов, пластика.

Сельское хозяйство имеет неблагоприятное воздействие на окружающую среду. Земледелие влияет на природу больше животноводства. Оно требует больших площадей, для повышения урожайности культур вносят большое количество минеральных удобрений, которые изменяют химический состав почв и приводят к разрушению почвенных экосистем, потере плодородия, уплотнению почв, водной и ветровой эрозии. Смываясь с полей, они попадают в грунтовые и поверхностные воды и загрязняют водоемы. Это неполный список того, как земледелие ухудшает условия окружающей среды.[15]

Аквакультура тоже имеет свои последствия, но сейчас производство движется в сторону систем с наименьшим воздействием на окружающую среду. Садковое и прудовое хозяйство уступает выращиванию гидробионтов в установках УЗВ.

Аквапоника – высокотехнологичный способ ведения сельского хозяйства, сочетающий аквакультуру и гидропонику.[2]. Благодаря взаимодействию растений, бактерий и гидробионтов создается замкнутая искусственная

экосистема, дающая эффективный результат в производстве как рыбной, так и растительной продукции.

Актуальность выбранной темы работы обусловлена одной из насущных проблем современности – обеспечением увеличивающегося населения планеты безопасными продуктами питания, без нанесения ущерба окружающей среде.

Цель работы: Разработка проекта показательной лабораторной аквапонной установки на основе установки УЗВ для выращивания африканского клариевого сома *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) и ее использование в образовательных целях.

Для достижения цели дипломной работы были поставлены следующие задачи:

- Рассмотреть историю возникновения и способы применения аквапоники
- Проанализировать опыт России и других стран в аквапонике
- Изучить важнейшие процессы в системе аквапоники
- Изучить особенности и методы аквапоники
- Обосновать выбор в качестве объекта аквакультуры африканского клариевого сома
- Определить возможные варианты растительных культур для выращивания в системе аквапоники
- Провести расчеты количества азота, поступающего в гидропонный узел
- Разработать проект лабораторной аквапонной установки замкнутого водоснабжения
- Выявить положительные и отрицательные стороны аквапонного метода ведения хозяйства
- Определить перспективы аквапоники в России

Объектом исследования является аквапонная лабораторная установка, созданная в образовательных целях.

Предмет исследования: технология выращивания африканского клариевого сома в условиях лабораторной аквапонной установки замкнутого водоснабжения.

Структура дипломной работы: выпускная квалификационная работа представлена на 62 страницах и состоит из введения, 4 глав, выводов по написанной работе, а также списка использованной литературы в количестве 22 источников.

Глава 1

АКВАПОНИКА

Аквапоника – высокотехнологичный способ ведения сельского хозяйства, сочетающий аквакультуру и гидропонику. Аквапоника представляет собой искусственную микросистему, основными компонентами которой являются гидробионты, растения и бактерии. Суть метода в использовании отходов жизнедеятельности водных организмов как питательного субстрата для роста растений. Гидробионты выделяют токсичные для них самих вещества: аммониевые, калийные, фосфорные соединения и углекислый газ. Накопление этих веществ в воде является основной проблемой систем УЗВ. Те же самые вещества являются необходимыми компонентами в питательных растворах в гидропонике. Таким образом в аквапонике эта проблема решается сама собой: продукты жизнедеятельности гидробионтов преобразуются бактериями и утилизируются растениями. Такая технология экологически безопасна, так как работает по принципу экосистемы, где все звенья взаимосвязаны. Объекты аквакультуры, обычно это рыбы, ракообразные или моллюски, обеспечивают растения питательными веществами, а растения в свою очередь работают как биофильтр, используя токсичные для рыб вещества для собственного роста и развития. Бактерии в этой системе являются вспомогательными организмами, которые с помощью химических реакций собственного метаболизма переводят аммиак в нитриты и нитраты, более безопасные для рыб. Получается некий симбиоз рыб, растений и бактерий, симуляция реальной экосистемы. Такой подход позволяет сильно сократить, а в ряде случаев свести к нулю сброс сточных вод.

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ АКВАПОНИКИ

Аквапоника совсем не новое направление сельского хозяйства, но термин появился относительно недавно. Преимущества совместного выращивания не были секретом для Древнего мира [2].

К примеру, в Вавилоне аквапоника использовалась больше в целях городского озеленения, а не как сельское хозяйство: в каналах, где плавали рыбы, накапливались отходы их жизнедеятельности, которые растения, в свою очередь использовали как питательный субстрат и украшали город своей зеленью (Рисунок 1).



Рисунок 1. Висячие сады Вавилона. Пример использования аквапоники в целях городского озеленения. [8]

В Юго-Восточной Азии уже более двух тысяч лет практикуют совместное выращивание рыб и риса на заливных рисовых полях [8]. В вегетативный период эти поле залиты водой на 10-30 см глубины. В таких условиях теплолюбивые виды рыб такие как карп и сазан чувствуют себя очень комфортно. Карпы повышают урожайность рисового поля, т.к. выступают не только в роли источника удобрений, но и взрыхляют почву в поисках пищи, поедают личинки рисового комара и семена растений-сорняков. Самый главный бонус комбинированного выращивания, что по итогу с одной и той же территории собирается два различных урожая – риса и рыбы (Рисунок 2).



Рисунок 2. Совместное выращивание риса и карпа в Китае.[8]

Совместное выращивание риса и рыбы получило распространение не только в странах Азии, таких как Китай, Япония, Вьетнам, Индия и Индонезия,

но и в странах Южной Америки. В XX веке комбинированное использование земельных территорий начало набирать популярность в Европе.

«Современную аквапонику справедливо считают разновидностью гидропоники, история которой начинается с опытов голландца Иоганна Ван Гельмонта в первом десятилетии семнадцатого века, который доказал, что растения можно выращивать и без грунта, правильно готовя воду. Многочисленные наблюдения показали, что вода, используемая для выращивания растений методом гидропоники, самоочищается, то есть вещества, растворенные в ней, усваиваются корневой системой.» [2, с. 5].

После этого заявления первыми, кто начал извлекать пользу из этого явления, стали аквариумисты. Первый фитофильтр был представлен Николаем Федоровичем Золотницким в его труде «Аквариум любителя» 1885 года. Он отметил, что аквариумные растения, чьи корни опущены в воду, развиваются с тем же успехом, что и их собратья, растущие на грунте, а рыбы, живущие в таких условиях, имеют хорошее самочувствие и реже болеют.[2]

Новый толчок к развитию аквапоника получила именно сейчас, в эпоху экологического прогресса. Всё больше возрастающий интерес общества к экологически чистым производствам помогает ей набирать популярность. Изначально овощные, ягодные и салатные культуры были побочным продуктом аквапоники, а основным объектом являлась рыба. Но в настоящее время, когда на первый план выходит экологичность и «чистота» происхождения, рыбы и растения имеют одинаковый вес в аквапонике. Иногда приоритеты сдвигаются, это зависит от нацеленности самого хозяйства.

Большой вклад в развитие современной аквапоники сделал группа ученых из Университета Виргинских Островов.[2]. Как результат их многолетних исследований в области искусственных замкнутых систем и способов их

использования ими был предложен термин «аквапоника». Именно они соединили два прогрессивных метода ведения сельского хозяйства аквакультуру и гидропонику в целях оптимизации производства. Гидропоника более древний вид сельского хозяйства, нежели аквакультура, появившаяся относительно недавно. Каждый из этих компонентов эффективен по-своему, но в сочетании, образуя аквапонику, результативность существенно повышается.

Именно благодаря развитию аквакультуры и гидропоники в XX веке, детальному изучению естественных экосистем, осмыслению комплексного подхода к ведению сельского хозяйства и, отчасти, экологической направленности современного общества, интерес к аквапонике и ее развитие в настоящее время только усиливается.

ОПЫТ РОССИИ И ДРУГИХ СТРАН

Лидером в сфере аквапоники следует назвать Нидерланды [2]. В условиях повышенного экоконтроля голландцы достигли больших успехов в уменьшении концентрации нитратов в выбросах в окружающую среду. В рамках проекта EcoFutura аквабиологом Пимом Вильгельмом была разработана технология выращивания помидоров в зимнее время, в условиях аквапонной установки, когда питательный субстрат должен содержать большое количество нитросоединений (Рисунок 3). Особенностью этой технологии является то, что вода проходит несколько контрольных точек, где производится ее подготовка к следующему этапу. После выхода из бассейнов с рыбой, вода стерилизуется УФ-светом и проверяется уровень pH. Затем вода минерализуется, чтобы соответствовать потребностям выращиваемой культуры. В качестве субстрата для растений используется минеральная вата Grodan. В вате задерживается некоторая часть органических веществ, дренажные воды попадают на

обработку. Там она снова проходит проверку на минерализацию и уровень pH, показатели корректируются, и вода попадает в бассейны с рыбой. Такой вид аквапоники требует очень качественного технического оснащения, различных контрольно-измерительных приборов, фильтров с обратным осмосом, но при этом обладает высокой продуктивностью и исключительным качеством продукции.



Рисунок 3. Ведение сельского хозяйства методом аквапоники в Нидерландах. [2]

Во многих городах США, Канады и Европы аквапоника распространена как вид городского сельского хозяйства. Предприниматели и фермеры строят теплицы в центре города, занимают складские помещения или крыши домов. Такие предприятия имеют множество плюсов, таких как:

- Близость к потребителю
- Максимальная выгода с минимальной площади

- Минимальное загрязнение окружающей среды
- Экологическая продукция, чистая от гербицидов и пестицидов

Такие городские фермы поставляют свою продукцию на рынки, в магазины, в рестораны и прямо на руки потребителю. Урожай собирают круглый год.

В России пока внедрение аквапоники в сельское хозяйство ограничивается только небольшими экспериментальными установками в рамках местных исследований, как, например, в Федеральном Государственном Бюджетном Учреждении Науки «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР ЮЖНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК» (ЮНЦ РАН), где с 2016 года функционирует аквапонная установка. Объектом аквакультуры в ней являются три вида рыб: щука, судак и пиленгас (Рисунок 4) [10, 5]. Объектами гидропоники выбрали пряные травы, такие как петрушка, базилик, укроп, кориандр, и сладкий перец. Главной сложностью было то, что пиленгаса, щуку и судака традиционно выращивают в прудах и лиманах. Опыт выращивания их в условиях аквапоники был большим шагом за рамки.



Рисунок 4. Выращивание щуки, судака и пиленгаса в аквапонном комплексе на научно-экспедиционной базе «Кагальник» Южного научного центра Российской академии наук. [10]

В Республике Казахстан в Жамбылской области относительно недавно начало работу хозяйство тепличного аквапонного типа (Рисунок 5). Теплица занимает территорию в полгектара, но при соблюдении оптимальных условий может иметь урожайность в размере 300 т салатных культур и 40 т тилипии [19].



Рисунок 5. Теплица в Жамбылской области в Казахстане, специализирующаяся на выращивании салата и тилляпии.[19]

Глава 2

АЗОТНЫЙ ЦИКЛ В ПРИРОДЕ. АДАПТАЦИЯ АЗОТНОГО ЦИКЛА К АКВАПОННОЙ УСТАНОВКЕ.

