



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 аквапонных установок замкнутого водоснабжения для
выращивания радужной форели *Oncorhynchus mykiss*, Walbaum, 1792»**

**Направление подготовки 35.03.08 Водные биоресурсы и аквакультура,
профиль «Управление водными биоресурсами и аквакультура»**

Исполнитель _____ *ИЖ* _____ Жевненко Ирина Юрьевна
(подпись) (фамилия, имя, отчество)

Руководитель _____ *ШШ* _____ Шошин А.В., доц., к.б.н.
(подпись) (фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой _____ *СВ* _____ Королькова С.В., к.т.н.
(подпись) (фамилия, имя, отчество)

« 26 » *Июль* 2023 г.

Санкт-Петербург

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. АКВАПОНИКА.....	5
1.1.Историческая справка.....	6
1.2.Современное состояние аквапоники в России и за рубежом	8
2. БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В АКВАПОННОЙ СИСТЕМЕ	12
2.1.Азотный цикл	12
2.2.Нитрификация в аквапонной системе.....	14
2.3.Питание растений.....	15
2.4.Роль азота для роста растений	18
2.5.Роль азота для роста растений	19
2.6.Рекомендации для аквапонных систем.....	19
3. ОПИСАНИЕ ОБЪЕКТА АКВАКУЛЬТУРЫ И ГИДРОПОНИКИ.....	25
3.1.Биологическая характеристика радужной форели	25
3.1.1. Систематика.....	25
3.1.2. Морфология	26
3.1.3. Ареал обитания	27
3.1.4. Условия обитания и жизненный цикл	28
3.2.Выращивание радужной форели на рыбоводных хозяйствах.....	29
3.3.Органик-продукты в аквапонике.....	32
3.4.Гидропоника	34
3.4.1. Объекты гидропоники	35
3.4.2. Системные методы гидропоники в аквапонной установке	37
4. ПРОЕКТ АКВАПОННОЙ УСТАНОВКИ ЗАМКНУТОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ	40
4.1.Максимальная плотность посадки	42
4.2.Оптимальные условия	45
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	51
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	54

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время идея экологического образа жизни становится все более актуальной во всем мире. Данные тенденции проявляются и в России. Например, в настоящее время потребитель больше отдаёт предпочтение экопродуктам. Ведь при производстве такой продукции главным является экологическая безопасность продукции и окружающей среды.

Сельское хозяйство оказывает негативное воздействие на окружающую среду. Одним из факторов воздействия на окружающую среду являются пестициды, используемые для уничтожения вредных насекомых. Смешиваясь с почвой, водой, воздухом и пищей, они представляют опасность для сельскохозяйственных продуктов питания, наносят вред здоровью человека, а также способствуют загрязнению поверхностных вод. Использование азотных удобрений также оказывает негативное влияние на природу. Внесение большого количества удобрений приводит к вымыванию почвы, загрязнению грунтовых вод, увеличению содержания азота в питьевой, водопроводной и морской воде. Все это негативно сказывается на качестве воды и оказывает пагубное воздействие на водные организмы. Таким образом, всё это говорит о необходимости изменения подходов к сельскому хозяйству, которое должно быть эффективным и экологически безвредным.

Аквакультура тоже представляет риск для окружающей среды. Из-за чрезмерного рыболовства, загрязнения и разрушения среды обитания диких популяций рыб происходит сокращение их численности. Все это может привести к вымиранию видов. В настоящее время, всё больше внимание направлено в сторону систем с небольшим воздействием на природу.

Аквапоника — высокотехнологичный способ ведения сельского хозяйства, сочетающий аквакультуру и гидропонику. Основное отличие аквапоники от традиционного способа выращивания растений заключается в том, что этот органический метод совместного выращивания растений и гидробионтов. Данный производственный цикл является полностью

замкнутым, что даёт эффективный результат в производстве рыбных и растительных продуктов. Вполне возможно, что в будущем аквапонные системы получат широкое распространение и будут использоваться для развития сельского хозяйства. Поскольку в системе не используются азотные удобрения и пестициды, всё это позволяет производить высококачественные органические продукты для питания человека.

Актуальность выбранной темы работы обусловлена необходимостью обеспечения населения экологически чистыми продуктами питания, без нанесения негативных последствий на окружающую среду.

Цель работы: Разработать проект создания аквапонной установки замкнутого водоснабжения для выращивания радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*).

Для достижения цели дипломной работы были поставлены следующие задачи:

1. Рассмотреть историю и современное состояние аквапоники;
2. Изучить важные биологические процессы в аквапонной системе;
3. Изучить системные методы гидропоники в аквапонной установке;
4. Объяснить выбор объекта аквакультуры радужной форели и объекта гидропоники;
5. Разработать проект аквапонной установки замкнутого водоснабжения;
6. Выделить преимущества и недостатки аквапоники.

Объект исследования: аквапонная установка замкнутого водоснабжения.

Предмет исследования: технология выращивания радужной форели в аквапонной установке замкнутого водоснабжения.

Структура дипломной работы: выпускная квалификационная работа представлена на 57 страницах и состоит из введения, 4 глав, заключения с написанными к нему выводами, а также списка использованной литературы в количестве 32 источников, в том числе 15 источников на иностранном языке.

1. АКВАПОНИКА

Термин «аквапоника» произошёл от соединения слов греческого языка и древней латыни — лат. aqua, что на русском языке обозначает вода, которое происходит родом из праиндоевропейских корневых слов с основой «akwa-» + др. — гр.: λόνος – работа.

Аквапоника является частью промышленного сельскохозяйственного производства и представляет собой искусственную систему контроля над состоянием температуры, водной среды и освещения, при гидропонном способе выращивания растений. Эта система представляет собой симбиоз существования гидробионтов, выращенных в искусственных условиях, гидропонных культур сельскохозяйственных растений и бактерий, которые перерабатывают отходы жизнедеятельности гидробионтов. [3].

Другими словами, аквапоника — это совместное выращивание рыб и растений в искусственной экосистеме. Эта система использует естественные бактериальные циклы для превращения отходов жизнедеятельности рыб в питательные вещества для растений. На небольшом пространстве можно произвести большое количество растений. Аквапоника сочетает в себе аквакультуру и гидропонику. Системы аквапоники состоят из трёх основных элементов: рыбы, растений и нитрифицирующих бактерий. Фермер кормит рыбу. Рыба производит отходы и аммиак, которые в больших количествах вредны для рыбы. Потом, вода из бассейна с рыбами направляется к растениям, где нитрифицирующие бактерии расщепляют аммиак сначала на нитриты, а затем на нитраты. Растения питаются нитратами и другими питательными веществами, в результате чего очищают воду (рис. 1). Твёрдые отходы могут быть отфильтрованы из воды либо с помощью грядок для выращивания растений, либо с помощью дополнительного фильтра. Далее чистая, вода возвращается в резервуар с рыбами [27].

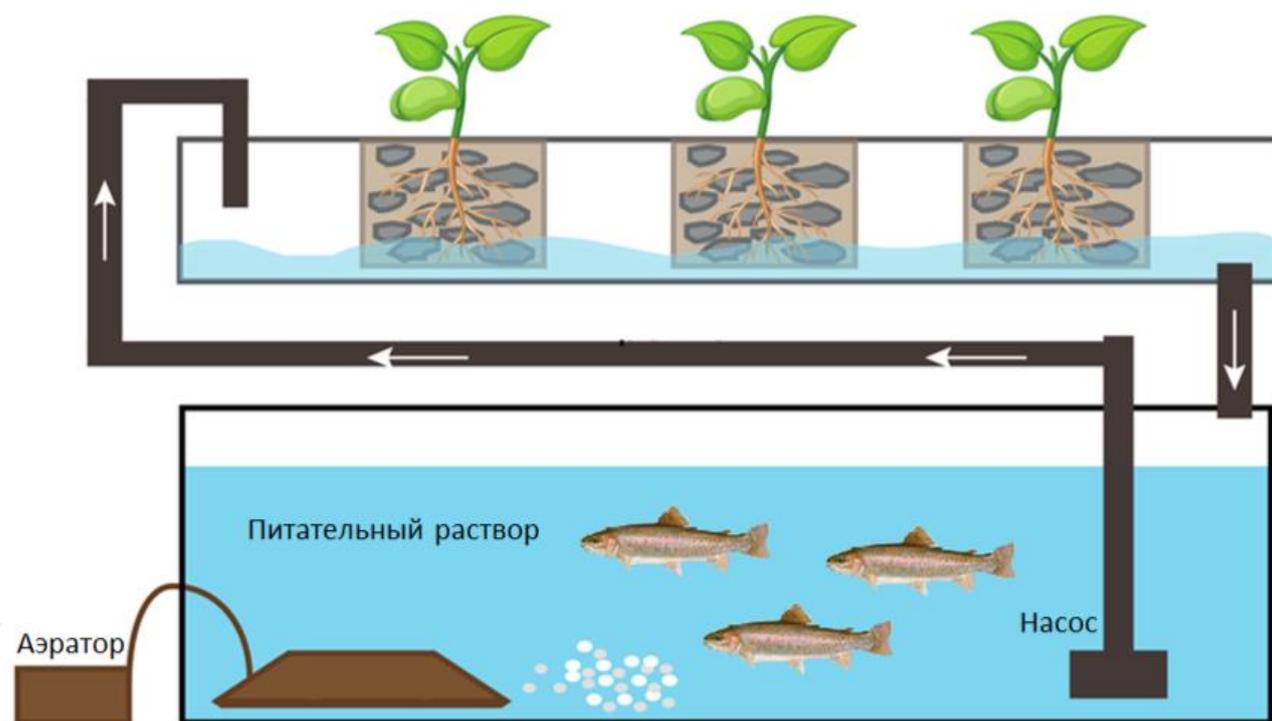


Рис. 1. Схема работы аквапонной установки [29]

1.1. Историческая справка

Термин «аквапоника» существует небольшое количество времени, но наглядные положительные качества совместного выращивания растений и гидробионтов были замечены далёкими предками и использовались сотни десятков лет [3].

Среди учёных существуют споры о том, когда же аквапоника впервые была представлена в качестве сельскохозяйственного производства. Существуют несколько мнений.

Считается, что самая ранняя концепция возникла в 1000 году нашей эры. До создания великой империи ацтеков в Центральной Америке, ацтеки были кочевым племенем на территории современной Центральной Мексики. В то время у племени не было места для выращивания собственных продуктов питания, поскольку их поселение располагалось на берегу пресноводного озера Тескоко. Местность, состоящая, в частности, из болотистых мест с неровной почвой, не способствовала земледелию. Чтобы иметь возможность выращивать продукты питания для населения, ацтеки изобрели концепцию плавучих садов под названием «чинампас» (рис. 2). Эти

сады были созданы путём накопления разложившихся растений и грязи на плавучих островах. В таких сооружениях ацтеки сеяли семена таких культур, как кукуруза, цуккини и помидоры. Плавучие сады были продуктивными, поскольку получали питательные вещества из озёрной воды. На сегодняшний день «чинампас» можно найти в центральной Мексике[21, 27].

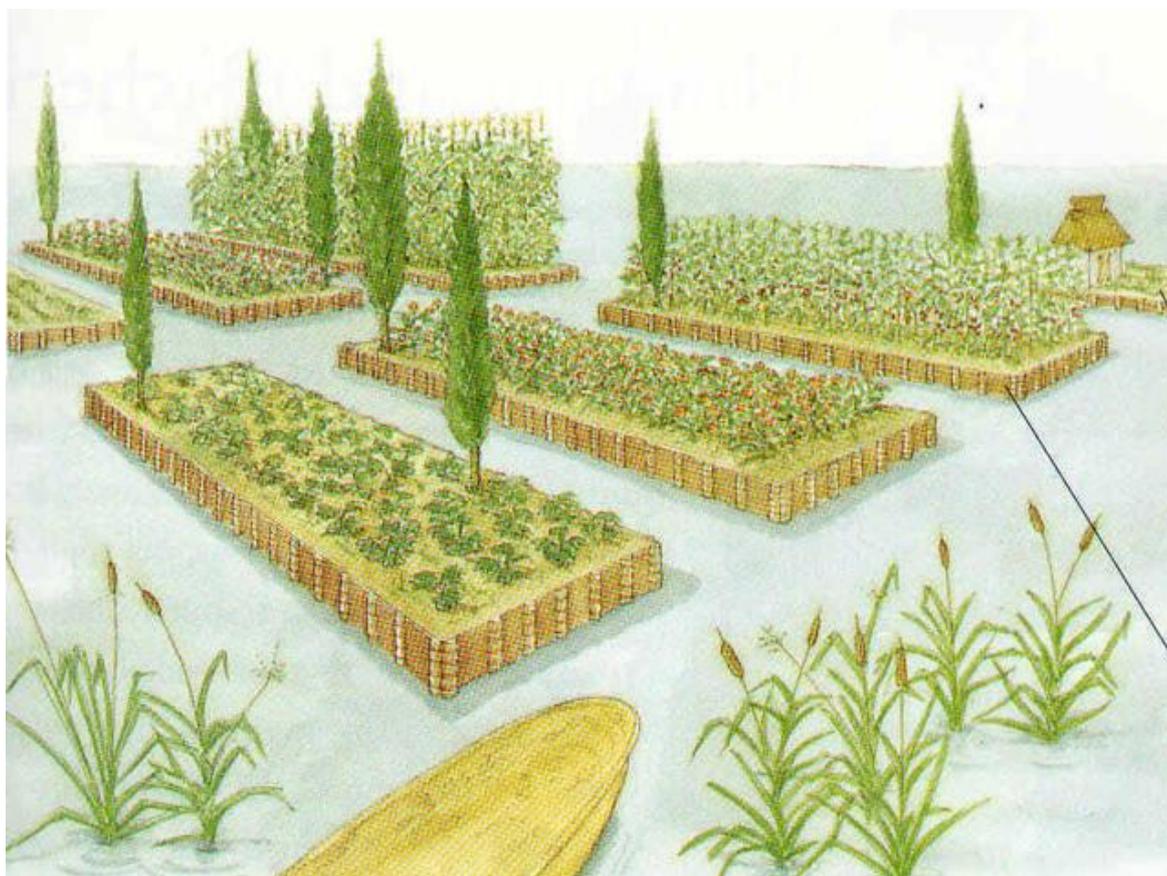


Рис. 2. Чинампасы ацтеков [31]

В то время как ацтекские чинампасы в Мексике считаются основой современной аквапоники, народы Восточной Азии, особенно в Южном Китае, Индонезии и Таиланде, также считались одними из первых практиков в данной системе. Такие поликультурные системы ведения сельского хозяйства существовали во многих странах Дальнего Востока. В этих регионах сельское хозяйство включало в себя выращивание риса на полях совместно с рыбами. Они разводили на рисовых полях таких гидробионтов как восточный вьюн, болотный угорь, обыкновенный карп, карась и прудовые улитки. Древние китайцы использовали систему интегрированной аквакультуры. Суть данной культуры заключается в том, чтобы рыба, утки и

растения сосуществовали в симбиотических отношениях. Уток содержали в клетках над прудами с рыбой. Рыбы перерабатывали отходы от уток. В нижнем пруду сом питался отходами, которые стекали из рыбного пруда. На другом конце системы, вода из прудов для ловли сомов использовалась для орошения риса и овощных культур.

Ещё одним примером, использования аквапоники древними народами является Древний Рим, а именно Вавилон. В Вавилоне в каналах с рыбой, наполненной обогащённой питательными веществами водой, выращивали растения, которые свисали вниз, создавая тем самым висячие сады. Питанием для растений служили отходы жизнедеятельности рыб.

В то время как древние народы разработали концепцию совместного выращивания рыбы и растений, исследования в области аквапоники начались в 1970 годах и продолжаются сегодня в нескольких университетах по всему миру [16, 21].

Сочетание беспочвенного выращивания растений и разведения рыбы все ещё является довольно новым, хотя практика их применения прослеживается с древних времён. В целом, она отображает симбиотические отношения между рыбой и растениями и то, как это можно воспроизвести для использования в коммерческих или домашних системах. А поскольку между растениями и рыбами существует естественная взаимосвязь, эта экосистема считается безопасной для окружающей среды [27].

1.2. Современное состояние аквапоники в России и за рубежом

В разработке аквапонных систем занимаются практически все развитые страны: Нидерланды, Дания, США, Австралия, Англия, Германия, Китай, Португалия. Но признанными лидерами в данном направлении являются голландцы. Широко известен проект ecoFutura по аквапонной технологии выращивания томатов зимой в закрытом грунте с одновременным разведением карпа. В настоящее время ведётся много разработок по снижению содержания нитратов, сохраняя при этом высокий урожай, что

важно в условиях усиления экологического контроля. Так, Пим Вильгельм разработал аквапоническую технологию выращивания экологически чистых помидоров зимой. Также в Нидерландах, в городе Блейсвейк, есть новый улучшенный тепличный комплекс (рис.3) [11, 16].



Рис.3. Применение метода аквапоники в Нидерландах [16]

В Соединённых Штатах, недалеко от Орlando, штат Флорида, на крыше небоскрёба в центре города компания Green Sky Farmers использует аквапонику и вертикальное земледелие для выращивания огромного количества свежих и полезных сельскохозяйственных культур и тилипии, используя менее 10% воды, необходимой для традиционного сельского хозяйства (рис. 4) [16].



Рис. 4. Выращивание сельскохозяйственных культур и теляпии компанией Green Sky Farmers [16]

В городе Милуоки, находится городская ферма Уилла Аллена «Growing electricity». Аллен построил несколько теплиц с использованием технологий аквапоники для ежегодного выращивания более 4500 кг речных окуней и более 500 000 кг растительной продукции [16].

Также среди крупных производств можно упомянуть сельскохозяйственное предприятие ECF Farmsystems в г. Берлине, где в различных температурных секциях теплиц выращивают многочисленные овощные культуры, а резервуары для разведения теляпии занимают площадь свыше 2000 м²[16].

В России это направление начало своё развитие с 1984 г. И хотя разработками в данной области науки занимаются многочисленные научные центры, в России данный метод является не особо популярным. Так как промышленное выращивание рыбы и овощей в России методом аквапоники в

основном выгодно только для южных регионов — Астраханской и Ростовской областей, Краснодарского края и др. Так, методы аквапоники одобрены и успешно применены на базе осетровых хозяйств Краснодарского края и в условиях базы «Кагальник» ЮНЦ РАН (г. Ростов-на-Дону) [11].

2. БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В АКВАПОННОЙ СИСТЕМЕ

2.1. Азотный цикл

Наиболее важным биологическим процессом в аквапонике является процесс нитрификации, который является важным компонентом общего круговорота азота, наблюдаемого в природе. Азот (N) является химическим элементом и важным строительным материалом для всех форм жизни. Он присутствует во всех аминокислотах, из которых состоят белки, необходимые для многих ключевых биологических процессов у животных, таких как регуляция ферментов, передача сигналов клеткам и построение структур. Азот наиболее важное неорганическое питательное вещество для растений. В газообразной форме это наиболее распространённый элемент в атмосфере Земли. Его концентрация составляет около 78% её объёма. Однако, хотя азота много, он присутствует в атмосфере только в форме молекулярного азота (N_2), который представляет собой стабильную тройную связь атомов азота и недоступен для растений. Поэтому, азот в его форме N_2 необходимо заменить до того, как растения смогут использовать его для роста. Этот процесс называется азотфиксацией. Это часть азотного цикла, наблюдаемого во всей природе (рис. 5) [20].



Рис. 5. Схема азотного цикла в природе

Азотфиксации способствуют бактерии, которые химически изменяют N_2 . Бактерии используют водород и кислород для создания новые химических соединений, такие как аммиак (NH_3) и нитрат (NO_3^-), которые растения могут использовать для своего дальнейшего роста [20].

Подробнее рассмотрим схему азотного цикла. Животное, производит отходы, которые состоят из аммиака (NH_3). Другие разлагающиеся органические вещества, встречающиеся в природе, такие как мёртвые растения или животные, расщепляются грибами и различными группами бактерий до аммиака. Этот аммиак распадается с помощью определённой группы бактерий, которая очень важна для аквапоники - нитрифицирующими бактериями. Эти бактерии сначала преобразуют аммиак в нитритные соединения (NO_2^-) и затем, в нитратные соединения (NO_3^-). Растения способны использовать как аммиак, так и нитраты для своего роста, но нитраты легче усваиваются корнями (рис. 6) [20].

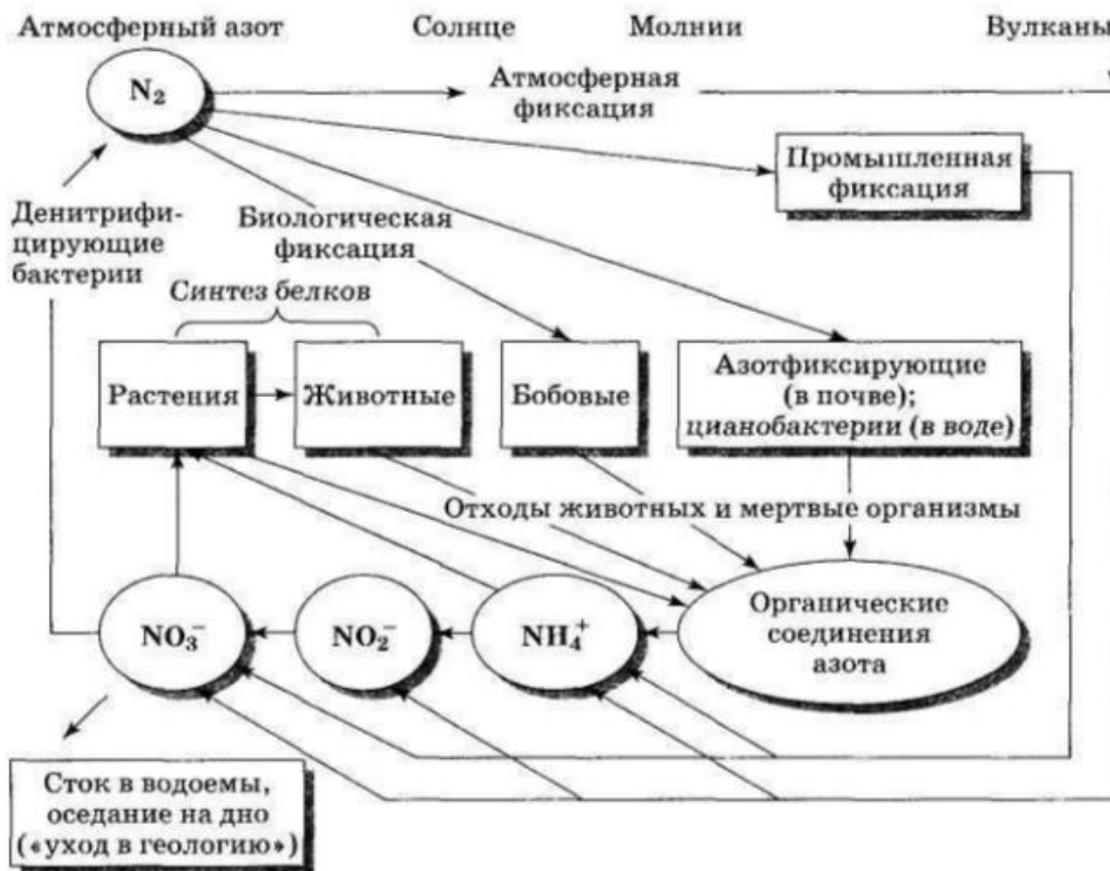


Рис. 6. Структурная схема азотного цикла в природе [14]

Нитрифицирующие бактерии, живущие в различных средах (почва, песок, вода и воздух) являются важной частью процесса нитрификации. В результате этого процесса отходы растительного и животного происхождения преобразуются в питательные вещества, доступные растениям. Этот естественный процесс нитрификации бактериями, происходящий в почве, точно так же как и в воде [20].