Наиболее важный биологический процесс в аквапонике - процесс нитрификации. В системе он проходит те же стадии, что и в глобальном круговороте азота в природе. Азот (N) является химическим элементом и необходимым строительным блоком для всех форм жизни. Он присутствует во всех аминокислотах, необходимых для синтеза белков. Белки - обязательный компонент для многих ключевых биологических процессов жизнедеятельности животных и растений. Примеры таких процессов: ферментативная регуляция, клеточная сигнализация и синтезирование различных структур. Азот – главный источник питания для всех растений. Азот в газообразной форме самый распространенный элемент в атмосфере Земли, его концентрация составляет около 78 % (в сравнение с кислородом - 21 %) [14].

Тем не менее, несмотря на то, что азот в изобилии, он присутствует в атмосфере только как молекулярный азот (N_2), который является очень стабильной структурой с тройной связью между атомами азота, такая форма недоступна растениям. Следовательно, азот в форме N_2 должен быть преобразован, прежде чем растения используют его для собственного роста и развития. Этот процесс называется азотфиксацией (Рисунок 6). Фиксация азота облегчается бактериями (Рисунок 7). Азотфиксирующие бактерии химически меняют N_2 , добавляя другие элементы (водород или кислород). В результате образуются новые химические соединения, такие как аммиак (NH_3) и нитраты (NO_3^-), которые растения могут легко использовать.[14]



Рисунок 6. Схема азотного цикла в природе (ориг.)

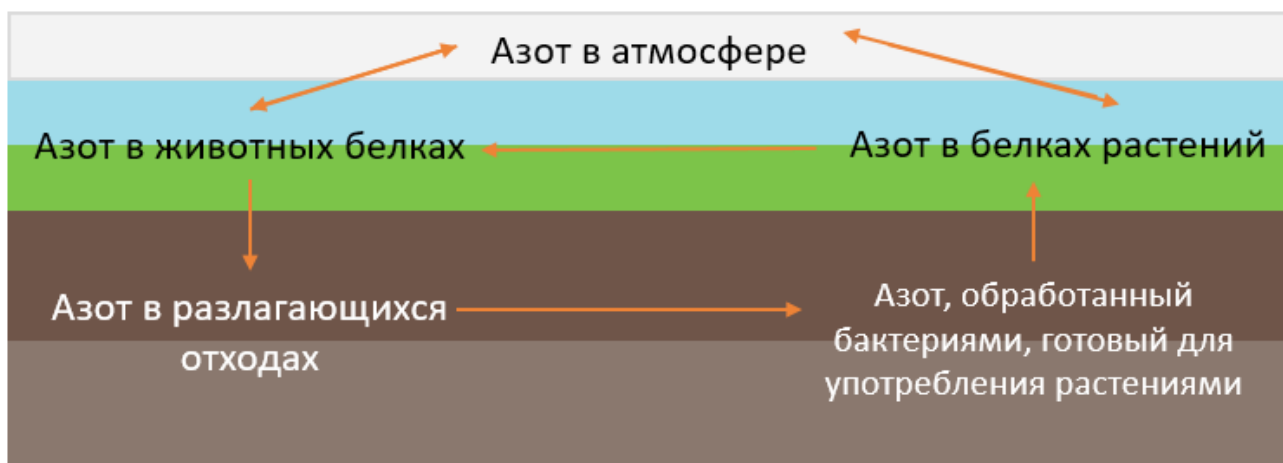


Рисунок 7. Схема азотного цикла с участием бактерий почвы (ориг.)

Рыбы, в процессе жизнедеятельности, употребляют в пищу корм, богатый белком и производят отходы, которые в значительной степени состоят из аммиака (NH_3). Другие разлагающиеся органические вещества, такие как остатки корма, расщепляются различными группами бактерий на аммиак. Этот аммиак метаболизируется определенной группой бактерий, что очень важно для аквакультуры, называемой нитрифицирующими бактериями. Эти бактерии

сначала превращают аммиак в нитритные соединения (NO_2^-) и, наконец, в нитратные соединения (NO_3^-). (Рисунок 8).

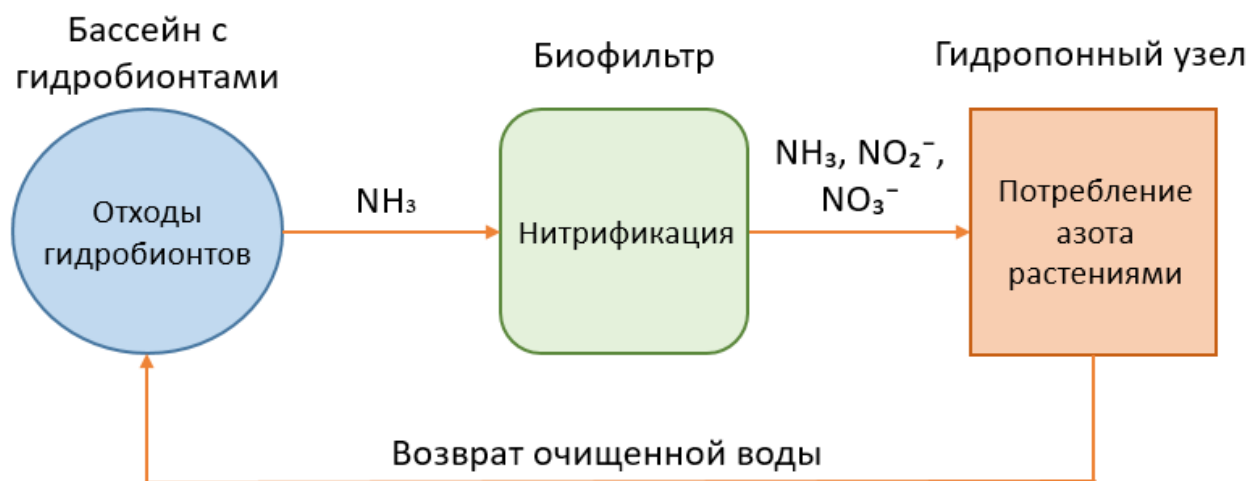
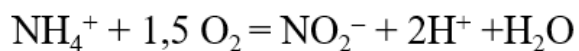


Рисунок 8. Схема азотного цикла в аквапонной установке (ориг.)

Нитрифицирующие бактерии живут в разнообразных средах: в почве, в песке, воде и воздухе. Они – главные участники процесса нитрификации, который превращает животные отходы в доступные питательные вещества для растений. Нитрификация – естественный процесс, происходящий и в почве, и в воде одинаково. Нитрифицирующие бактерии, которые живут на суше также комфортно чувствуют себя в воде или на любой влажной поверхности. Они перерабатывают аммиак из отходов рыб в легко усваиваемые нитриты и нитраты для потребления растениями. Нитрификация в аквапонной системе обеспечивает питательные вещества для растений и устраняет аммиак и нитрит, которые являются токсичными для рыб.

Процесс нитрификации происходит в 2 стадии [4]:

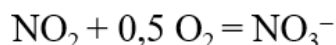
1. Окисление иона аммония до нитрита



Промежуточные стадии: гидроксилламин (NH₂OH) и гипонитрит (NOH).

Здесь принимают участие бактерии родов *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus*, *Nitrosolobus*, *Nitrospirospira* и *Nitrovibrio*.

2. Окисление нитрита до нитрата

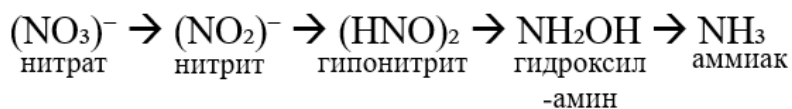


В процессе участвуют бактерии родов *Nitrobacter*, *Nitrospira*, *Nitrococcus*.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЗОТА РАСТЕНИЯМИ

Азот – строительный материал для жизненно необходимых структур, таких как аминокислоты, амиды и белки. Количество и качество урожая находится в прямой зависимости от концентрации азота. [4]

Растения могут использовать аммиак, нитриты и нитраты. Аммиак, поглощенный корнями растения, может сразу включаться в процесс синтеза органических азотистых соединений. Нитриты и нитраты для участия в этом процессе должны пройти ряд преобразований, в результате которых получается аммиак. И теперь азот из нитритов и нитратов тоже может включаться в этот процесс.[4]

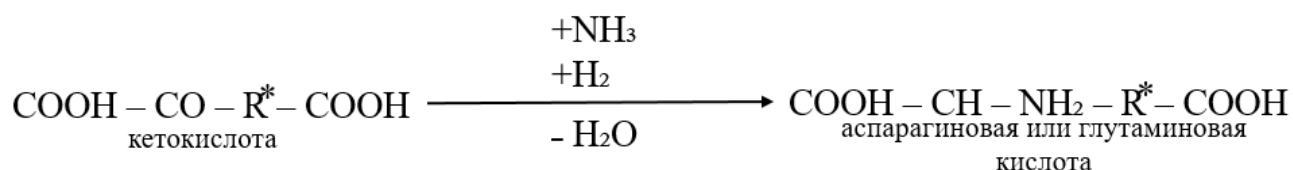


Нитриты и нитраты не токсичны для растений и могут накапливаться в их клетках, ожидая дальнейшего участия в синтезе аминокислот, не принося вреда самому растению. То есть по мере расходования аммиака, в синтез включаются нитриты, а затем нитраты. Но превышение количества нитритов и нитратов

могут негативно влиять на организм человека и животного, которые употребляют растения в пищу.[4]

Весь процесс синтеза аммиака из нитритов и нитратов внутри клеток растений проходит с участием ферментов и требует затрат энергии. Сами ферменты в своей структуре имеют микроэлементы, такие как молибден, марганец, медь и железо. Энергия выделяется из накопленных в процессе фотосинтеза веществ. [4]

Процесс синтеза аминокислот заключается в аминировании органических кетокислот. Азот из аммиака и азот, образующийся при восстановлении нитратов, присоединяется к кетокислоте (щавелево-уксусной, кето-глутаровой или фумаровой). В результате реакций образуются аспарагиновая и глутаминовая аминокислоты. [4]

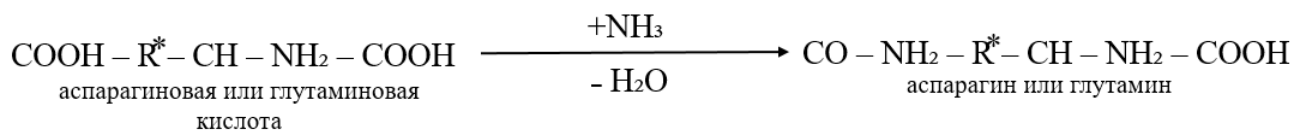


R – группы – CH₂ – или – CH₂ – CH₂ – соответствующие аспарагиновой и глутаминовой кислоте*

В круговороте азота внутри организма растения важную роль также играет процесс дезаминирования аминокислот (т.е. отщепление аминогруппы). Эта реакция обратная аминированию. В результате образуется аммиак, который идет на реакции аминирования, и кетокислота, которая включается в цикл превращения углеводов.[4]

В процессе дезаминирования образующийся аммиак может стать избыточным при недостаточном количестве углеводов и кетокислот, соответственно, накапливаться в клетках и давать токсический эффект на само

растение, вызывая «аммиачное отравление». Это явление предотвращает процесс образования амидов, при котором аммиак «обезвреживается». Амиды образуются в результате присоединения дополнительной молекулы аммиака к молекулам аспарагиновой и глутаминовой кислоты.[4]



Синтез белков заключается в соединении аминокислот пептидными связями и приведением их в определенные структурные формы. Вся информация о количестве, порядке расположения в пептидной цепи аминокислот, структуре белка, хранится в нуклеиновых кислотах. Они выступают в роли матриц для синтеза белка. [4]

Белки имеют различный порядок и количество аминокислот, разную молекулярную массу и структуру, соответственно, различаются по функциям и качествам. Синтез белков – это колоссальные затраты энергии, получаемой в процессах дыхания и фотосинтеза.

Как и в случае с аминированием и дезаминированием, в растениях проходит процесс обратный синтезу белков – распад белков на аминокислоты. На начальных стадиях в молодом растении синтез белков превышает их распад. В процессе старения соотношение меняется и в определенный момент распад начинает преобладать и со временем растение погибает.[4]

В течение жизни растения процессы азотного метаболизма различаются. На стадии прорастания семян запасные белки семядолей и эндосперма расщепляются на аминокислоты. Эти аминокислоты используются для синтеза структурных белков. При появлении фотосинтезирующих частей растения (листового аппарата) и развитии корневой системы, у растения появляется возможность использовать азот минеральных соединений, находящихся в почве

или питательном растворе (в условиях аквапоники). В процессе образования вегетативных органов потребление и усвоение азота достигает пика. Стареющие части в процессе распада белков служат источником аминокислот для более молодых частей растений, тем самым способствуя их интенсивному росту и развитию. Отток продуктов гидролиза из вегетативных частей растений начинается в начале формирования репродуктивных органов. Эти продукты используются для построения запасных белков эндосперма семени. В это время потребление азота из минеральных соединений ослабевает, а со временем вовсе прекращается.[4]

РОЛЬ УСЛОВИЙ АЗОТНОГО ПИТАНИЯ

Условия азотного питания имеют огромное влияние на рост и развитие растений, количество и качество их урожая. При оптимальной концентрации азота повышается интенсивность синтеза органических азотистых соединений. Растения имеют привлекательный товарный вид, ярко-зеленую окраску, здоровые листья и крепкий стебель. Улучшается качество плодов. Повышается урожайность. Очень важно поддерживать количество азота в оптимальном диапазоне, т.к. и его избыток, и недостаток негативно влияет на растения. При избытке азота угнетается созревание плодов. Преобладает вегетативная масса. При недостатке – замедляется рост, листья бледные и мелкие, ухудшается фотосинтез, следовательно, запас углеводов уменьшается. Малое ветвление, стебли тонкие и слабые. Снижается урожайность и качество плодов. [4]

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФОСФОРА РАСТЕНИЯМИ

Источником фосфора для растений выступают анионы солей ортофосфорной кислоты (H_2PO_4^- и HPO_4^{2-}) и продукты гидролиза полифосфорных кислот.[4]

Фосфор – важный макроэлемент, участвующий в структурах нуклеиновых кислот, нуклеопротеидов, цитоплазмы и ядра клеток. Также он входит в состав фитина (запасное вещество семени) и является источником фосфора при прорастании. Фосфор участвует в образовании фосфатидов, сахарофосфатов, витаминов и ферментов.[4]

Фосфор в растениях присутствует как в составе органических, так и в составе неорганических соединений. Неорганические соединения содержатся в небольших количествах и выступают в роли буферных систем клеточного сока. Такие системы создают резерв фосфора в клетках растений, он может использоваться для синтеза органических фосфорных соединений.[4]

Фосфор играет важную роль в энергетическом обмене, в обмене веществ, в обмене углеводов, в процессах деления, размножения, фотосинтеза, дыхания и брожения. Также фосфор входит в состав макроэнергетических молекул АТФ (аденозинтрифосфорная кислота).[4]

Процесс синтеза АТФ в растительной клетке [4]:

1. Сложные органические соединения под действием пищеварительных ферментов расщепляются до простых. Из крахмала образуется глюкоза. Выделяется тепловая энергия.
2. Анаэробный гликолиз.
3. Аэробный гидролиз

Из одной молекулы глюкозы в результате образуется 38 АТФ. Одна фосфатная связь при распаде выделяет 40 кДж энергии. Таким образом фосфор участвует в энергетическом обмене организма.

Ключевые процессы с участием фосфора в углеводном обмене – процессы фосфорилирования (присоединение фосфорной кислоты к молекулам углеводов) и дефосфорилирования (отщепление фосфорной кислоты).[4]

Фосфор участвует в накоплении углеводов в разных частях растений. С этого начинается тесная взаимосвязь фосфорного цикла в организме растения с азотным циклом. Фосфор принимает участие в восстановлении азотистых соединений до аммиака, синтезе аминокислот, амидов и белков. Концентрация фосфора влияет на интенсивность синтеза белка в клетках растений и количество белков как в самом растении, так и в его плодах.[4]

Фосфора больше в частях, где идет активный синтез органических веществ, то есть в репродуктивных и молодых частях растения. Он может переходить в зоны роста из более старых частей и использоваться повторно. Поэтому признаки недостатка фосфора изначально проявляются на старых листьях: они меняют цвет с зеленого на красно-фиолетовый, иногда с голубым оттенком. При недостатке фосфора снижается количество и качество урожая, замедляется рост и созревание самого растения.[4]

Хоть и потребление фосфора достигает максимальных значений в период интенсивного роста вегетативных органов, наиболее важное значение фосфор имеет на начальных стадиях развития растения, в момент, когда корневая система еще слабо развита и обладает низкой способностью усваивать вещества из субстрата и питательного раствора. Даже последующее обильное фосфорное питание не сможет восполнить урон, нанесенный недостатком фосфора на ранних стадиях развития растений. Обеспеченность растения фосфором на начальных стадиях вегетационного развития влияет на рост и созревание растения, на количество и качество урожая.[4]

РОЛЬ ФОСФОРА В ОРГАНИЗМЕ РЫБ

Фосфор относится к макроэлементам. Он принимает участие в жизненно важных процессах в организме. Так же, как и в растениях фосфор участвует в клеточном энергетическом обмене (синтез АТФ), фосфорилировании и дефосфорилировании. Фосфор играет важную роль в создании разницы потенциалов у клеточных стенок, что способствует активному транспорту сквозь клеточную мембрану. Также фосфор способствует усвоению кальция, что в свою очередь улучшает качество костей скелета и мышечной ткани. Большая часть фосфора (90 %) содержится в скелете. Фосфор поддерживает работу буферных систем плазмы и тканевой жидкостей, способствует усвоению витаминов, входит в состав нуклеиновых кислот.[4]

10 ОСНОВНЫХ ПРИНЦИПОВ АКВАПОННОЙ СИСТЕМЫ

Для эффективной работы системы необходимо соблюдать 10 основных принципов. Они работают в комплексе, важны одинаково. Каждый может стать лимитирующим.[13]

1. Использование кормового коэффициента в расчетах

Исходя из расчетов выделяется коэффициент, который показывает, какое количество корма будет достаточно питать определенную площадь, засаженную растениями.

2. Поддержка стабильности потока питательных веществ.

Существует два способа поддержки стабильности питательного потока: выращивание разных возрастных и размерных групп в одном бассейне и в

разных, но в одно время. Сбор рыб товарного размера при выращивании разных размерных и возрастных групп проводят в шахматном порядке. После изъятия взрослой рыбы на ее место засаживают мальков. Таким образом поддерживается постоянный возрастной и размерный состав, следовательно, общая масса выходящего из резервуаров аммиака, нитритов и нитратов. При замене взрослой рыбы на малька общее количество соединений, содержащих азот, падает на 25 – 30 % и восстанавливается через 6 недель. Если выращивать одну возрастную группу, то при достижении ей товарного размера, изъятии и замене на мальков, уровень азота в системе падает на 90 % и восстанавливается только через полгода.

3. Дополнительное внесение кальция, железа и калия

Из бассейнов с гидробионтами к растениям поступают 10 из 13 необходимых для полноценного роста элементов. Поэтому кальций, железо и калий вносят дополнительно в составе соединений. Гидроксидами кальция и калия также можно регулировать уровень pH. Железо стоит вносить в составе органических соединений во избежание его выделения из раствора.

4. Высокий уровень насыщения кислородом

Кислород – элемент, без которого полноценная жизнь в системе невозможна. Он необходим для каждого звена в равной степени. Растворенный в воде кислород используется рыбами и корнями растений для дыхания, нитрифицирующие бактерии используют его в реакциях синтеза нитритов и нитратов из аммиака, также хорошая аэрация способствует их размножению.

5. Регуляция количества корма

Излишки корма поглощают кислород, находясь в бассейне с сомами, и загрязняют его продуктами собственного разложения. Попадая в гидропонный узел, остатки корма оседают на корнях, снижая впитывание питательного

раствора. Застывая в наполнителе гидропонного узла, частицы закупоривают полости, тем самым преграждая путь потоку питательных веществ и лишая корни кислорода. Также излишки корма негативно сказываются на нитрифицирующих бактериях.

6. Правильный выбор наполнителя

Важно правильно подобрать наполнитель для гидропонного узла. Он должен обеспечивать проход воды к корням, задержку кислорода в полостях и давать возможность укрепления растения. Выбор наполнителя зависит от того, какой метод используется в гидропонике. Но в большинстве случаев предпочтение отдается инертным наполнителям таким как: керамзит, гравий, перлит, минеральная вата.

7. Правильный размер труб

Лучше отдать предпочтение трубам с большим диаметром, во избежание их засорения. В трубы поступает вода с органическими остатками из бассейна с гидробионтами. И мало того, что какой-то процент их осаждается на стенках, это еще и способствует развитию бактерий и микроводорослей. Именно обрастание и загрязнение органическими остатками может снизить пропускную способность труб, следовательно, растения не будут получать достаточное количество питательных веществ одновременно.

8. Надлежащая биофильтрация

Биофильтр обеспечивает переход аммиака в менее токсичные для рыб нитриты и нитраты. Есть два варианта организации биофильтрации в аквапонной системе: соединение биофильтра и гидропоники и содержание отдельного биофильтра. В некоторых аквапонных системах и правда в качестве субстрата могут использоваться корни растений и крупный наполнитель в гидропонном узле. Растения способны всасывать как аммиак, так и нитриты с

нитратами. Но важно не допустить попадание аммиака в бассейны с рыбами. Содержание отдельного биофильтра занимает больше места, но остается более надежным путем биофильтрации.

9. Контролирование уровня рН

Уровень рН – один из основополагающих параметров системы. Нельзя допускать скачков рН, потому что это губительно для всех элементов системы. На уровень рН на прямую влияет нитрификация – в течение процесса уровень рН постоянно понижается. При низком уровне рН накапливается аммиак, и его концентрация превращается в угрозу для рыб. В случае закисления среды необходимо внести для нейтрализации гидроксид калия или кальция. От уровня рН зависит степень доступности питательных веществ для растений, так как при защелачивании среды некоторые вещества выпадают в осадок и растения не смогут их потребить. Оптимальный уровень рН для аквапонных систем – 7.0. (Таблица 1)

Таблица 1. Зависимость доступности элементов для растений от рН среды.[13]

Элемент	рН среды					
	6.	6.	7.	7.	8.	8.
	0	5	0	5	0	5
Азот	10	10	10	10	10	8
Фосфор	4	10	10	10	5	5
Калий	10	10	10	10	10	10
Сера	10	10	10	10	10	10
Кальций	6	8	10	10	10	10
Магний	6	8	10	10	10	10
Железо	8	7	6	5	4	3
Марганец	10	10	8	6	4	3
Бор	10	10	10	6	4	3
Медь и цинк	10	10	8	6	4	3
Молибден	7	8	10	10	10	10

Высокая биологическая доступность – 10, растение не может усваивать элемент – 0.