2.2. Нитрификация в аквапонной системе

Для аквапоники используются отходы жизнедеятельности водных организмов, выделяющиеся в резервуарах для культивирования. Те же нитрифицирующие бактерии, которые живут на суше, естественным образом поселяются и в воде или на любой влажной поверхности, превращая аммиак из отходов жизнедеятельности гидробионтов в нитрат для использования растениями. Нитрификация в аквапонных системах обеспечивает растения питательными веществами и устраняет токсичные аммиак и нитриты (рис. 7) [20].

Нитрифицирующие бактерии необходимы для общего функционирования аквапонной установки. В процессе нитрификации участвуют две основные группы нитрифицирующих бактерий:

- 1) Бактерии, окисляющие аммиак (АОВ);
- 2) бактерии, окисляющие нитриты (NOB).

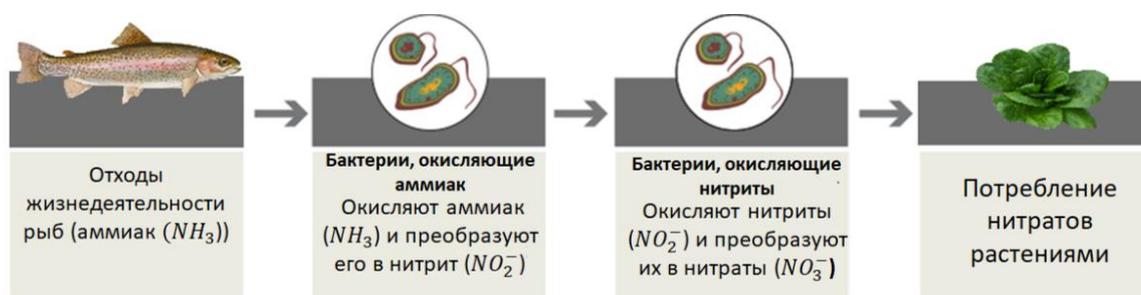


Рис. 7. Нитрификация в аквапонной установке [20]

Они усваивают аммиак в следующем порядке:

1. Бактерии АОВ преобразуют аммиак (NH_3) в нитриты (NO_2^-);
2. Бактерии NOB затем преобразуют нитриты (NO_2^-) в нитраты (NO_3^-).

Можно увидеть, что АОВ окисляет аммиак и образует нитрит (NO_2^-), а группа бактерий NOB дополнительно окисляют нитрит (NO_2^-) в нитрат (NO_3^-). Род *Nitrosomonas* является наиболее распространённым АОВ в аквапонике, а род *Nitrobacter* — наиболее распространённой группой бактерий, окисляющих нитриты. Таким образом, аквапонная система полностью зависит от нитрифицирующих бактерий. Если бактерии отсутствуют или они не функционируют должным образом, концентрация аммиака в воде возрастёт, что может привести к гибели рыб. Жизненно важно постоянно поддерживать здоровую бактериальную колонию в системе и управлять ею, чтобы поддерживать уровень аммиака ближе к нулю [20].

2.3. Питание растений

Одним из главных факторов хорошей работы аквапонной установки является поглощение растениями токсичных веществ, которые могут нанести вред гидробионтов. Поэтому подробно рассмотрим, как происходит питание растений

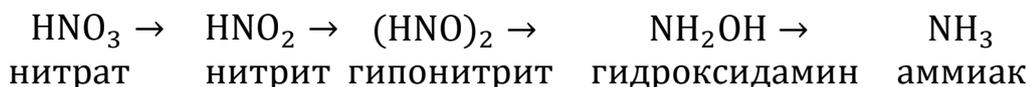
Фотосинтез — это основной процесс, который приводит к образованию органических веществ в растениях. Во время фотосинтеза солнечная энергия преобразуется в химическую энергию, которая затем используется для синтеза углеводов из углекислого газа и воды. На световой стадии фотосинтеза вода разлагается с выделением кислорода и образованием АТФ и восстановленных продуктов. Эти соединения участвуют на следующей темновой стадии синтеза углеводов и других органических соединений из CO_2 . При образовании простых углеводов суммарное уравнение фотосинтеза выглядит: $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + 2874 \text{кДж} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$ [13].

Синтез аминокислот, белков и других азотсодержащих органических соединений в растениях происходит за счёт минеральных соединений азота (а также фосфора и серы) и углеводов. На образование сложных органических веществ расходуется энергия, накопленная в виде макроэргических фосфатных связей АТФ в процессе фотосинтеза и

высвобождаемая при окислении ранее образовавшихся органических соединений. Интенсивность фотосинтеза и накопление сухого вещества зависят от освещения, содержания углекислого газа в воздухе, обеспеченности растений водой и минеральными питательными веществами.

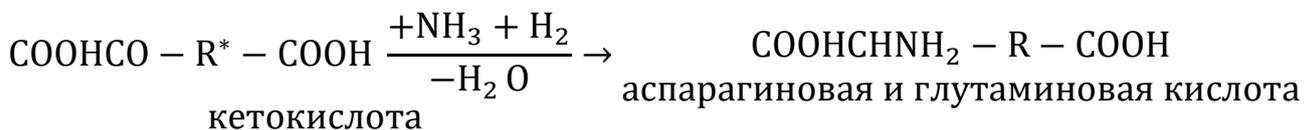
Азотистые и химические (зольные) элементы поглощаются из почвы корневой системой растений в виде ионов (анионов и катионов). Таким образом, азот может быть поглощён в форме аниона (NO_3^-) и катиона NH_4^+ , фосфор и сера — в виде анионов фосфорной и серной кислот — H_2PO_4^- и SO_2^{2-} , калий, кальций, магний, натрий, железо — в виде катионов K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{3+} , а микроэлементы — в виде соответствующих анионов или катионов [13].

Условия питания растений имеют большое значение для увеличения общего урожая и улучшения его качества. В результате повышенного азотного питания увеличивается относительное содержание белка в растениях. Азот входит в состав белков, ферментов, нуклеиновых кислот, хлорофилла, витаминов, алкалоидов. Основным источником азота для растений являются соли азотной кислоты (нитраты) и соли аммония. Потребление азота растениями происходит за счёт поглощения ими аниона NO_3^- и катиона NH_4^+ . Синтез органических азотистых соединений происходит с помощью аммиака, когда завершается его образование, происходит их распад. Нитратный азот не может быть использован растениями для синтеза аминокислот. Нитраты в растениях подвергаются ферментативному восстановлению до аммиака:



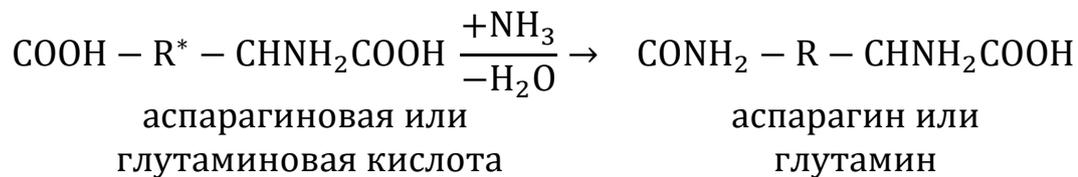
Восстановление нитратов происходит при участии ферментов, и требуется много энергии, которая образуется в растениях в процессе фотосинтеза и окисления углеводов. Количество нитратов уменьшается, поскольку образующийся аммиак используется для синтеза органических азотистых соединений [13].

Основной метод образования аминокислот — аминирование органических кетокислот. Аммиачный азот, образующийся в результате восстановления нитратов, сначала присоединяется к кетокислоте (щавелево-уксусной, кетоглутаровой или фумаровой), образуя при этом аспарагиновую или глутаминовую аминокислоты [13].



*R-группы — CH_2 или $-\text{CH}_2 - \text{CH}_2 -$ соответственно у аспарагиновой (щавелево-уксусной) или глутаминовой (кетоглутаровой) кислот.

В метаболизме азота и углеводном обмене растений важную роль играют реакции дезаминирования аминокислот, то есть отщепление аминогруппы аминокислот с образованием аммиака и соответствующей кетокислоты. Полученный аммиак снова используется для аминирования кетокислот, а получившаяся кетокислота включается в цикл преобразования углеводов. В результате добавления новой молекулы аммиака к аспарагиновой (или глутаминовой) кислоте образуются амиды (аспарагин или глутамин) [13].



Биосинтез белка происходит с участием нуклеиновых кислот, являющихся матрицей, в которой аминокислоты соединяются, образуя множество белковых молекул. В процессе роста и развития в растениях постоянно синтезируется большое количество различных белков. Биосинтез белка требует большого количества энергии. Его основными источниками в растениях являются фотосинтез и дыхание. Наряду с синтезом в растениях происходит распад белков на аминокислоты. В молодых растущих органах и растениях синтез белков превышает распад, по мере старения процессы расщепления активизируются и начинают преобладать над синтезом [13].

На разных этапах роста и развития растений процесс обмена азотистых веществ неодинаков. Когда семена прорастают, запасные белки в эндосперме или семядолях разрушаются, и продукты гидролиза используются для образования белков. После формирования фотосинтезирующего листового аппарата и корневой системы питание растений и синтез белков осуществляются за счёт минерального азота, поглощаемого почвой. Наиболее интенсивное поглощение и усвоение растениями азота из окружающей среды происходит в период максимального роста и образования вегетативных органов — стеблей и листьев. Из стареющих частей растения, в которых преобладают процессы распада белка, продукты его гидролиза переходят в интенсивно растущие молодые органы. При образовании семян белковые вещества вегетативных частей растения гидролизуются, и образующиеся продукты поступают в репродуктивные органы, где они снова используются для синтеза белка. В это время потребление растениями азота из почвы ограничено или почти завершено [13].

2.4. Роль азота для роста растений

Дефицит азота существенно влияет на развитие вегетативных органов. Слабое формирование фотосинтетического аппарата листьев и стеблей из-за недостатка азота ограничивает формирование репродуктивных органов, что может привести к снижению урожайности и снижению количества белка в продукции. Характерным признаком недостатка азота является хлороз — появление бледно-зелёной или жёлто-зелёной окраски листьев из-за нарушения образования хлорофилла. Азотное голодание проявляется сначала у нижних листьев.

При длительном недостатке азота бледно-зелёный цвет листьев растений меняется на различные оттенки жёлтого, оранжевого и красного, в дальнейшем поражённые листья быстро засыхают и отмирают. При нормальном поступлении азота листья становятся темно-зелёными, растения разрастаются, формируют мощный ассимиляционный стеблево-листовой

аппарат, а затем и полноценные репродуктивные органы. Чрезмерное поступление азота к растениям может замедлить их развитие и ухудшить структуру урожая [13].