10. Биологический контроль

Так как аквапоника – это система взаимосвязанных элементов, находящихся в симбиозе, очень важно следить за состоянием каждого из них. Контроль над насекомыми и растениями в гидропонном узле нельзя проводить с помощью пестицидов, так как они губительны для рыб и бактерий. При заражении рыб антибиотики и другие лекарственные средства нельзя применять в системах, потому что это скажется на растениях и бактериях. Методы биологического контроля изучаются и совершенствуются. Например, лучше выбирать для разведения болезнестойкие виды рыб, к которым в частности относятся сомы.

МЕТОДЫ ВЕДЕНИЯ ГИДРОПОНИКИ В АКВАПОННОЙ УСТАНОВКЕ

1. Система плавающей платформы

В данном методе ведения гидропоники корни растений постоянно погружены в воду (Рисунок 9). Растения находятся на плавающей платформе из пенопласта. В блоке пенопласта делают отверстия, куда вставляют маленькие блоки из минеральной ваты с молодым растением, в некоторых случаях даже с семенами. Нижняя часть блока минеральной ваты должна контактировать с водой, но не быть в нее погруженной больше, чем на 20 %. По мере роста корни будут погружаться в воду все больше. Корни должны постоянно аэрироваться. Такой метод подойдет как для масштабного хозяйства, так и для небольшой лабораторной установки.[9]

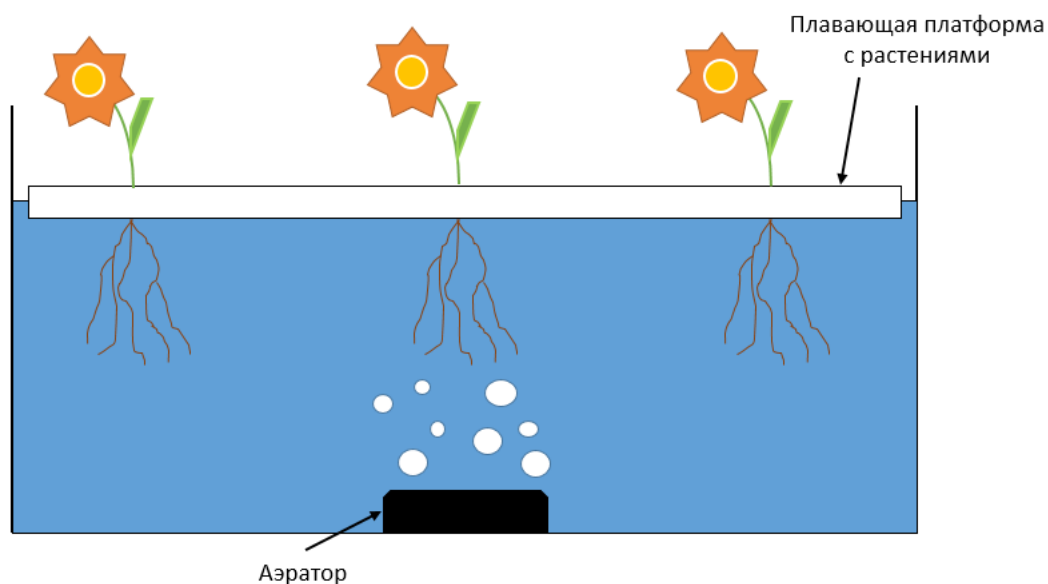


Рисунок 9. Схема системы плавающей платформы (ориг.)

2. Система периодического затопления

Система периодического затопления работает по принципу чередования погружения корней в питательный раствор и их осушения (Рисунок 10). Периодичность контролируется с помощью таймеров, либо с помощью особенностей конструкции гидропонного узла. Осушение корней проводится с целью аэрации, во избежание возможного загнивания.[9]

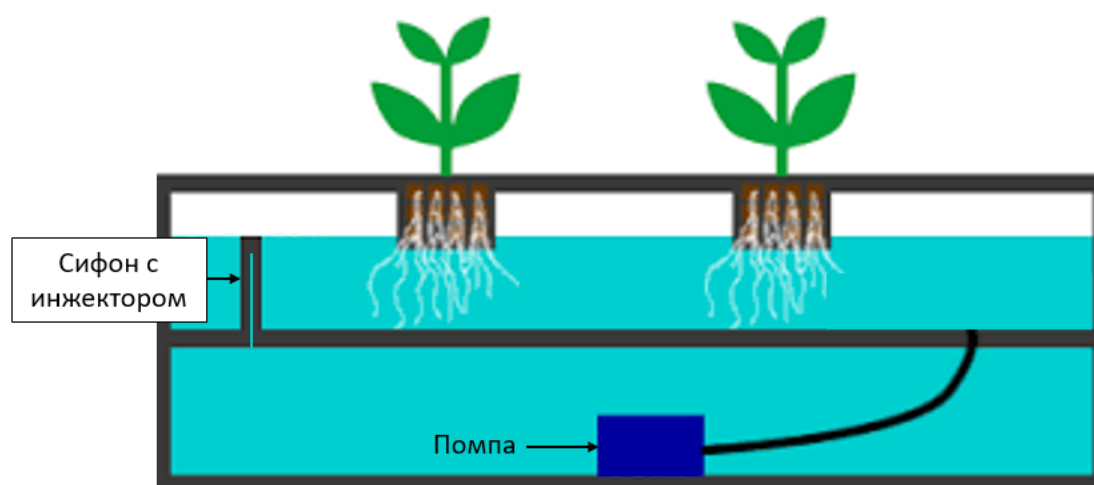


Рисунок 10. Схема системы периодического затопления с использованием сифона с инжектором для подачи воздуха [9]

3. Система питательного слоя

В данном методе идет постоянный поток питательных веществ, но раствор идет по дну лотка или трубы, в которую засажены растения, не заполняя его полностью (Рисунок 11). Поэтому корни погружены в раствор частично. Таким образом обеспечивается и контакт с раствором, и контакт с кислородом.[9]

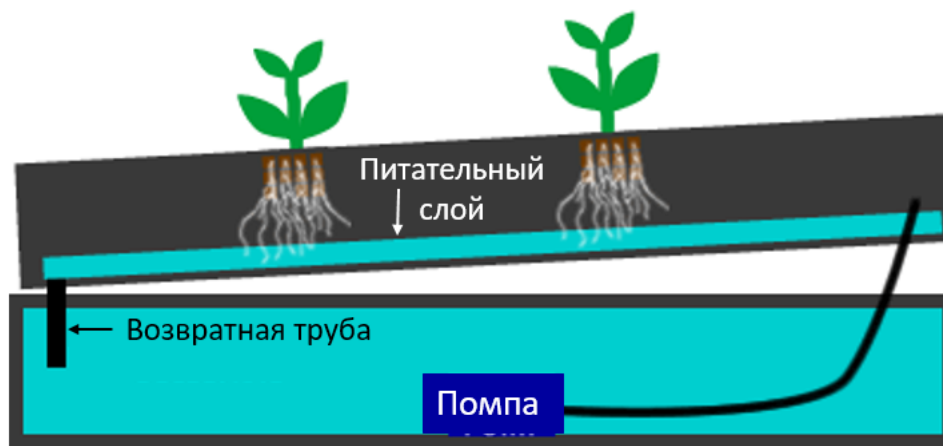


Рисунок 11. Схема системы питательного слоя [9]

Глава 3

ОПИСАНИЕ ОБЪЕКТА 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

Клариевые сомы имеют достаточно широкий ареал обитания и распространены в Юго-восточной и малой Азии, Африке, Центральной и Южной Америке. Они населяют неглубокие ручьи, болотистые водоемы и реки с большим содержанием тины. Сомы предпочитают обитать в полумраке, поэтому мутная вода с невысокой проницаемостью света для них предпочтительнее. Сомы всеядны, но по большей части ведут хищный образ жизни. Главной особенностью клариевых сомов является наличие дополнительного дыхательного органа, по строению напоминающего настоящее легкое с древовидной разветвленной сосудистой сеткой. Именно благодаря этому органу сомы могут использовать атмосферный кислород для дыхания и обитать в среде с дефицитом кислорода. Также наличие этого дополнительного органа позволяет сомам мигрировать из водоема в водоем. Сом вне воды может существовать на протяжении 40 часов.[1]

Длинное тело. Голова крупная, сдавленная. Маленькие глаза. Узкий и угловатый отросток затылочной кости. Жаберные щели широкие;

лабиринтовый орган отходит от жаберных дуг; первая жаберная дуга имеет 24 - 110 тычинок. 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. Окраска варьирует от песочно-желтой до серой с оливковыми и зеленовато-коричневыми отметинами, брюшко белое (Рисунок 12).[1]



Рисунок 12. Внешний вид африканского клариевого сома *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) [1]

Африканский клариевый сом является традиционным объектом аквакультуры Западной Африки уже на протяжении 100 лет. У развития его выращивания много общего с путем развития выращивания тилляпии. Сом был интродуцирован в Китай, Индонезию, Филиппины, Таиланд, Бразилию. В 1980-х годах началось выращивание в Голландии. Позже, в 1990-х, сом как объект аквакультуры начал распространяться по Европе, занимая позиции в Германии, Чехии, Бельгии, Венгрии и Польше. В Россию сом был привезен из Голландии в 1996 году и выращивался на территории Липецкого металлургического комбината. Сейчас сом в России выращивают в Липецке, Курске, Рязани и в Краснодарском крае. Голландия до сих пор занимает лидирующие позиции в выращивании клариевого сома в Европе.[1]

Сом обладает быстрым ростом, устойчивостью к заболеваниям, не требователен к концентрации кислорода, его можно выращивать в условиях очень плотной посадки в УЗВ, он быстро приспосабливается, его процесс размножения достаточно прост, а также мясо сома богато жирными кислотами Омега-3 и отвечает современным характеристикам здоровой пищи. Производство клариевого сома быстро окупается. По этим причинам он является выгодным объектом аквакультуры.

Основные требования к условиям выращивания клариевого сома [7]:

- Температура воды 22 – 30 °С
- Широкий диапазон рН от 6 до 8,5. Смерть при $11 < \text{pH} < 4$.
- Плотность посадки. Если говорить о выращивании товарной рыбы, то при средней массе одной рыбы 800 – 1200 г, плотность посадки может достигать 0,8 – 1,5 рыбы/л. В результате можно получить 400 – 500 кг рыбы с 1 м³.
- Сом выживает при солености 12 промилле, но оптимальные для него значения вписываются в диапазон 0 – 2,5 промилле.
- Благодаря дополнительному органу дыхания сомы толерантны к содержанию кислорода в воде. Насыщение воды кислородом 0 – 100%, оптимальная концентрация 3 – 5 мг/л.
- Мутность находится в широком диапазоне. Сомы комфортно себя чувствуют в мутной и непрозрачной воде.
- Корм используют плавающий для карпов или для форели, но есть и специализированные корма для сомов, но они дороже.