2.5. Роль азота для роста растений

Фосфор играет важную роль в процессах энергообмена в растительных организмах. Энергия солнечного света во время фотосинтеза и энергия, выделяемая во время дыхания, накапливаются в растениях в виде энергии фосфатных связей в макроэргических соединениях. Наиболее важным макроэргическим соединением является аденозинтрифосфорная кислота (АТФ). Энергия, накапливаемая в АТФ во время фотосинтеза и дыхания, используется для всех жизненно важных процессов роста и развития растения. При недостатке фосфора в растениях нарушается энергетический и сырьевой обмен. Дефицит фосфора оказывает негативное влияние на генетический состав растений. Его недостатки замедляют рост и задерживают созревание, что приводит к снижению урожайности и ухудшению качества. Растения с дефицитом фосфора замедляют свой рост, листья становятся серыми, пурпурными или красновато-фиолетовыми. Эти признаки можно увидеть на ранних стадиях развития растения. На этой стадии развития растение все ещё имеет слабую корневую систему, которая не может поглощать фосфаты, растворенные в твёрдой почве. Снабжение растений фосфором ускоряет их развитие и позволяет получать ранний урожай, одновременно улучшая качество продукции [13].

2.6. Рекомендации для аквапонных систем

Для того чтобы аквапонная установка функционировала должным образом, необходимо следовать следующим рекомендациям [19]:

1. Использование кормового коэффициента для проектных расчётов

В правильно спроектированной и сбалансированной системе аквапоники соотношение между рыбой и растениями зависит от

соотношения норм кормления. Кормовой коэффициент — это количество корма, которое получает гидробионт на квадратный метр площади выращивания растений в день. Оптимальная норма для интенсивной гидропонной системы составляет от 60 до 100 г/м² в день. Оптимальное соотношение питательных веществ зависит от многих факторов, таких как вид гидропонной системы, выращиваемые растения, химический состав исходной воды и процент воды, потерянной системой при удалении твёрдых частиц. Оптимальное соотношение кормления для гидропонной системы с питательной плёнкой составляет примерно 25 % от соотношения, используемого для плотной системы.

2. Постоянный ввод корма

Есть два метода поддержания подачи корма в аквапонную систему относительно постоянным. Один из методов включает использование нескольких бассейнов для выращивания рыбы и поэтапное производство. Аквапонная система имеет несколько резервуаров для выращивания гидробионтов. Рыба в каждом бассейне находится на разных стадиях роста. Когда бассейн вылавливается и снова пополняется мальками, общий ввод корма в систему падает на 25–30%, а затем постепенно увеличивается до максимального поступления. Хотя потребление корма и уровень питательных веществ колеблются, эти колебания умеренные. При наличии только одного бассейна для выращивания рыбы в системе аквапоники после вылова и пополнения запасов количество корма снизится на 90% и постепенно увеличится до максимального значения в течение нескольких недель. Уровни питательных веществ будут низкими при посадке и чрезмерными при сборе урожая, что приведёт к снижению производительности растений.

Ещё один метод поддерживать относительно постоянное потребление корма — заселить один бассейн для выращивания рыбы группами разного размера. Каждый месяц в нём можно будет удалить самую крупную рыбу. Равное количество молоди будет пополняться после каждого частичного

вылова. Скорость кормления будет колебаться умеренно в течение каждого месячного цикла. Эта система очень консервативна в отношении пространства и снижает капитальные затраты, но у неё есть недостатки. Ежемесячная сортировка всей популяции рыб тяжела для рыб и может вызвать гибель гидробионтов.

3. Дополнительное внесение калия, кальция и железа в аквапонную установку

Растениям для роста требуется 13 питательных веществ, а корм для рыб поставляет в достаточном количестве 10 питательных веществ. Однако уровни кальция, калия и железа в системе, как правило, слишком низки для хорошего роста растений и должны быть дополнены. В аквапонную систему кальций и калий дополняются путём добавления основных соединений (гидроксида кальция и гидроксида калия) для регулирования pH. Железо добавляется в виде хелатированного соединения, в котором железо присоединено к органической структуре, которая предотвращает его выпадение в осадок из раствора.

4. Высокий уровень кислорода

Рыбам, растениям и бактериям в аквапонных системах требуется достаточное количество растворенного кислорода для нормального самочувствия и роста. Концентрация растворенного кислорода для гидробионтов и растений должна быть не менее 7 мг/л. Важно следить за состоянием нитрифицирующих бактерий, которые преобразуют токсичные уровни аммиака и нитрита в нетоксичные нитрат-ионы. Род бактерий (*Nitrosomonas*) превращает аммиак в нитриты, а род бактерий (*Nitrobacter*) превращает нитриты в нитраты. Кислород необходим для этих химических превращений, и весь этот процесс называется нитрификация.

5. Удаление твёрдых частиц корма

Приблизительно 25% корма, даваемого рыбам, выводится из организма в виде твёрдых отходов в пересчёте на сухую массу. Однако влажная масса твёрдых отходов значительно больше. Целесообразно удалять отходы путём

фильтрации или отстаивания до того, как он попадёт в гидропонный компонент. Если твёрдые частицы не удалять, они будут прилипать к корням растений, снижать уровень кислорода по мере их разложения и влиять на поглощение воды и питательных веществ. Избыток твёрдых веществ также окажет неблагоприятное воздействие на нитрифицирующие бактерии. Кроме того, при разложении данных веществ потребляется кислород и образуется аммиак.

6. Использование правильного наполнителя

Наполнители, такие как мелкий гравий, песок и перлит, являются отличной средой для выращивания растений в гидропонных системах. Однако твёрдые органические вещества, образующиеся в аквапонных системах, могут забивать наполнители и прекращать поток воды. Вода не будет течь через забитые участки, которые станут анаэробными (без кислорода) по мере разложения органики, убивая тем самым корни растений.

7. Использование труб правильного размера

Использование трубы большего размера уменьшает воздействие биологического обрастания. Высокий уровень растворенного органического вещества в аквапонных системах способствует росту нитчатых бактерий внутри труб и ограничивает поток воды. Трубы, расположенные ниже по потоку от компонента для удаления твёрдых частиц и биофильтра, с меньшей вероятностью засоряются, поскольку растворенные органические вещества удаляются или уменьшаются за счёт биологической активности в биофильтре. Более низкие температуры воды также уменьшают биообрастание.

8. Биологический контроль

Пестициды нельзя использовать для борьбы с насекомыми и болезнями растений в аквапонных системах, поскольку большинство из них вредны для рыбы, и ни один не одобрен для использования в рыбоводстве. Точно так же большинство препаратов для лечения паразитов и болезней рыб не следует использовать, поскольку они могут нанести вред полезным бактериям, а

также растения могут их поглотить. Биологические методы борьбы являются единственным способом борьбы с насекомыми и болезнями. Биологический контроль является предметом интенсивных исследований, и становятся доступными новые методы. Использование выносливых видов рыб и лучшие методы управления предотвращают заболевания гидробионтов и проблемы с паразитами.

9. Хорошая биофильтрация

После удаления твёрдых частиц следующим этапом очистки системы является биофильтрация или окисление аммиака до нитрата нитрифицирующими бактериями. В замкнутой системе биофильтрация происходит в гидропонном компоненте. Фактически, при сохранении оптимального соотношения скоростей подачи возникает избыточная мощность водоочистки. В аквапонных системах, использующих технику питательной плёнки, гидропонный компонент имеет меньшую площадь поверхности для прикрепления нитрифицирующих бактерий, и необходим биофильтр. Биофильтры используются в аквапонных системах с рыбой, которой требуется отличное качество воды.

10. Контроль уровня pH

pH называют основной переменной, поскольку она контролирует многие другие переменные качества воды. Одним из наиболее важных переменных является процесс нитрификации. Нитрификация более эффективна при pH 7,5 или выше и практически прекращается при значениях pH менее 6,0. Нитрификация — это процесс образования кислоты, который постоянно снижает pH. Поэтому необходимо ежедневно измерять pH и добавлять основание (гидроксид кальция и гидроксид калия) для нейтрализации кислоты. Водородный показатель также влияет на растворимость питательных веществ. Оптимальный уровень pH для растворимости питательных веществ составляет 6,5. Необходимо найти компромисс между нитрификацией и растворимостью питательных веществ, и поэтому в аквапонной системе рекомендуется поддерживать уровень pH

равный 7,0. При высоком уровне рН питательные вещества выпадают в осадок из раствора, растениям не хватает их, в результате чего рост и продуктивность снижаются. Если уровень рН слишком низкий, аммиак накапливается до уровня, токсичного для рыб, и выделяет в осадок другие питательные вещества из раствора, оказывая при этом негативное воздействие на рост и продуктивность растений. Оптимальное значение рН для аквапонной установки составляет 7,0 (Таблица 1).

Таблица 1.

Зависимость доступности элементов для растений от рН среды [19]

Элементы	рН среды					
	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5
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

3. ОПИСАНИЕ ОБЪЕКТА АКВАКУЛЬТУРЫ И ГИДРОПОНИКИ

3.1. Биологическая характеристика радужной форели

3.1.1. Систематика

Царство: Животные (*Animalia*)

Тип: Хордовые (*Chordata*)

Класс: Лучепёрые рыбы (*Actinopterygii*)

Отряд: Лососеобразные (*Salmoniformes*)

Семейство: Лососевые (*Salmonidae*)

Род: Тихоокеанские лососи (*Oncorhynchus*)

Вид: Микижа или Радужная форель (*Oncorhynchus mykiss*)

До недавнего времени систематики идентифицировали представителей рода *Salmo* (благородные лососи) в бассейне Тихого океана, хотя большинство лососей в этом бассейне принадлежат к роду *Oncorhynchus* (тихоокеанские лососи). В период с XIX – начала XX века американские ихтиологи описали около 30 видов форелей, принадлежащих к роду *Salmo*. К концу XX века систематики принимали в Тихом океане только 2-3 вида рода *Salmo*. На Камчатке был описан вид *Salmo mykiss*, проходная форма, которого называется камчатской сёмгой, а жилая форма — микижей. Другой вид *Salmo gairdneri* проходная форма, которого называется стальноголовый лосось, а жилая - радужной форелью, был замечен на тихоокеанском побережье Америки. Ранее жилая форма — радужная форель — считалась отдельным видом - *S. irideus*. Именно эта радужная форель стала основным объектом разведения во всем мире [10].

К концу XX века многие систематики начали полагать, что камчатская сёмга и стальноголовый лосось относятся к одному виду. Согласно таксономическому правилу, этому виду было присвоено более раннее название — *S. mykiss* — микижа. В последнее время утвердилось мнение, что этот вид относится не к роду *Salmo*, а к роду тихоокеанских лососей —

Oncorhynchus, то есть является разновидностью *Oncorhynchus mykiss*. Это указано в последних списках промысловых видов рыб Всемирной продовольственной организации ООН (ФАО) [10].

3.1.2. Морфология

Oncorhynchus mykiss имеет обтекаемое тело, сжатое с боков, с жировым плавником. Средняя длина составляет 30-45 см. Имеет удлинённое тело с умеренно большой головой и ртом, который располагается позади глаз. Хвостовой плавник выемчатый. Окраска варьируется в зависимости от среды обитания, размера и пола. Форель имеет серебристый внешний вид, обычно с темно-зелёной окраской спины и с серебристо-белым брюшком. Глаза имеют оливковый или бронзовый оттенок [30].

Взрослая особь имеет вдоль боковой линии широкую полосу от фиолетового до ярко оранжевого цвета, которая в особенности выделяется у самцов во время нереста. На теле и на плавниках выделяются многочисленные тёмные пятнышки (рис. 8).

В период нереста боковая линия у самцов становится гораздо ярче, чем у самок. Тело рыбы приобретает более тёмную окраску. Брюхо и нижняя часть боков становятся дымчато-серыми, а пятна на боках и верхних плавниках становятся чётко очерченными. У самки на теле появляются дополнительные краски с фиолетовыми оттенками. В любое другое время отличить самцов от самок практически невозможно [10].