Исключая этап инкубации икры, выращивание клариевого сома в условиях УЗВ можно разделить на 4 этапа [7]:

1. Выращивание личинок
2. Выращивание мальков

3. Предтоварный этап развития
4. Выращивание товарной рыбы

Первый этап протекает в полумраке и длится от 2 до 5 недель. Личинки приобретают способность дышать кислородом из атмосферы. Их масса достигает примерно 300 – 500 мг. Вода должна быть насыщена кислородом на 50 – 70 %. Плотность посадки находится в диапазоне 50 – 150 шт/л. По истечении двух недель следует разрядить посадку до 20 – 50 шт/ л. Контроль плотности посадки обязателен, так как имеет место быть явление каннибализма. У сомов существует две степени личиночного каннибализма: I – поедание менее 45 мм от общей длины; II – поедание от 45 до 80 мм от общей длины. Сортировку личинок необходимо проводить максимально аккуратно, так как это сильная стрессовая ситуация для личинок. Циркуляция воды должна идти достаточно быстро, смена воды – 1- 2 раза в час. Весь этап проходит в бассейнах объемом до 1000 л и глубиной 50 – 60 см. Изначально рацион личинок должен быть основан на натуральном корме, например, это может быть живой трубочник или декапсулированная артемия. Такой тип корма применяется первые 2 – 4 дня. Затем происходит перевод личинок на стартовые сухие корма с содержанием 50 – 55 % белка и не более 14 % жира. Количество корма устанавливается из расчета 12 – 15 % от общей биомассы личинок.[7]

По истечению сроков первого этапа личинки удельной массой 300 – 500 мг сортируются по размеру как минимум на две группы. Начинается второй этап – выращивание малька. Сроки этого этапа зависят от организации производства, но в среднем они колеблются от 3 до 5 недель. Плотность посадки рассчитывается из конечной удельной массы молоди и объема бассейна. Кормление меняется. На этом этапе рацион должен составлять 4,5 – 5 % от общей биомассы мальков. Подача корма производится вручную или с помощью автоматических кормушек 3 - 4 раза в день.[7]

Третий этап длится 50 – 60 дней. На этом этапе лучше пересадить рыб в более просторные бассейны объемом 3000 – 5000 л. Полная смена воды в бассейне должна осуществляться каждые 1 – 3 часа. Как и в предыдущих этапах, здесь важна сортировка. От размера рыбы на прямую зависит плотность посадки. Если масса рыбы равна 10 – 15 г, то плотность посадки должна находиться в пределах 2 – 2,5 шт/л. При массе 20 – 30 г – плотность равна 1 – 1,5 шт/л. Кормление 3 – 4 раза в день плавающим кормом. Дневной рацион должен составлять 3 – 5 % от массы рыб. Если взять за значение средней массы малька 20 г, то по истечению 65 дней выращивания в бассейне объемом 2500 л в результате получается 1210 – 1264 кг рыбы, средняя масса каждой рыбы 160 – 190 г.[7]

Этап выращивания товарной рыбы массой 800 – 1200 г протекает в бассейнах объемом 5000 – 10 000 л в течение 30 – 50 дней. Кормление совершается каждые 5 – 6 часов. Рацион должен составлять 2 – 3% от массы рыб. При кормлении вручную достигается лучшее распределение корма по бассейну, следовательно, рыбам он будет более доступен и появится возможность избежать большой разницы в массе между крупными и менее крупными рыбами (дифференциация рыб по массе). Температура воды в бассейне поддерживается на уровне 25 – 27 °С. Плотность посадки – 0,8 – 1,5 шт/л. [7]

При соблюдении всех рекомендаций по выращиванию сомов в УЗВ можно достичь продуктивности в 400 – 500 кг рыбы с метра кубического.

ВЫБОР ОБЪЕКТА ГИДРОПОНИКИ

Для эффективности аквапонной установки важно правильно подобрать сочетание «объект аквакультуры + выращиваемая растительная культура». Для

независимости системы потребности выращиваемого вида растений должны удовлетворяться насколько это возможно без участия человека и без дополнительного внесения веществ в систему, а также растения должны хорошо фильтровать воду, чтобы продукты жизнедеятельности гидробионтов не доставляли дискомфорта.

Не меньшей важностью обладают расчеты и диапазоны, которые помогут определить какое количество рыб способно обеспечить растения определенным количеством питательных веществ.

Выращиваемая в аквапонной установке культура должна обладать определенными качествами. В первую очередь, она должна иметь ценность либо для питания человека, либо для питания самих сомов. Практика использования выращиваемых растений или их отходов в качестве добавки или даже в качестве основного корма не редкость. Так как сом всеяден, но в естественных условиях преимущественно ведет хищный образ жизни, вариант с использованием растений гидропонного узла в качестве основного корма исключается. Но в качестве пищевой добавки растения из гидропонного узла использовать можно.

Также культура должна чувствовать себя комфортно в тех условиях, в которых содержатся сомы. Сомов выращивают в вполне типичных условиях и никаких экстремальных значений они не достигают.

Рассмотрим два варианта выбора растений для выращивания в аквапонной установке.

1. Выращивание кормовой культуры для сомов
2. Выращивание ценных культур для человека

Первый вариант достаточно ограничен в выборе, так как сом преимущественно хищник, а на производстве его кормят комбикормами,

которые сбалансированы по питательным веществам и направлены на рост массы. Но тем не менее, были опыты кормления сомов растительной пищей в сочетании с кормами, но коммерческого применения эта технология не получила.

Рассмотрим в качестве кормовой культуры ряску (Рисунок 13). Подсемейство Рясковых *Lemnoideae* являются высшими водными растениями мелкого размера (размер листовой пластины от 2 мм у рода *Wolffia* до 20 мм у рода *Spirodela*). Плавающие на поверхности воды мелкие растения распространены повсеместно в стоячих водах богатых органикой, кроме безводных пустынь и зон вечной мерзлоты. Образуют сплошной ковер на водоеме, быстро размножаются, устойчивы к загрязнению воды. Подсемейство подразделяется на 5 родов: *Spirodela*, *Landoltia*, *Lemna*, *Wolffiella*, *Wolffia* – включает в себя около 40 видов.[18]



Рисунок 13. Внешний вид представителя подсемейства рясковых *Lemnoideae* [18]

Вегетативная часть состоит из листовой пластины и маленьких корней. У ряски нет необходимости иметь опорные волокна, так как отсутствуют стебель

и листья (ряска волокнистая всего на 5 %). Значительная часть биомассы наземных растений при изготовлении корма для животных выбрасывается как раз из-за того, что они имеют большое количество волокон, которые не участвуют в метаболизме растений, следовательно, не имеют кормовой ценности для животных. Но у ряски вся вегетативная часть метаболически активна.[18]

Преимущества ряски как кормовой культуры:

- Быстрый рост и высокая продуктивность
- Малое количество волокон
- Не нуждается в дополнительной аэрации
- Может идти в корм без дополнительной обработки, в свежем виде
- Много белка и минеральных соединений
- Не продуцирует ядовитых веществ, таких как алкалоиды
- Не требовательна к большим затратам на выращивание

Скорость роста и продуктивность ряски поразительна: способна увеличивать биомассу в 2 раза за сутки. На каждый грамм сухой массы растения образуется 64 г, а это 73 тонны на гектар в год. Это теоретические цифры. Реальные значения составляют 1/3 – 2/3 от теории. В аквапонике значения могут быть ниже, т.к. внос дополнительных удобрений может пагубно повлиять на рыб.

Количество белка в ряске зависит от источника и количества поступающего к ней с остальными питательными веществами азота, но в целом колеблется от 15 до 45 % (Таблица 2). Наблюдается недостаток триптофана и метионина, но в основном включает в себя все аминокислоты.

Таблица 2. Питательная ценность ряски [18]

Источник	Сырой белок (в % от сухой массы)	Жиры (%)	Волокна (%)	Зольность (%)
Естественный водоем	25 - 35	4.4	8 - 10	15
Обогащенная культура	45	4	9	14

Также в ряске содержится много минеральных веществ и пигментов, таких как β -каротин и ксантофилл.

Было отмечено низкое содержание жиров (3 – 5 %) и углеводов в ряске. Поэтому она не может быть самостоятельным кормом для сомов, но может быть добавкой к сбалансированным комбикормам.

Очень важным моментом контроля является своевременный сбор урожая ряски. Это стимулирует ее рост и устойчивость к заболеваниям. Собранную ряску можно высушивать для изготовления кормов, либо использовать в свежем виде. Оптимальная температура для выращивания ряски 25 – 31 °С, что в целом вписывается в температурный диапазон содержания сомов. Комфортный уровень pH для ряски 6.5 – 7.5 (у сомов диапазон 6 – 8.5). Ряска отрицательно реагирует на высокие концентрации кислорода в воде, это угнетает ее развитие. [18]

Если говорить о выборе ценной пищевой культуры, полезной для человека, то тут есть из чего выбрать. При организации производства в условиях аквапоники лучше отдавать предпочтение растениям с коротким периодом созревания. В любой аквапонной системе могут расти различные сорта листового салата, кудрявая капуста, базилик, мята, лук скорода. Томат, перец,

огурцы, горох, бобы, тыква, брокколи, цветная капуста, кочанная капуста более требовательны и нуждаются в высокой органической нагрузке.

Разберем выращивание ценной для человека культуры на примере выращивания листового салата.

Листовой салат имеет достаточно короткие сроки созревания. Период прорастания семени колеблется в зависимости от условий и сорта салата от 4 до 12 дней. Максимального размера (65 см в диаметре) салат достигает за 6 недель, но готовым к употреблению салат считается начиная с 20 см в диаметре. Салат не переносит избытка влаги у корневой шейки, поэтому она не должна находиться в воде. Для выращивания салата подходят все методы ведения гидропоники, но большее применение получила системы плавающей платформы (Рисунок 14).[3]



Рисунок 14. Выращивание салата по методу плавающих платформ.[17]

Промышленное выращивание салата построено следующим образом. Плавающие платформы из пенопласта с прорезями для посадки находятся в длинных поддонах. В прорезях находятся пластиковые горшочки с прорезями либо небольшие блоки из минеральной ваты. Корни растений погружены в воду с питательными веществами и постоянной аэрацией. На каждой пенопластовой платформе располагаются салаты с одинаковой датой засева. Как только одна платформа созревает ее изымают, продвигают остальные платформы в освободившийся конец, а на противоположный добавляют платформу с молодыми растениями. Для того, чтобы поддерживать стабильное производство и максимально использовать возможности системы, необходимо всегда иметь в запасе новую платформу рассады. Урожай салата собирают один раз в 30 – 35 дней. Следовательно, система, позволяющая содержать 30 – 35 рядов платформ салата, дает возможность собирать урожай каждый день.

Требования к питательному раствору для выращивания салата [3]:

- Соотношение аммонийного и нитратного азота 1:3
- Концентрация азота в растворе 200 мг/л
- Концентрация фосфора 80 мг/л
- Концентрация калия, кальция 200 мг/л
- Концентрация магния 50 мг/л
- Затенение

Салат – востребованный вид выращиваемых культур в аквапонике. Он относительно прост в выращивании, ценен для потребителя, обладает коротким периодом созревания.

Глава 4

ПРОЕКТ ЛАБОРАТОРНОЙ АКВАПОННОЙ УСТАНОВКИ

В естественных условиях экосистемы не нуждаются в контроле, потому что они работают на взаимосвязях между звеньями, которые регулируют друг друга самостоятельно. Но аквапоника – это искусственная система, которая будет успешно функционировать только за счет расчетов и правильного соотношения между звеньями. Последствиями неправильного расчета могут быть недостаточная фильтрация воды в системе замкнутого водоснабжения, отравление гидробионтов, недостаток азотистого и фосфорного питания у растений, гибель бактерий. Таким образом в лабораторной, как и в промышленной, аквапонной установке хороший результат зависит от правильного соотношения биомассы рыб и биомассы растений, соответствие условий содержания выращиваемого вида и культуры.

Для того, чтобы система аквапоники функционировала круглый год необходимо организовывать производство таким образом, чтобы изъятие из системы зрелых растений и гидробионтов не наносило вреда остальным звеньям. Главные условия – поддержание относительно постоянного потока питательных веществ в системе и высокая степень очистки воды. Например, если мы будем выращивать одну возрастную группу сомов в аквапонике, количество питательных веществ будет зависеть от роста и стадии развития рыб. При достижении сомами товарного размера, они изымаются из системы. При этом количество корма резко уменьшается, что истощает поток питательных веществ. Растения не получают нужного количества азот, фосфора и других веществ, их развитие угнетается. Другой пример. Если мы собираем урожай растений, то к сомам будут поступать лишние азотсодержащие соединения, что может негативно влиять на их самочувствие.[21]

Лабораторная установка спроектирована на основе уже имеющейся системы УЗВ, в которой успешно содержатся 5 взрослых сомов средней массой 3 кг. Целесообразно заменить имеющийся бассейн на еврокуб объемом 620 л, для уменьшения расхода воды в системе. Лоток для гидропонного узла изготовлен из части еврокуба и имеет объем 230 л (Рисунок 15Рисунок 15).

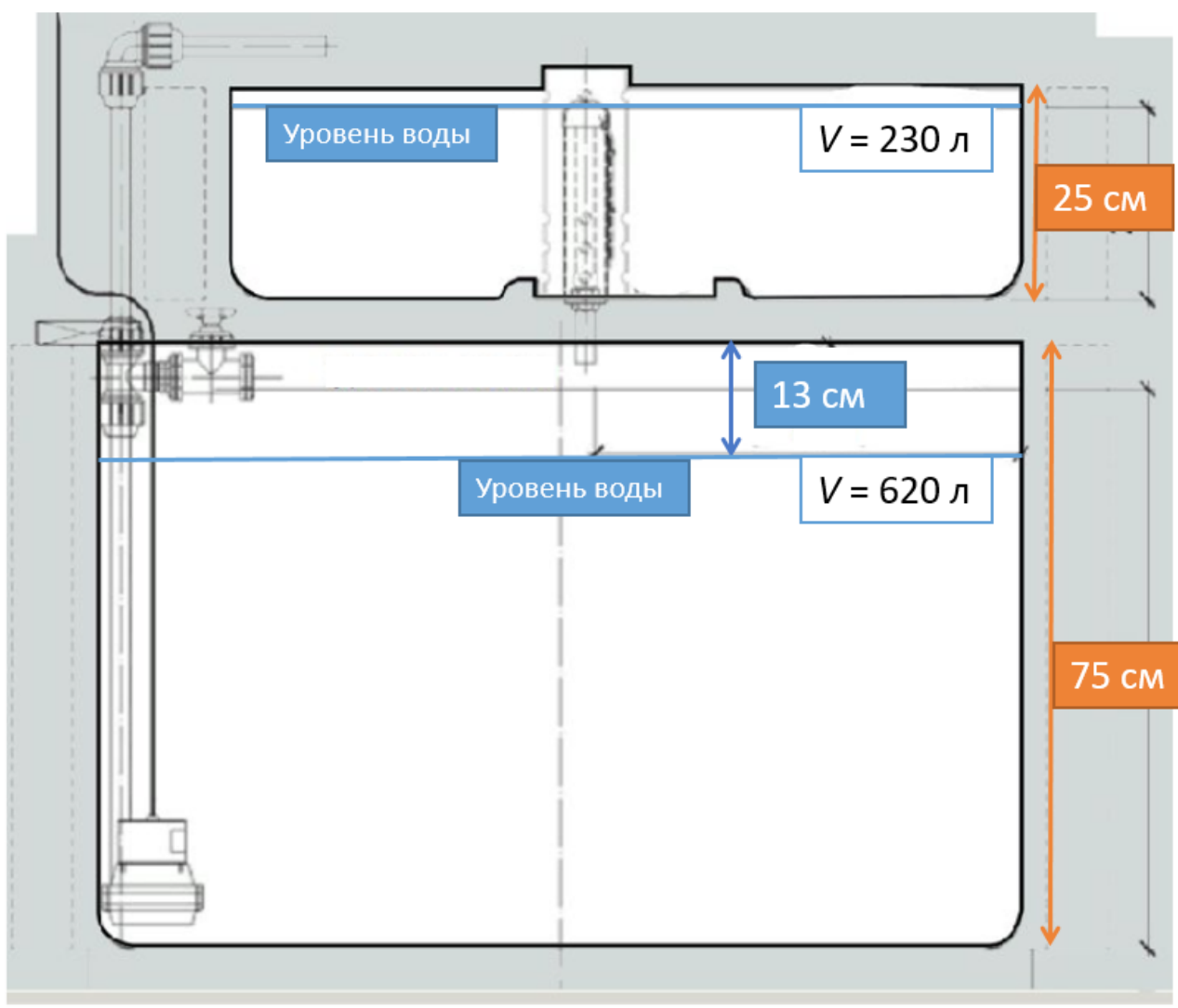


Рисунок 15. Схема аквапонной лабораторной установки состоящая из резервуара для выращивания гидробионтов и лотка с гидропоникой. Материал: еврокуб. [11, 12]

Были произведены расчеты (Таблица 3):

- Температура воды 25 – 27 °C
- Масса одного сома в среднем 3 кг
- Количество сомов 5 шт
- Объем бассейна 620 л
- Процент массы корма от общей массы 2 – 3 % (в среднем 2,5 %)
- Процентное содержание белка в корме 42 %

Таблица 3. Расчетная таблица для вычисления массы азота в системе

Значение	Ответ
Общая масса рыб	15 000 г
Плотность посадки	0,008 шт/л
Масса корма	375 г
Масса белка	157,5 г
Масса азота	25,2 г

Концентрация азота в растворе, который поступает в гидропонный узел должна находиться в диапазоне 100 – 200 мг/л. Исходя из расчетов, концентрация азота в гидропонном узле в лабораторной установке равна 0,11 г/л (110 мг/л), что не сильно превышает нижнюю границу диапазона. Из этого следует сделать вывод, что выращиваемым в данной лабораторной аквапонной установке растениям может не хватать азота для полноценного развития. Например, для выращивания салата оптимальной считается концентрация 200 мг/л [3].

Произведем расчеты для оптимизации работы аквапонной установки, состоящей из резервуара с сомами объемом 620 л, фильтрационной системы из механического и биологического фильтра и одного лотка гидропонного узла. Плавающая платформа с параметрами (в см) 98х98х2 способна вместить посадку 18 блоков с салатом (питательная площадь одного салата 23х23 см²) [3]. Для выращивания салата в такой системе при концентрации азота в 200 мг/л в

лотке масса поступающего азота должна быть равна 46 г. Для этого нужно увеличить количество сомов в резервуаре примерно до 9 штук (средняя масса сомов 3 кг).

Более продуктивной и эффективной будет установка, организованная на шахматном принципе сбора урожая растений и рыб. Такая система включает в себя 4 и более еврокуба для выращивания рыб и 4 и более лотка для гидропонного узла. Шахматный принцип заключается в том, что сбор урожая или изъятие рыб происходит не одновременно, а поэтапно. В каждом еврокубе содержится определенная возрастная и размерная группа рыб, в каждом лотке – растение на определенной стадии созревания. При изъятии старшей возрастной группы рыб, подача корма уменьшается на 20 – 30 % и постепенно возрастает пока не достигнет прежних значений. Это занимает примерно 4 – 6 недель. Такая система позволяет уменьшить негативные последствия изъятия части рыб из системы для растений.

Растения посажены рядами на пенопластовых платформах. Рассадку можно собирать рядами или платформами. Это зависит от того, когда было посажено растение.

МАКСИМАЛЬНЫЕ ПЛОТНОСТИ ПОСАДКИ

Проведем расчет количества азота, которое может содержаться в системе, спроектированной исходя из возможных плотностей посадки сомов в еврокуб (Ошибка: источник перекрёстной ссылки не найден). Количество еврокубов в установке: 4 шт. Объект выращивания в гидропонном узле: листовой салат. Начальный этап развития сомов в системе: этап 3. Сомы на этапе 3 сортируются

на 2 размерные группы. Крайний этап (предположительный этап изъятия): этап 4. Масса сомов на этом этапе 800 – 1200 г.

Этап 3.

Условия:

- Длительность 50 – 60 дней
- Температура воды 25 – 27 °С
- Объем бассейна 620 л
- По массе мальки делятся на две группы: массой 10 – 15 г и 20 – 30 г. От этого зависит плотность их посадки и условия питания.

Масса мальков 10 – 15 г:	Масса мальков 20 – 30 г:
• Плотность посадки 2 – 2,5 шт/л	• Плотность посадки 1 – 1,5 шт/л
• Процент массы корма от общей массы рыб 3 – 5 %	• Процент массы корма от общей массы рыб 3 – 5 %
• Процент содержания белка в корме 48 %	• Процент содержания белка в корме 45 %

Проведем расчеты в двух вариантах, исходя из массы мальков.

Значение	Масса мальков 10 – 15 г	Масса мальков 20 – 30 г
Количество рыб в бассейне	1240 – 1550 шт (в среднем 1395 шт)	620 – 930 шт (в среднем 775 шт)
Общая масса рыб	17 437,5 г	19 375 г
Масса корма	697,5 г	775 г
Масса белка	334,8 г	348,75 г
Масса азота	53,57 г	55,8 г

Этап 4.

Условия:

- Длительность 3 – 5 недель

- Температура воды 25 – 27 °C
- Масса рыб 800 – 1200 г
- Объем бассейна 620 л
- Плотность посадки 0,8 – 1,5 шт/л
- Процент массы корма от общей массы 2 – 3 %
- Процентное содержание белка 42 %

Расчеты для размерной группы 800 – 1000 г:

Значение	Пояснение	Ответ
Количество рыб в бассейне	Рассчитывается из объема бассейна и плотности посадки (средняя плотность посадки 1,5 шт/л)	930 шт
Общая масса рыб	Количество рыб умножаем на среднюю массу 900 г	837 000 г
Масса корма	Процент массы корма от общей массы рыб составляет 2,5 %	20 925 г
Масса белка	Корм на 42 % состоит из белка	8 788, 5 г
Масса азота	Из 100 г белка выделяется 16 г азота	1406,16 г

Расчет для размерной группы 1000 – 1200 г:

Значение	Пояснение	Ответ
Количество рыб в бассейне	Рассчитывается из объема бассейна и	496 шт

	плотности посадки (средняя плотность посадки 0,8 шт/л)	
Общая масса рыб	Количество рыб умножаем на среднюю массу 1100 г	545 600 г
Масса корма	Процент массы корма от общей массы рыб составляет в среднем 2,5 %	13 640 г
Масса белка	Корм на 42 % состоит из белка	5 728,8 г
Масса азота	Из 100 г белка выделяется 16 г азота	916,61 г

Исходя из расчетов:

- Суммарное количество азота, поступающего из 4 еврокубов с сомами в гидропонный узел, 2 432,14 г
- Концентрация азота в гидропонном узле 2,64 г/л

При такой концентрации азота на литр воды в гидропонном узле возможно содержать 40 лотков, выращивая 18 кустов салата в каждом.

ОПТИМАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ

В лабораторной аквапонной установке нет необходимости в 40 лотках в гидропонном узле. Произведем расчет оптимального количества сомов разных этапов развития для содержания в лабораторной аквапонной установки и ее эффективного функционирования (Рисунок 16)

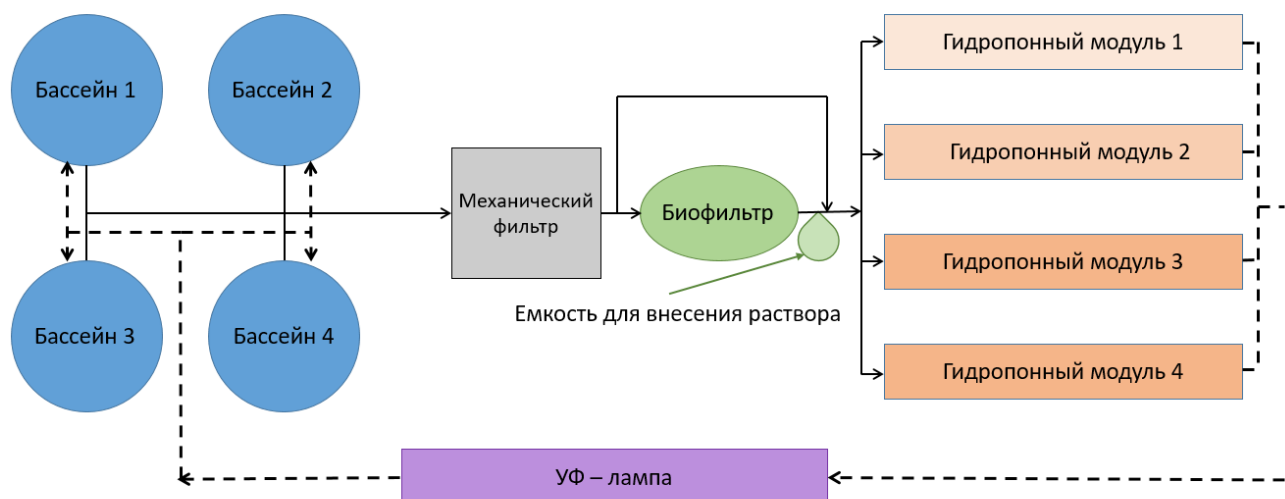


Рисунок 16. Схема аквапонной лабораторной установки (ориг.)

Состав лабораторной аквапонной установки для содержания африканского клариевого сома и выращивания листового салата:

- Резервуары для содержания рыб (4 шт)

Вода в системе должна отвечать тем параметрам, которые комфортны для сомов. Если сомы будут чувствовать себя комфортно, они будут хорошо кормиться, следовательно, прибавлять в массу. При нормальном обмене веществ поток питательных веществ для растений будет стабилен. В проекте данной лабораторной установки используются резервуары типа еврокуб (объем 1000 л). У кубов срезана верхняя часть. Общий объем в результате изъятия верхней части составляет 750 л, рабочий объем, залитый водой, 620 л. Т.к. лабораторная установка находится в помещении, то еврокубы не нужно отделывать облицовочным материалом. Еврокубы относительно дешевы.

- Механический фильтр

Здесь вода проходит первичную обработку и избавляется от крупных взвешенных частиц, но не избавляется от аммиака. Вода после механического

фильтра может поступать в биофильтр, где аммиак будет преобразован в нитриты и нитраты, а может сразу поступать в гидропонный узел, так как растения могут питаться и аммиаком, и нитритами с нитратами. В лабораторной установке используется барабанный механический фильтр собственной разработки.

- Биофильтр

Здесь нитрифицирующие бактерии преобразуют аммиак в нитриты и нитраты, которыми питаются растения и которые не токсичны для рыб. Биофильтр заполнен пластиковой загрузкой, которая выполняет роли жилой площади для бактерий. На ней бактерии образуют биопленку. Здесь важно поддерживать хороший уровень аэрации, так как загрузка должна перемешиваться и находиться в потоке воды. Также кислород помогает развитию бактерий. Существует вариант совмещения биофильтра с гидропонным узлом, где бактерии образуют пленку прямо на корнях растений. В лабораторной установке используется биофильтр собственной разработки.

- Ёмкость для внесения раствора

Она используется, если необходимо внести дополнительные вещества для растений. Ее нужно расположить после биофильтра, так как любые посторонние вещества губительны для нитрифицирующих бактерий. Эта часть служит экстренным средством приведения в оптимальное состояние гидрохимических характеристик системы.

- Гидропонный узел (4 лотка)

Именно здесь находятся растения. Это емкости с инертным субстратом для растений, через которые идет вода из биофильтра и механического фильтра. Для гидропонного узла в аквапонной установке возможно три варианта работы:

1. Система плавающей платформы
2. Система периодического затопления
3. Система питательного слоя

Об эффективности каждого подхода до сих пор ведутся дискуссии, так как у каждого есть свои преимущества.

В проекте данной лабораторной аквапонной установки возможно использовать в качестве лотков гидропонного узла срезанные части еврокубов (общий объем 250 л, рабочий объем 230 л) или фановые трубы (110 мм). Здесь нужно исходить из того, каким методом предполагается ведение гидропоники. Лотки из еврокубов подходят для любых систем. В системе периодического затопления, при использовании фановых труб в роли лотков, могут возникнуть проблемы с проектированием, но для систем плавающей платформы и питательного слоя они так же подходят.

Каждая система требовательна к техническому оснащению определенного уровня. В этом плане система плавающей платформы проще в проектировании и использовании. Для системы периодического затопления требуются таймеры, которые будут периодически открывать или закрывать сливные отверстия. Либо необходим сифон, работающий по принципу образования воздушной пробки, снабженный инжектором для введения воздуха (Рис. 17).

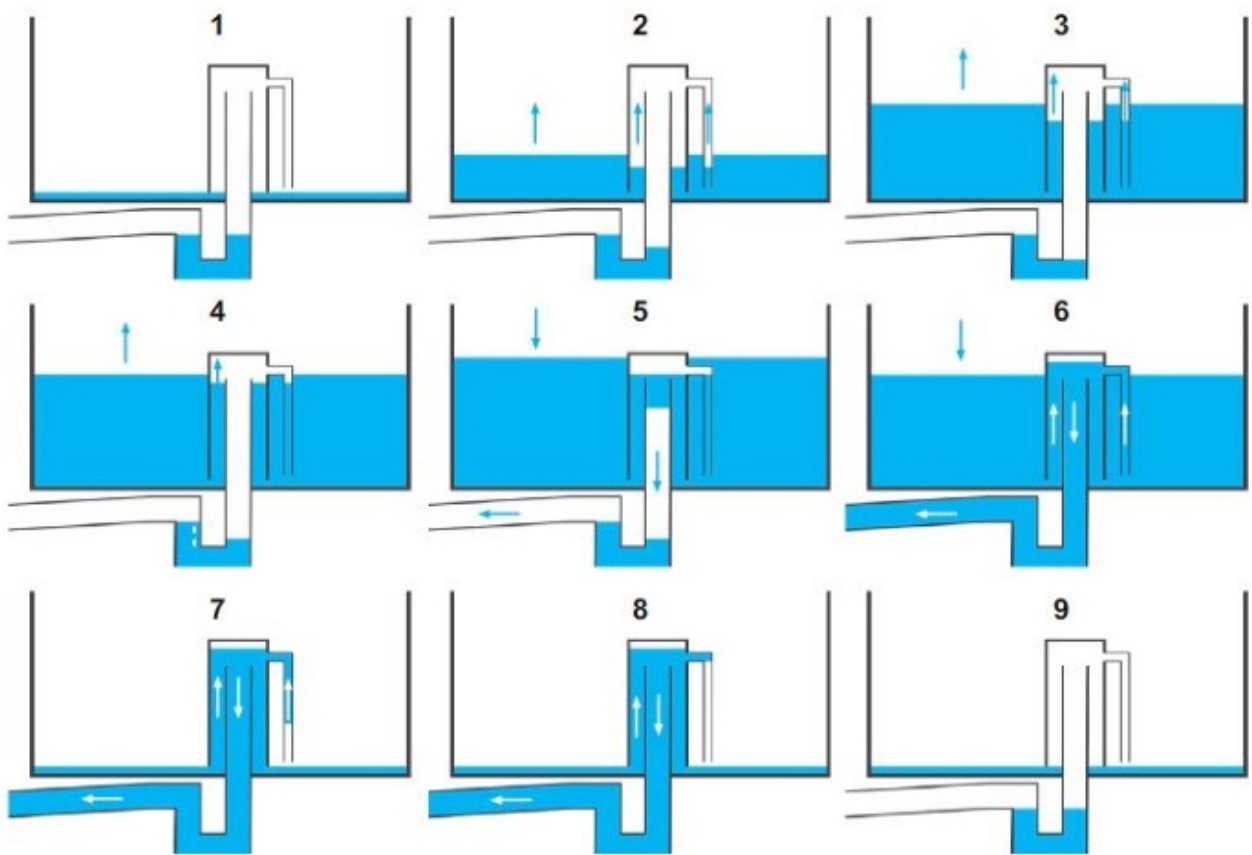


Рисунок 17. Принцип работы сифона с инжектором для введения воздуха [11]

Гидропонный узел, расположенный в помещении, нуждается в дополнительном освещении. Для этого необходимо установить над лотками фитолампы. Диодные лампы способны предоставлять 400 – 700 нм света, что вполне достаточно для правильного развития и роста комнатного цветка. Чтобы они хорошо цвели, а корневая система нормально развивалась необходим синий цвет с волной 420 – 435 нм. Красный цвет с волной 650-657 нм способствует хорошему росту растения и его листьев. Листья, которые находятся на нижнем уровне, нуждаются в зеленом цвете – 450-600 нм. Спектр других цветов не нужен для роста растения. Освещение должно чередоваться для того, чтобы у растений формировалось ощущение светового дня и темного времени суток. В течение светового дня растения интенсивно фотосинтезируют, вырабатывая

кислород и накапливая в своих клетках крахмал, который используется в дальнейшем в синтезе других веществ в клетке.[16]

- УФ – лампа

Финальный этап очистки воды перед ее возвратом в бассейны с гидробионтами. УФ – лампа проводит стерилизацию воды от патогенных микроорганизмов и спор водорослей.[20]

Исходя из оптимальной концентрации азота в питательном растворе для салата 0,2 г/л, проведем расчет для определения необходимого количества сомов в аквапонной установке.