Молодые особи имеют оливково-зелёную окраску на спине и серебристо-оливковую окраску высоко по бокам. По бокам есть 8-13 овальных отметин, на которых также могут быть более мелкие тёмные пятна. Розово-жёлтые отметины расположены вдоль боковых линий между овальными отметинами. По мере роста молодь приобретает взрослую окраску [30].



Рис. 8. Радужная форель [15]

3.1.3. Ареал обитания

Эндемичный ареал обитания – Восточная часть Тихого океана и пресноводные водоёмы, главным образом к западу от Скалистых гор, от северо-запада Мексики (включая крайнюю северную часть Баха, Калифорния) до реки Кускоквим на Аляске. Скорее всего, вид произрастает в стоках рек Пис и Атабаска к востоку от Скалистых гор [25].

Вид *Oncorhynchus mykiss* интродуцирован по всему миру; во все умеренные и субарктические районы мира, за исключением Антарктиды, он ограничен местностями выше 1200 м в тропических районах. Этот вид распространён по всей Европе и встречается как в реках, так и во фьордах и прибрежных водах. В настоящее время вид встречается в Японии, Австралии, Тасмании, Новой Зеландии, Южной Африке, Мадагаскаре и Германии [15]. В Европу данный вид завезён в 1880г., в Россию около 1895г [24].

В Азии вид распространён в основном в водах Камчатки, отдельные особи встречаются в водах материкового побережья Охотского моря, Амурском лимане к югу к югу от устья Амура и на Командорских островах.

На острове Большой Шантар, входящий в состав Шантарского архипелага, расположенный в акватории Охотского моря, является местом обитания реликтовой популяции. В отечественных источниках жилую форму радужной форели называют микижей, а проходную - камчатской сёмгой.

Проходная форма обитает в тундровых реках на западном побережье Камчатки, она так же может встречаться в небольших количествах в некоторых реках восточного побережья. Жилая форма повсеместно распространена на Камчатке, достигая своей максимальной численности в водоёмах восточного побережья [4,5].

Обитает в следующих реках Камчатки: Большая, Быстрая, Тигиль, Камчатка. Круглый год встречается и в нижнем, и верхнем течении рек, но отдельные особи могут временно спускаться в приустьевые районы моря (рис. 9) [7].

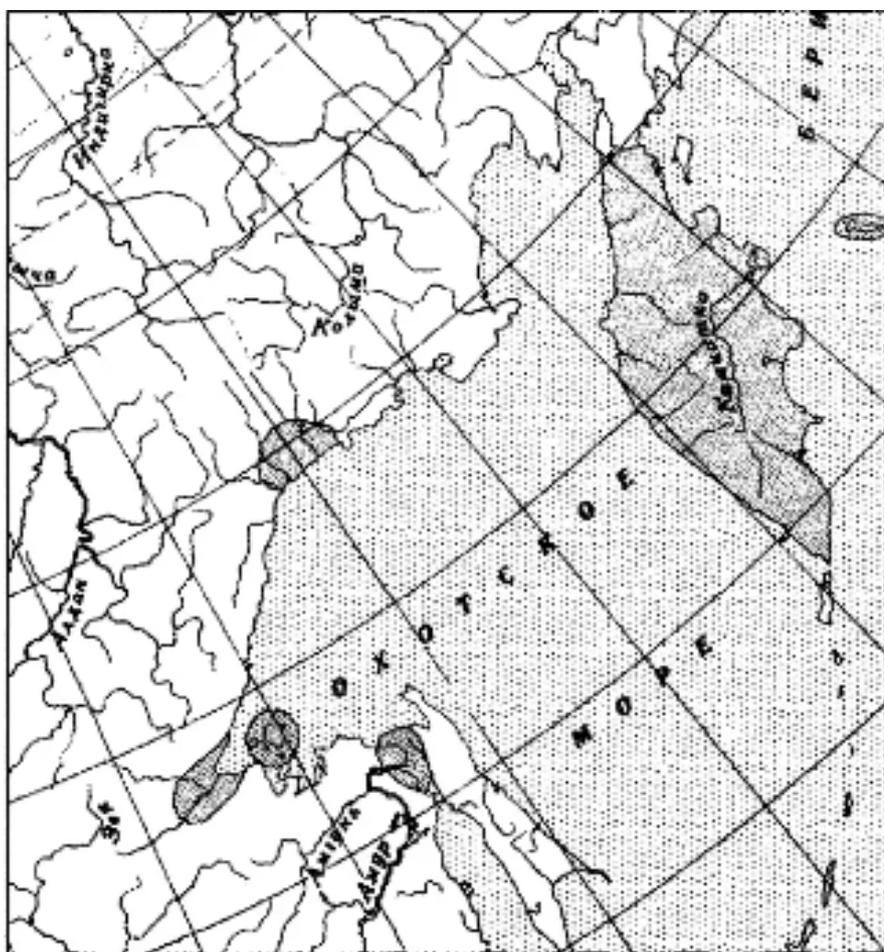


Рис. 9. Ареал радужной форели на территории Российской Федерации [5]

3.1.4. Условия обитания и жизненный цикл

Этот вид предпочитает хорошо насыщенную кислородом чистую пресную воду. Оптимальная температура для роста 17°C , предпочтительна температура для нереста около 12°C , для развития икры $6-12^{\circ}\text{C}$, для

содержания личинок и молоди 14-16°C, для взрослых особей 14-18°C. Может выдерживать температуры в диапазоне от 0°C до 25°C. Если температура воды становится выше 20–22°C, то *Oncorhynchus mykiss* перестаёт питаться, если же происходит её снижение ниже оптимального значения, то рацион питания форели также сокращается. Её зимовка происходит в пресноводном водоёме, может выдержать температуру, близкую к нулю [17].

Радужная форель обитает в водоёмах, в которых содержание растворенного кислорода равно 7–8 мг/л. Концентрация 3,5–6 мг/л угнетает форель, при 1,5 мг/л форель погибает. Активная реакция среды (рН) должна быть близка к нейтральной в пределах 6.5–8.5. Форель обладает отрицательным фототаксисом, при возможности прячется в тень, под камни, коряги, уходит в глубокие места. В естественной среде обитания она активна в пасмурные дни, вечером и утром. При этом форель держится ближе к поверхности воды, так как наполнение плавательного пузыря воздухом у неё происходит путём захвата его из атмосферы. Взрослая форель является хищником. Она питается мелкими рыбами, лягушками, птенцами птиц, грызунами. Иногда может поедать собственную молодь. Так же может использовать в рационе питания гаммарусов, моллюсков, личинок и взрослых насекомых [17].

Половая зрелость у самок наступает в 3–4 года. Самцы созревают на год раньше самок. Общая продолжительность жизни составляет 11 лет. Нерест проходит в период с марта по май в верховьях рек и ручьёв, на мелководных участках с быстрым течением на каменисто-галечном грунте. Самка вымётывает от 1,5 до 9 тыс. икринок желтовато-оранжевого цвета. Икра крупная, её диаметр составляет 3–6 мм, а её масса колеблется от 40 до 125 мг. Икра развивается примерно 1,5–2 месяца [17].

3.2. Выращивание радужной форели на рыбоводных хозяйствах

Современное форелеводство – это высокоинтенсивная форма индустриального хозяйства, основанная на выращивании рыбы в

уплотнённых посадках с использованием гранулированных кормов и благоприятных условиях окружающей среды. Основным объектом выращивания в форелеводстве на территории Российской Федерации является радужная форель, благодаря высоким продуктивным качествам и способностью быстро приспосабливаться к условиям окружающей среды.

Уровень развития производственных процессов в форелеводстве определяется кратностью водообмена в рыбоводных ёмкостях, качеством используемых кормов, способами кормления, степенью механизации труда при выращивании групп форели разного возраста

Исключая этап инкубации икры выращивание радужной форели в условиях замкнутого водоснабжения можно выделить следующие этапы:

1. Выращивание личинок
2. Выращивание мальков
3. Выращивание товарной рыбы

Первый этап продолжается в течение 110-120 суток. Выклев эмбрионов происходит в инкубационном ящике в течение 6-10 дней. Перед вылуплением эмбрионы постепенно движутся (вращаются) все более интенсивно. Выклев икры, взятой от разных самок, но оплодотворённой в один период времени, может произойти в разное время. Разница может достигать 2-3 суток [2].

Предличинки появляются с желточным мешком, из которого они питаются до перехода на внешнее питание. Желточный мешок может составлять от $2/3$ до $3/4$ общего веса личинки. Выклюнувшиеся предличинки остаются лежать на дне инкубационного аппарата. Во время выклева предличинок с поверхности воды следует удалять пустые оболочки от икринок, мёртвых личинок, плавающий жир и капли масла. Важно не подвергать развивающихся личинок воздействию света, из-за того, что личинки будут пытаться спрятаться друг под другом от света, может привести к их гибели. В это время личинки чувствительны к химическим

веществам, включая формалин, поэтому чистая среда выращивания является единственным вариантом профилактики [2].

Во время своего развития личинки постепенно потребляют свой желточный мешок и переходят на внешнее питание. При рассасывании желточного мешка на 50 % у них возникает потребность в дополнительном питании. Также начинается их адаптация к свету и к корму. Они начинают двигаться и, в дальнейшем, поднимаются на поверхность воды для заглатывания атмосферного воздуха. Переход на внешнее питание начинается ещё до того момента, как желточный мешок будет полностью израсходован. Внутреннее и внешнее питание обеспечивает поступление питательных веществ к растущим личинкам до тех пор, пока они не смогут прокормить себя сами. К тому времени, когда желточный мешок будет полностью использован, личинки переходят на питание из внешней среды [2].

Для кормления используются самые мелкие фракции стартового форелевого корма, крупку с размером частиц 0,4-0,5 мм. Момент начала кормления, наступает тогда, когда личинки начинают регулярно подниматься со дна. Кормят личинок 12-24 раз в день. Для этого следует применять автоматические кормушки [8].

Для выращивания личинок, которые полностью поднялись наплав и достигли веса 0,2-0,3 г, используют прямоточные бассейны. При поднятии личинок наплав применяют сухой гранулированный корм с размером гранулы 0,4-0,6 мм. Для профилактики заболеваний следует периодически проводить мероприятия, направленные против появления эктопаразитов и бактериальных инфекций [17].

После рассасывания желточного мешка молодь переходит на внешнее питание. Наступает мальковый период. В этот период, мальки переводят в прямоточные прямоугольные бассейны для содержания молоди. При выращивании молоди оптимальная температура воды 14-18°C, содержание кислорода не ниже 7 мг/л. Плотность посадки определяется в зависимости от

массы тела: до массы тела 1 г – 10 тыс. шт/м² при уровне воды до 4 м. При выращивании молоди массой от 1 до 3-4 г плотность посадки должна быть снижена до 3 тыс. шт/м³ если уровень воды 0,4 м [16].

Выращивание форели до массы 50 г проводят в бассейнах площадью 3-4 м² с уровнем воды 0,3-0,8 м. Плотность посадки может быть увеличена от 20 (при массе 1 г) до 60 (при массе 50 г) кг/м³. При хорошем качестве кормов молодь достигает средней массы 50 г за 3-4 месяца. Выживаемость 90%. Выращивание форели от 50 до 500 г и выше осуществляют в бассейнах площадью до 16 м². Начальная плотность посадки в бассейнах - 20-25 кг/м³, конечная - до 90 кг/м³ [17].

3.3. Органик-продукты в аквапонике

Органик-продукты представляют собой принципиально новый способ производства. При производстве такой продукции главным является экологическая безопасность продукции, окружающей среды, технологий и оборудования. Органические продукты должны быть без каких-либо добавок, которые в дальнейшем могут вызывать заболевания. Основные принципы производства органических продуктов:

- Выращивание продукции в экологически чистых районах;
- Почву не удобряют азотными удобрениями в течение 5 лет до момента выращивания органических продуктов;
- Экологически чистая продукция от пестицидов и азотных удобрений;
- Не значительное загрязнение окружающей среды.