- Количество лотков гидропонного узла 4 шт
- Количество еврокубов узла аквакультуры 4 шт
- Выращиваются сомы двух этапов развития (3-го и 4-го) и четырех размерных групп

Расчеты:

- Масса поступающего в гидропонный узел азота равна 184 г
- Из каждого лотка может поступать 46 г азота

Промежуточный расчет для первой размерной группы 3 этапа (масса сомов 10 – 15 г)

Значение	Пояснение	Ответ
Масса азота	Белок на 16 % состоит из азота	46 г
Масса белка	Процентное содержание белка в корме 48 %	287,5 г
Масса корма	Масса корма составляет 4 % от	598,96 г

	общей массы рыб	
Общая масса рыб	Средняя масса рыб 12,5 г	14 973,96 г
Количество рыб	Рассчитывается исходя из средней массы	1197 шт

Промежуточный расчет для второй размерной группы 3 этапа (масса сомов 20 – 30 г)

Значение	Пояснение	Ответ
Масса азота	Белок на 16 % состоит из азота	46 г
Масса белка	Процентное содержание белка в корме 45 %	287,5 г
Масса корма	Масса корма составляет 4 % от общей массы рыб	638,89 г
Общая масса рыб	Средняя масса рыб 25 г	15 972,22 г
Количество рыб	Рассчитывается исходя из средней массы	638 шт

Промежуточный расчет для первой размерной группы 4 этапа (масса сомов 800 – 950 г)

Значение	Пояснение	Ответ
Масса азота	Белок на 16 % состоит из азота	46 г
Масса белка	Процентное содержание белка в корме 42 %	287,5 г
Масса корма	Масса корма составляет 2,5 % от общей массы рыб	684,52 г

Общая масса рыб	Средняя масса рыб 875 г	27 380,8 г
Количество рыб	Рассчитывается исходя из средней массы	31 шт

Промежуточный расчет для второй размерной группы 4 этапа (масса сомов 1000 – 1200 г)

Значение	Пояснение	Ответ
Масса азота	Белок на 16 % состоит из азота	46 г
Масса белка	Процентное содержание белка в корме 42 %	287,5 г
Масса корма	Масса корма составляет 2,5 % от общей массы рыб	684,52 г
Общая масса рыб	Средняя масса рыб 1100 г	27 380,8 г
Количество рыб	Рассчитывается исходя из средней массы	24 шт

Вывод: Для эффективного функционирования лабораторной аквапонной установки состоящей из 4 еврокубов с сомами и 4 лотков с листовым салатом необходимо содержать 1197 шт сомов массой 10 – 15 г, 638 шт сомов массой 20 – 30 г, 31 шт сомов массой 800 – 950 г и 24 шт сомов массой 1000 – 1200 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Аквапоника – прогрессивное направление развития сельского хозяйства. Оно обладает множеством преимуществ как для потребителя, так и для производителя. Но самое главное, что аквапоника решает проблемы влияния традиционного сельского хозяйства на окружающую среду.

Аквапоника – древний метод ведения хозяйства. Его эффективность проверена веками использования в различных странах и на различных растительных культурах и видах рыб.

Аквапоника имеет широкое распространение в мире, но распределение ее использования неравномерно. Аквапоника укрепилась в странах Азии, Европы и Северной Америки. В России метод совместного выращивания рыб и растений пока не так популярен, но уже используется некоторыми компаниями.

Этот метод ведения сельского хозяйства основан на взаимодействии нескольких групп живых организмов, которые взаимно влияют друг на друга, как в естественных экосистемах. Именно использование принципа замкнутой системы делает аквапонику уникальным, эффективным и экологичным видом сельского хозяйства. Главными процессами в аквапонных системах являются нитрификация, фосфорилирование, фотосинтез и корневое питание растений, процессы питания и выделения у рыб. Все эти процессы абсолютно естественны и происходят в природе.

Аквапоника имеет несколько методов ведения, поэтому можно подобрать наилучшие условия для выращивания растений и рыб.

В данной работе объектом выращивания в аквапонной установке был выбран африканский клариевый сом. Этот вид уникален своей высокой плотностью посадки, широким диапазоном содержания кислорода в воде,

быстрым ростом, болезнестойкостью и качеством мяса, что делает его перспективным объектом аквакультуры.

В аквапонике можно выращивать множество растительных культур. Широкое распространение получили листовой салат, клубника, лук разных сортов, пряные травы, томаты, огурцы, перец.

Были проведены расчеты трех видов для аквапонных установок. Разработаны рекомендации для улучшения лабораторной аквапонной установки, участвующей в эксперименте. Спроектирована лабораторная аквапонная установка для выращивания африканского клариевого сома в образовательных целях. Эта установка позволяет:

- Вырастить клариевого сома для дальнейшего его использования в обучении (препарация)
- Изучить принцип работы аквапоники как системы в целом и как части фильтрационной системы УЗВ
- Отработать навыки контроля качества воды в системе УЗВ
- Изучить процессы фильтрации в системе УЗВ

Плюсы ведения сельского хозяйства методом аквапоники:

- Потенциальная близость к потребителю: небольшое аквапонное хозяйство может успешно функционировать в черте города, так как нет необходимости в большой территории.
- Экологически чистая продукция: нет необходимости вносить в систему гербициды и пестициды для защиты растений от вредителей; если рыба болеет, то ее изымают из системы и антибиотики не попадают к растениям и не накапливаются в них.
- Увеличение степени фильтрации: гидропонный узел в аквапонной установке работает как дополнительное звено системы фильтрации воды

(фитофильтр). Увеличение степени фильтрации способствует здоровью выращиваемых рыб.

Минусы аквапоники:

- Дороговизна на раннем этапе производства: для эффективного функционирования системы необходим определенный уровень технического оснащения.

Аквапоника в России – перспективное направление. Это экологичный и компактный тип производства, который может существовать в черте города. Высокая продуктивность позволяет обеспечивать экологически чистой продукцией потребителя в достаточно короткие сроки при должной организации производства.

Переход сельского хозяйства от загрязнения почв и грунтовых вод к «чистому» аквапонному производству – большой шаг навстречу экологичному будущему.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Африканский клариевый сом, Государственное бюджетное учреждение Краснодарского края «Кубанский сельскохозяйственный информационно-консультационный центр»; – Краснодар, 2015. – 12 с.
2. Антоненко А., Щербинин Ю., Аквапоника – технология сельского хозяйства будущего; Сборник информационных материалов; – Белгород: «Департамент агропромышленного комплекса Белгородской области ОГАУ «Иновационно-консультационный центр АПК»», 2015. – 46 с.
3. Базырина Е. Н., Бушуева Т.М., Ильинская Н. Л., Чесноков В. А., Выращивание растений без почв – Санкт – Петербург, Издательство Ленинградского Университета, 1960. – 162 с.
4. Муравин Э.А., Смирнов П.М., Агрохимия [Текст]/ Муравин Э.А., Смирнов П.М. – Москва «Колос», 1984. – 304 с.
5. Михайлов А., Вечерний Ростов. Пиленгаса и щуку взрастит академическая аквапоника [Текст]/ Михайлов А.// Вечерний Ростов. – 2016. – №253.
6. Andreas Graber, Desalination. Aquaponics systems: Nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production [Текст]/ Andreas Graber, Ranka Junge// Desalination. – 2009. – № 246. – с.147 – 156.
7. Аквафид [Электронный ресурс]: Размножение и производство африканского сома *Clarias gariepinus* – Режим доступа: <https://aquafeed.ru/node/44> – (Дата обращения 29.03.2020)
8. Промгидропоника [Электронный ресурс]: АКВАПОНИКА – ОРГАНИЧЕСКАЯ ГИДРОПОНИКА – Режим доступа: https://www.promgidroponica.ru/organich_gidroponika – (Дата обращения 11.06.2020)

9. Промгидропоника [Электронный ресурс]: Разновидности гидропоники – Режим доступа: <https://www.promgidroponica.ru/raznovidnostigidroponiki> – (Дата обращения 11.06.2020)

10. ЮНЦ РАН [Электронный ресурс]: СМИ, Михайлов А. Пиленгаса и шuku взрастит академическая аквапоника [Текст] – Режим доступа: http://www.ssc-ras.ru/ru/resdep/unc/media/pilengasa_i_shuku_vzrastit_akademicheskaja_akvaponika/ – (Дата обращения 17.04.2020)

11. Aquaponics FAQ [Электронный ресурс]: How to build backyard aquaponics – Режим доступа: <http://aquaponicsfaq.net/how-to-build-backyard-aquaponics/> – (Дата обращения 10.06.2020)

12. Backyard Aquaponics [Электронный ресурс]: Backyard Aquaponics Installs – Режим доступа: <http://www.backyardaquaponics.com/systems/backyard-aquaponic-installs/> – (Дата доступа 13.03.2020)

13. Blogs.ifas.ufl.edu [Электронный ресурс]: James Rakocy, Ten Guidelines for Aquaponic Systems – Режим доступа: <http://blogs.ifas.ufl.edu/santarosaco/files/2013/06/Aquaponics-Journal-10-Guidelines.pdf> – (Дата обращения 29.03.2020)

14. Christopher Somerville, FAO FISHERIES AND AQUACULTURE TECHNICAL PAPER. Small-scale aquaponics food production Integrated fish and plant farming [Текст]/ Alessandro Lovatelli, Austin Stankus, Christopher Somerville, Edoardo Pantanella// FAO FISHERIES AND AQUACULTURE TECHNICAL PAPER. – 2014. – №589. – с. 288

15. Ecology-education.ru [Электронный ресурс]: Сельское хозяйство как один из факторов воздействия на окружающую среду – Режим доступа: <https://ecology-education.ru/index.php?action=full&id=166> – (Дата обращения 11.06.2020)

16. FineLighting [Электронный ресурс]: Спектр светодиодных ламп для освещения комнатных цветов – Режим доступа: <https://finelighting.ru/svetilniki/lampy/biolampy/dlya-rastenij/kak-vybrat-pravilnye-svetodiody.html> – (Дата обращения 11.06.2020)
17. FloraGrowing [Электронный ресурс]: Система плавающей платформы / глубоководная культура DWC – Режим доступа: <https://floragrowing.com/ru/encyclopedia/sistema-plavayushchey-platformy-glubokovodnaya-kultura> - (Дата обращения 13.06.2020)
18. Food and Agriculture Organization of the United Nations [Электронный ресурс]: DUCKWEED: A tiny aquatic plant with enormous potential for agriculture and environment – Режим доступа: <http://www.fao.org/ag/againfo/resources/documents/DW/Dw2.htm> – (Дата обращения 13.04.2020)
19. JAMBYL [Электронный ресурс]: Аквапоника: будущее сельского хозяйства – Режим доступа: <https://taraztv.kz/ru/news/economic/akvapponika-budushchee-selskogo-hozyaistva> – (Дата обращения 29.03.2020)
20. MPDI [Электронный ресурс]: Influence of UV Treatment on the Food Safety Status of a Model Aquaponic System – Режим доступа: <https://www.mdpi.com/2073-4441/9/1/27/html> – (Дата обращения 23.04.2020)
21. ResearchGate [Электронный ресурс]: Recirculation Aquaculture Tank Production Systems: Aquaponics – Integrating Fish and Plant Culture – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/284496499_Recirculating_aquaculture_tank_production_systems_Aquaponics-Integrating_fish_and_plant_culture – (Дата обращения 23.04.2020)
22. ScienceDirect [Электронный ресурс]: Aquaponic Systems: Nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production – Режим доступа:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0011916409004299> – (Дата обращения 18.03.2020)