Аквапоника — это совместное выращивание аквакультуры и гидропонии. Толчком к её развитию послужил экологический прогресс, так как в настоящее время возрос интерес общества к экологически чистым продуктам. Изначально выращиваемые культуры растений были второстепенным продуктом аквапонии, так как основным объектом

выращивания являлись гидробионты. Но сейчас, из-за того, что потребитель больше отдаёт предпочтение экологически чистым органическим продуктам, рыба и растения стали иметь одинаковое значение в аквапонике

Основное отличие аквапонике от традиционного способа выращивания растений заключается в том, что этот органический метод совместного выращивания растений и гидробионтов позволяющий полностью исключить химические растворы (фосфорсодержащие и азотные удобрения) из технологии выращивания растений [9].

В России внедрение аквапонике в сельское хозяйство ограничивается небольшими экспериментальными установками в рамках местных исследований. Например, на базе осетровых хозяйств Краснодарского края и в условиях базы «Кагальник» ЮНЦ РАН (г. Ростов-на-Дону) с 2016 года функционирует аквапонная система. Объектом выращивания являются три вида рыб: щука, судак и пиленгас [11]. Объектом гидропонике являются, такие травы как петрушка, базилик, укроп, кориандр и сладкий перец.

В Республике Казахстан в Жамбылской области не так давно начало работу хозяйство тепличного аквапонного типа. Площадь теплицы составляет полгектара, при соблюдении оптимальных условий хозяйство может иметь органически чистую продукцию в объёме 300 т салатных культур и 40 т тилипии [23].

Со временем аквапонная система, вероятно, получит широкое применение и будет способствовать развитию сельского хозяйства по всему миру. В такой системе не используются азотные удобрения, поскольку они вредны для бактерий и гидробионтов, при этом, позволяя производить органические продукты высокого качества для питания человека. Ограничена необходимость использования большого количества химических веществ, требующих особых условий хранения, и их применение. Только в случае редкой необходимости применяется минимально дозированная подкормка растений. Так как в системе не используются азотные удобрения и химикаты,

спрос на органические культуры имеет высокий потенциал и неиспользованное пространство для новых аквапонных ферм.

3.4. Гидропоника

Гидропоника в настоящее время является наиболее часто используемым названием процесса выращивания растений без почвы. Первоначальная форма гидропоники заключалась в непосредственном контакте корней растений с питательным раствором. Слово «Гидропоника» было введено доктором В. Ф. Герике в 1936 г. для описания выращивания как съедобных, так и декоративных растений в растворе воды и растворенных питательных веществ. Оно образовано от двух греческих слов: *hudor*, означающее воду, и *ponos*, означающее работу. Гидропоника — универсальная наука, и имеется много способов её реализации. Общим фактором во всех видах гидропоники является то, что растения растут в среде, которая не содержит питательных веществ, но обеспечивает питательным раствором, содержащим все необходимые элементы для хорошего роста растений [9].

Главное преимущество гидропоники повсеместность и эффективность. Данная система позволяет выращивать продукцию, везде, где может быть реализована контролируемая среда. К другим преимуществам относится тот факт, что на ограниченной площади можно выращивать в два-три раза больше продукции, у которой более высокие темпы роста, по сравнению с традиционным выращиванием сельскохозяйственных культур. Что касается недостатков, то для установки гидропонной установки требуются определённые усилия и затраты [9]. Но главным недостатком гидропоники является загрязнение окружающей среды. Если остаточные питательные растворы не утилизируются должным образом, то сливаемый раствор, обогащённый фосфором и нитратами, может вызвать чрезмерный рост водорослей и других микроорганизмов в водоёмах и сточных водах, создавая серьёзные экологические проблемы [29].

3.4.1. Объекты гидропоники

В аквапонной установке можно выращивать разные культуры растений. Одним из критериев выбора культуры является её ценность для человека. Также выбранное растение должно хорошо себя чувствовать тех в условиях, в которых содержится форель. Рассмотрим более подробно, какую стоит выбрать культуру растений для выращивания в аквапонной системе.

На ранней стадии аквапоники считалось, что выбор растений ограничивается только листовыми культурами, такими как листовые салаты, базилик, шпинат, мята, петрушка, укроп. Однако многие виды растений можно выращивать в системе аквапоники, например, помидоры, огурцы, дыни, перец и другие плодовые культуры. В коммерческих же целях производители делают выбор в пользу культур, у которых небольшой период созревания и большой объем продукции. Чаще всего наиболее прибыльными растениями являются салат и зелень из-за стабильной потребности растения в питательных веществах, высокой скорости роста и потребительского спроса.

Рассмотрим выращивание культуры растений в аквапонной установке на примере шпината.

Низкая потребность в питательных веществах и прохладной среде делают шпинат хорошим выбором при совместном выращивании с радужной форелью. Для данной культуры растений требуется около 40-50 дней от посева до сбора урожая. Но в аквапонных системах, способствующих быстрому росту, он может быть готов к сбору урожая всего за 35 дней. Шпинат – это культура для прохладной погоды, которая лучше всего прорастает при температуре от 7°C до 23°C, более высокие температуры приводят к снижению скорости прорастания. Также слишком много солнечного света может вызвать увядание и последующую горечь урожая. Уровень pH при выращивании шпината должен быть в пределах 6,0-7,0 [32].

Указания к количеству микроэлементов в питательном растворе для выращивания шпината [6]:

- Концентрация фосфора 70 мг/л
- Концентрация азота 300мг/л
- Концентрация калия 150 мг/л
- Концентрация магния 50 мг/л
- Концентрация кальция 300 мг/л
- Соотношение нитратного и аммонийного азота 4:1

Так как шпинат имеет более короткие корни, ему не нужна глубокая грядка, что делает его идеальным для аквапоники с использованием питательной плёнки и плотов [22].

Техника питательной плёнки (рис. 10) — распространённый метод гидропонного производства.



Рис. 10. Выращивание шпината по техники питательной плёнки [22]

Этот метод аналогичен плавающей корневой системе, за исключением того, что корни растений погружаются не полностью в питательный раствор, а в поток жидкости, протекающий по системе трубопроводов. В большинство труб подаётся непрерывная подача питательного раствора со скоростью 1 л/мин. Хотя техника питательной плёнки требует меньше питательного раствора, чем плавающая платформа, для её работы требуется дополнительная энергия и компоненты. Избыток раствора возвращается в резервуар для хранения самотёком, а подача питательного раствора может быть непрерывной или периодической [22, 29].

Также в промышленном производстве используют систему плавающих платформ (плотов). Растения закрепляются на платформе из пенополистирола в посадочных капсулах, плавающей на поверхности питательного раствора. Корни постоянно находятся в ёмкость с жидкостью, и из-за этого раствор нуждается в регулярной аэрации [22]. Данная система эффективна при выращивании небольших растений, потребляющих большое количество жидкости (шпината).

Также можно выращивать свой собственный корм для рыб, чтобы давать их в качестве добавки. Лучше всего для такого выращивания использовать ряску. Ряска – быстрорастущее водное растение, которое каждый день удваивает свою массу. Оно состоит из 40% белка. Её следует держать в отдельной ёмкости от рыб.

3.4.2. Системные методы гидропоники в аквапонной установке

Рассмотрим более подробно методы гидропоники в аквапонной системе [1, 28]:

1. Система затопления и слива

Широко известным и наиболее применяемым является метод затопления и слива (рис. 11). При этом культура выращивается в лотках, а раствор специальным насосом подаётся в лоток, а затем сливается снова в

приёмный резервуар, для осушения корней. Процесс осушения корней проводится с целью аэрации и избежания загнивания.

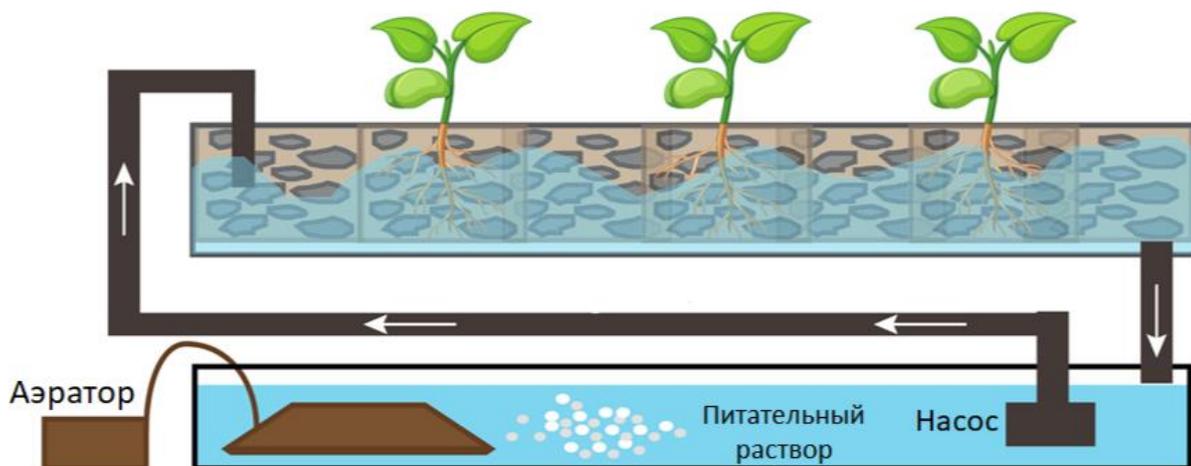


Рис. 11. Схема системы затопления и слива [29]

2. Система плавающей платформы

Суть системы в том, что культуру растений выращивают на платформе, на дне которой постоянно циркулирует питательный раствор (рис. 12). Замена питательного раствора технологической водой замкнутой установки не ухудшает условий выращивания, как растений, так и рыбы. Тонкий слой раствора хорошо насыщается кислородом. Эта технология гидропоники наиболее полно сочетается с технологией выращивания рыбы в замкнутой установке.

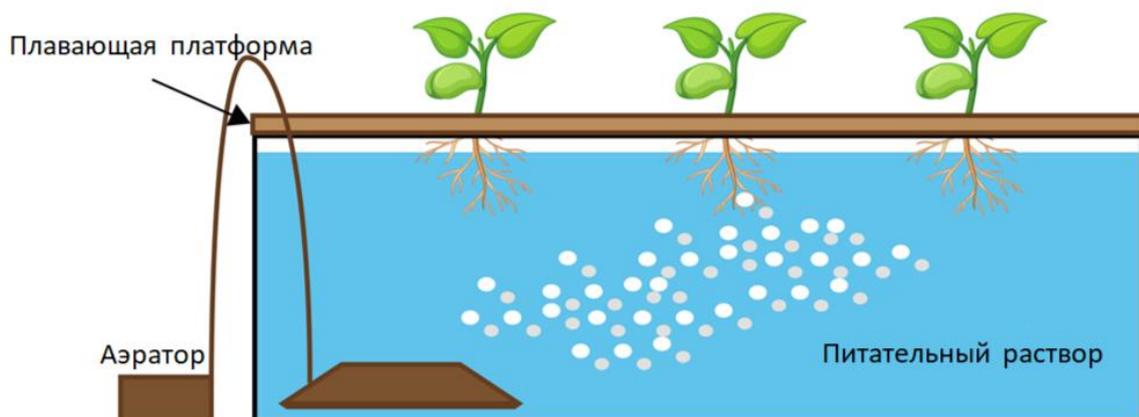


Рис. 12. Схема системы плавающей платформы [29]

3. Система питательного слоя

Благодаря этой системе растения выращиваются на грядке, состоящей из питательных сред (рис. 13). Грядка может быть горизонтальной или вертикальной. Её можно расположить над или под бассейном. Чаще всего можно увидеть горизонтальные системы, в которых грядка с растениями находится над бассейном или рядом с ним.

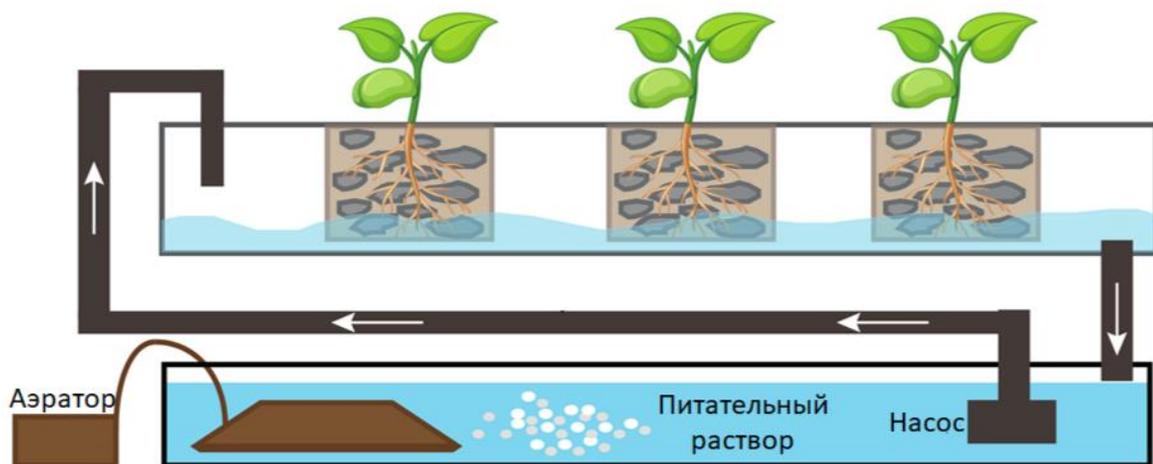


Рис. 13 . Схема системы питательного слоя [29]

4. ПРОЕКТ АКВАПОННОЙ УСТАНОВКИ ЗАМКНУТОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Аквапоника — это метод производства, при котором рыба и растения выращиваются вместе в одной системе. Обратная вода, которая насыщает соединениями азота от производства гидробионтов, питает растения с использованием методов органической гидропоники. Растения, в то время, очищают и фильтруют воду, которая возвращается в среду обитания рыб. Для успешного функционирования данной системы необходимы расчёты и правильное соотношение биомассы рыб к биомассе растений. Благодаря данным расчётам можно избежать ряд негативных последствий в аквапонной установке, таких как недостаточная фильтрация, недостаток азота и фосфора в питание растений, отравление и сокращение численности гидробионтов, гибели бактерий.

Для того чтобы аквапонная система работала непрерывно и давала продукцию каждый год, нужно знать как правильно изымать растения и гидробионтов, чтобы в дальнейшем не повлиять на всю систему в целом. Для этого следует поддерживать оптимальный поток питательных веществ и как следует производить очистку воды. Например, при выращивании радужной форели можно использовать несколько резервуаров одинакового размера. В каждом бассейне содержится разная возрастная группа рыб, но они не будут перемешиваться в течение всего производственного цикла. Эта система неэффективно использует пространство на ранних стадиях роста, но при данном выращивании не происходит значительных колебаний питательных веществ в результате изъятия гидробионтов. Так как после изъятия рыбы, бассейн снова наполняется той же водой и заполняется мальками. Растения при этом получают достаточное количество микроэлементов для дальнейшего роста.

Произведём расчёты для оптимизации работы аквапонной системы, которая состоит из бассейнов с радужной форелью объёмом 7800 л,

механического фильтра, ёмкости для внесения раствора, 6 лотков гидропонного модуля и биофильтра. Параметры одного лотка имеют значение 30x0,21x0,25 м. Он способен вместить посадку из 100 блоков со шпинатом (питательная площадь куста составляет 25x25 см²). Для такой установки при необходимой для выращивания шпината концентрации азота в 300мг/л, масса поступающего азота в составе соединений, должна составлять 568 г.

Установка для аквапоники станет на много продуктивнее и эффективней, если она будет создана по принципу поэтапного сбора культур растений и гидробионтов. Поэтапный сбор включает в себя применение 4 и более резервуаров для разведения гидробионтов и установок, размещённых в шахматном порядке. Радужную форель содержат в разных бассейнах в зависимости от стадии развития. По окончании изъятия взрослых особей и замены их мальками общее количество корма в системе уменьшается на 25-30 %, а затем постепенно увеличивается до максимума. Количество корма и содержание питательных веществ колеблются, но их уровень колебаний является средним.

Следовательно, такая система позволяет устранить негативные последствия в результате изъятия части рыб из системы для растений. Если же в аквапонике имеется один резервуар для рыб, то после изъятия взрослых рыб и замены их мальками количество получаемого корма уменьшится на 90% и станет постепенно увеличиваться до максимума. Содержание питательных веществ после запуска мальков вначале будет низким и слишком высоким при содержании взрослых рыб, что может плохо повлиять на развитие культуры растений.

Растения в данной установке посажены рядами. Созревшие растения можно будет собирать рядами или сразу целыми платформами. Это зависит от того, в какой время было посажено растение.

4.1. Максимальная плотность посадки

Выполним расчёт количества азота в соединениях, которое может содержаться в установке, разработанной в соответствии с возможной плотностью посадки радужной форели в бассейне. Количество бассейнов в системе 6 шт. Объект выращивания в гидропонном модуле: шпинат. На начальном этапе развития радужной форели в системе её масса составляет 1-50 г. На данном этапе форели сортируют на 2 размерные группы. Первая группа содержит мальков до 10 г, во второй группе мальки имеют массу 10-50 г. От сортировки зависит плотность посадки и условия питания.

Расчёты для группы рыб массой 1-50 г.

Условия:

- Длительность 3-4 месяца
- Температура воды 15-18°C
- Объём бассейна 7800 л
- В зависимости от массы молодь делятся на две группы: массой до 10

г и 10-50 г.

- | | |
|---|---|
| • Масса мальков до 10 г | • Масса мальков 10-50 г |
| • Плотность посадки 40кг/м ³ | • Плотность посадки 60 кг/м ³ |
| • Суточная норма корма 2,8 % от общей массы рыб | • Суточная норма корма 3,5 % от общей массы рыб |
| • Процент содержания белка в корме 45 % | • Процент содержания белка в корме 43% |

Таблица 2.

Расчёты, исходя из массы рыб

Значение	Масса молоди 1-10 г	Масса молоди 10-50 г
Количество рыб в бассейне	62400 шт	23400 шт
Общая масса рыб	343200 г	702000 г
Масса корма	9609,6 г	24570 г
Масса белка	4324,32 г	10565 г
Масса азота в составе соединений	692 г	1690,4 г

Расчёты для группы рыб массой 50 г-500 г

Условия:

- Температура воды 15-16°C
- Длительность 6 месяцев
- Объём бассейна (x2) 7800 л
- Плотность посадки 90кг/м³
- Суточная норма корма 1,2-2,6 % от общей массы рыб
- Процент содержания белка в корме 42 %

Таблица 3.

Расчёты для группы рыб массой 50 г-500 г

Значение	Пояснение	Ответ
Количество рыб в бассейне	Рассчитывается из объёма бассейна и плотности посадки (средняя плотность посадки 90 кг/м ³)	2028 шт
Общая масса рыб	Произведение количества рыб на среднюю массу 350 г	709800 г
Масса корма	Суточная норма корма от общей массы рыб в среднем составляет 2 %	14196 г
Масса белка	Процент содержания белка в корме 42 %	5962,32 г
Масса азота в составе соединений	Из 100 г белка выделяется 16 г азота	954 г

Расчёты для группы рыб массой 500 г - 1000 г

Условия:

- Температура воды 14-18°C
- Длительность 8 месяцев
- Объём бассейна (x2)7800 л
- Плотность посадки 90 кг/м³
- Суточная норма кормления 1,6 % от общей массы рыб
- Процент содержания белка в корме 38-41 %

Таблица 4.

Расчёты для группы рыб массой 500 г - 1000 г

Значение	Пояснение	Ответы
Количество рыб в бассейне	Рассчитывается из объёма бассейна и плотности посадки (средняя плотность посадки 90 кг/м ³)	780 шт
Общая масса рыб	Произведение количества рыб на среднюю массу (800 г)	624000 г
Масса корма	Суточная норма корма от общей массы рыб в среднем составляет 1,3 %	8112 г
Масса белка	Доля белка в корм составляет 41 %	3325,92 г
Масса азота в составе соединений	Белок содержит 16 % азота	532 г

Исходя из расчётов, можно сделать выводы:

- Суммарное количество азота в составе соединений, поступающего из 6 бассейнов с форелью в гидропонный модуль равно 5353,4 г
- Концентрация азота в составе соединения гидропонном модуле 1,6 г/л

При такой концентрации азота в гидропонном модуле, можно содержать 9 лотков, выращивая 100 кустов шпината в каждом.

4.2. Оптимальные условия

Выполним расчёты оптимального количества радужной форели разных этапов развития для содержания в аквапонной установки и её эффективного функционирования (рис. 14).

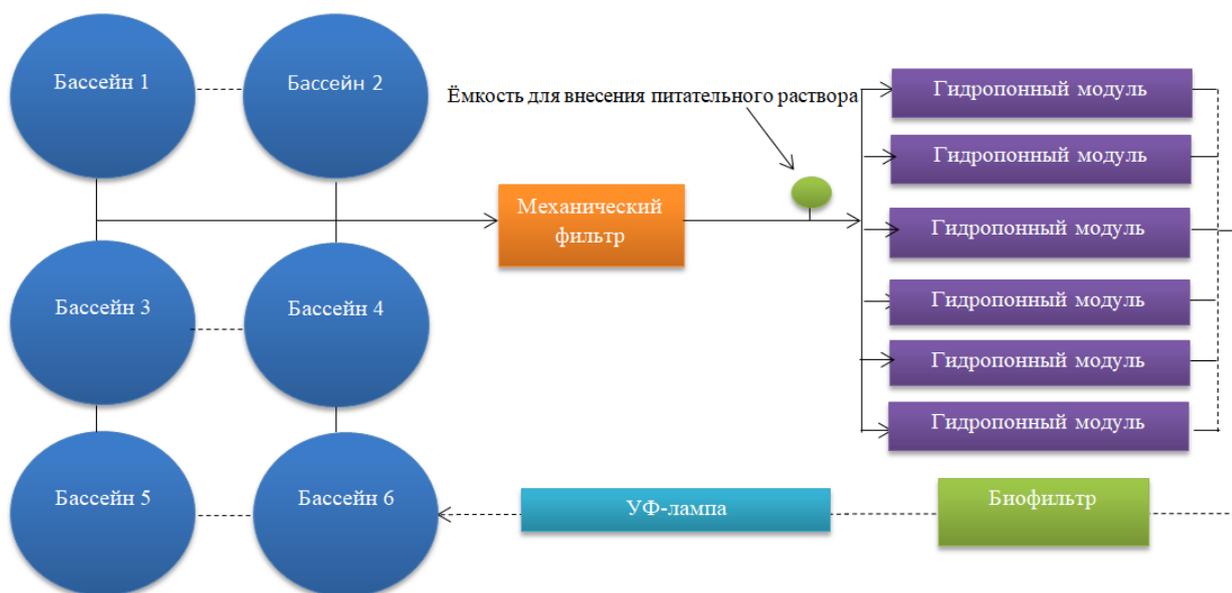


Рис. 14. Схема аквапонной установки

Состав установки для содержания радужной форели и выращивания шпината:

- Бассейны для содержания форели (6 шт)

Чтобы радужная форель чувствовала себя комфортно, необходимо создать благоприятные условия для её жизнедеятельности. Одним из главных критерием является выбор бассейна для её содержания. Основные виды рыбоводных бассейнов делятся на три формы: квадратные, овальные и круглые. В рамках проекта аквапонной системы используются круглые бассейны, диаметр – 3м, высота – 1,2 м, объём каждого составляет 7800 л.

- Механический фильтр

Механическая фильтрация – это отделение и удаление твёрдых и взвешенных отходов жизнедеятельности рыб из бассейна. Важно удалять эти

отходы для поддержания работоспособности системы, поскольку из-за вредных газов, выделяемых анаэробными бактериями, происходит их разложение, что может негативно повлиять на систему. Кроме того, отходы могут засорять системы и нарушать подачу воды, создавая бескислородные условия для корней растений. Задачей механического фильтра является первичная обработка воды и удаление крупных взвешенных частиц. На данном этапе фильтрации не происходит удаления аммиака из системы. В данной аквапонной установке используется барабанный механический фильтр.

- Ёмкость для внесения раствора

Данная ёмкость используется, если растениям необходимы дополнительные вещества. Данную ёмкость размещают перед гидропонным модулем.

- Гидропонный модуль (6 лотка)

Модуль, в котором выращиваются растения, не имеет почвы, или можно использовать почву в виде перлина. Корни растений погружают в воду, обогащённую питательными веществами. Они непрерывно очищают воду от нитратов токсичных для рыб. Практикуется несколько способов культивирования растений. Первый способ, система с высоким уровнем воды включает плавающие листы из полистирола для удержания растений. Второй способ предусматривает посадку растений в сетчатые горшки наполненные субстратом, например кокосовым торфом. Торф стимулирует развитие корневой системы и защищает её, однако не содержит минеральных веществ. Растения культивируются в горшках до полного созревания, либо через несколько недели их перемещают на плавучую платформу без субстрата для максимизации площади роста. Растения могут культивироваться и на твёрдом субстрате гравии или перлите.

В проекте данной установки можно использовать поддоны для гидропоники. Длина одного поддона составляет 30 м, ширина 0,21 м, высота

0,25 м, общий объём одного поддона составляет 1893 л, общий объём 6 поддонов – 11358 л. Данные лотки можно использовать для любых систем.

Принцип работы системы периодического затопления состоит в том, что в ёмкости для растений устанавливаем систему автоматического наполнения-осушения. Необходим сифон, работающий по принципу образования воздушной пробки, снабжённый инжектором для введения воздуха. Принцип работы сифона заключается в следующем: при наполнении ёмкости до верхней точки трубы с заглушкой (помпа при этом работает постоянно), вода за пару минут полностью сольётся в нижний резервуар, тем самым обеспечивая рыбам и корням растений кислород. Затем помпа за 20-30 мин. наполнит резервуар заново, и процесс повторится (рис. 15).

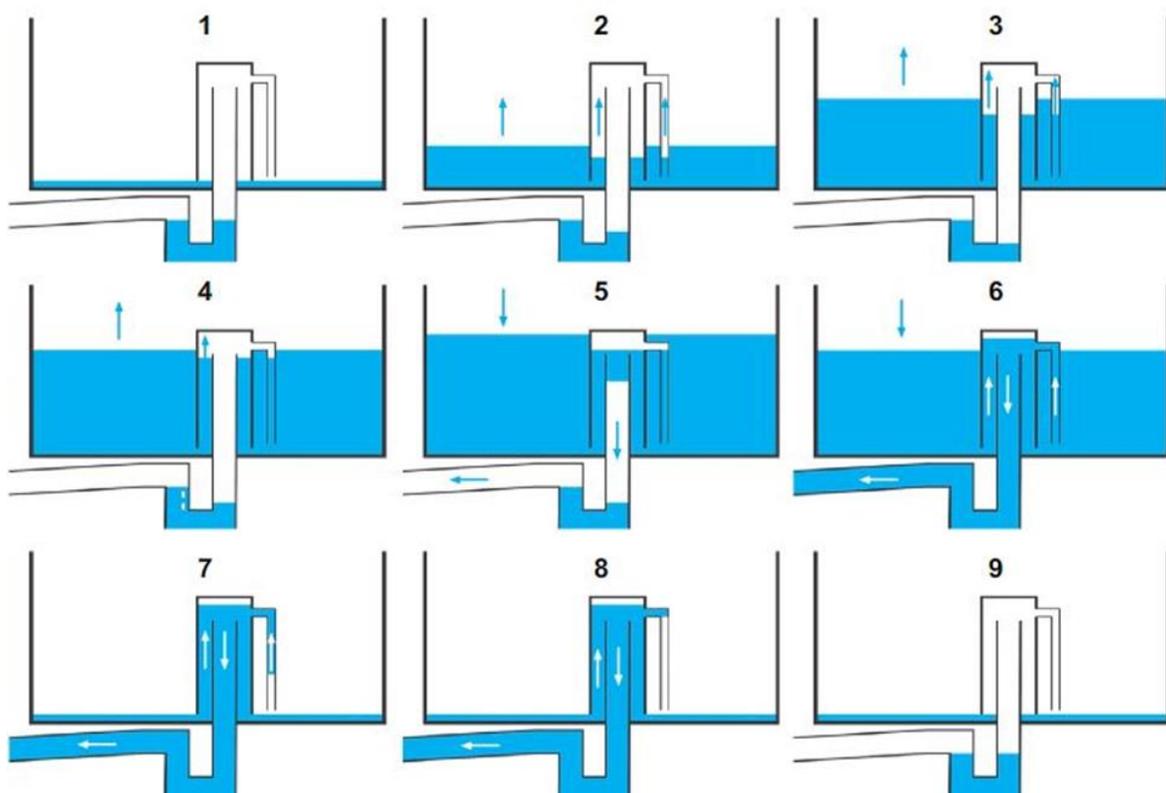


Рис. 15. Принцип работы сифона с инжектором для введения воздуха [18]

При выращивании растений кроме воды, также важно и освещение. Потребность в освещении необходимо растениям, если аквапоника находится в закрытом помещении.

Существует несколько типов осветительных приборов, выбор которых зависит от бюджета и области применения. Обычно для культивирования

растений используют люминесцентные лампы с высокой светоотдачей. То есть, при низком расположении лампы полностью покрывают растения светом, что является экономически выгодным вариантом. Светодиодное освещение дороже, но имеет более высокую мощность и эффективность и дольше работает, а также его спектр света можно подбирать для различных частей растений. Например, красный свет предпочтительный для формирования побегов растений, тогда как синий свет лучше подходит для вегетативного роста. Освещение следует чередовать, чтобы у растений было ощущение дневного света и тёмного времени суток.

- Биофильтр

Биофильтрация - это превращение аммиака и нитритов в нитраты нитрифицирующими бактериями. Фильтрация очень нужна в аквапонной установке, поскольку аммиак и нитриты токсичны для рыб даже при низких концентрациях, в то время как растения нуждаются в нитратах для роста. Биофильтр заполнен пластиковой загрузкой, которая выполняет роли жилой площади для бактерий. На ней бактерии образуют биоплёнку. Биофильтр сконструирован таким образом, чтобы иметь большую площадь поверхности, на которую подаётся насыщенная кислородом вода, поскольку загрузка должна перемешиваться и находится в потоке воды, а кислород способствует быстрому развитию бактерий. Он устанавливается между бассейнами с радужной форелью и контейнерами для гидропоники.

- УФ-лампа

Последний этап очистки воды перед её возвращением в бассейны с рыбами. УФ – лампа обеззараживает воду от патогенных микроорганизмов и спор водорослей [26].

Основываясь на оптимальной концентрации азота в питательном растворе для шпината, которая равна 0,3 г/л и общего объёма всех лотков, который равен 11358 л, произведём расчёты для определения необходимого количества радужной форели в аквапонной установке.

- Количество лотков гидропонного модуля 6 шт

- Количество бассейнов аквакультуры 6 шт
- Форель выращивают в четырёх группах разного размера

Расчёты:

- Общая масса азота в составе питательного раствора, поступающего в гидропонный модуль из 6 лотков со шпинатом за одни сутки, составляет 3408г.

- В каждый лоток со шпинатом должно поступать 568 г азота, находящегося в составе соединений.

Таблица 5

Расчёты для первой размерной группы форели 1 этапа, массой 1-10 г.

Значение	Пояснение	Ответ
Масса азота в составе соединений	Белок содержит 16 % азота	568 г
Масса белка	Процентная доля белка в корме 45 %	3550 г
Масса корма	Суточная норма корма 2,8 % от общей массы рыб	7888,9 г
Общая масса рыб	Средняя масса рыб 5,5 г	281746 г
Количество рыб	Рассчитывается исходя из средней массы	51226 шт

Таблица 6.

Расчёты для второй размерной группы форели 1 этапа, массой 10–50 г.

Значение	Пояснение	Ответ
Масса азота в составе соединений	Белок содержит 16 % азота	568 г
Масса белка	Процентная доля белка в корме 43 %	3550 г
Масса корма	Суточная норма корма 3,5 % от общей массы рыб	8255,8 г
Общая масса рыб	Средняя масса рыб 25 г	235880 г
Количество рыб	Рассчитывается исходя из средней массы	9435 шт

Таблица 7.

Расчёты для размерной группы форели 2 этапа, массой 50 – 500г.

Значение	Пояснение	Ответ
Масса азота в составе соединений	Белок содержит 16 % азота	568 г
Масса белка	Процентная доля белка в корме 42 %	3550
Масса корма	Суточная норма корма 2 % от общей массы рыб	8452,4 г
Общая масса рыб	Средняя масса рыб 300 г	422619 г
Количество рыб	Рассчитывается исходя из средней массы	1408 шт

Таблица 8.

Расчёты для размерной группы форели 3 этапа, массой 500 – 1000 г

Значение	Пояснение	Ответ
Масса азота в составе соединений	Белок содержит 16 % азота	568 г
Масса белка	Процентная доля белка в корме 41 %	3550 г
Масса корма	Суточная норма корма 1,3 % от общей массы рыб	8658,5 г
Общая масса рыб	Средняя масса рыб 750 г	666041 г
Количество рыб	Рассчитывается исходя из средней массы	888 шт

Вывод: Для функционирования аквапонной установки, состоящей из 6 бассейнов и 6 лотков со шпинатом (100 кустов на одном лотке) необходимо содержать 51226 шт форели массой 1-10 г, 9435 шт форели массой 10-50 г, 2816 шт массой 50-500 г и 1776 шт радужной форели массой 500-1000 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Аквапоника – это совместное выращивание рыб и растений в искусственно созданной экосистеме. Такая система использует естественные бактериальные циклы для превращения отходов жизнедеятельности рыб в питательные вещества для растений. Благодаря данной системе, можно решить проблемы, которые возникают в результате ведения традиционного сельского хозяйства.

Выводы:

1. Сочетание беспочвенного выращивания сельскохозяйственных культур и рыбоводства все ещё является довольно новым, хотя практика его применения прослеживается с древних времён. В целом, она демонстрирует симбиотические отношения между рыбой и растениями и то, как это можно воспроизвести для использования в коммерческих или домашних системах. А поскольку между растениями и рыбами существует естественная взаимосвязь, эта экосистема считается безопасной для окружающей среды. Практически все развитые страны участвуют в разработке аквапонных систем: Нидерланды, Дания, США, Австралия, Англия, Германия, Китай, Португалия. В России выращивание гидробионтов и растений методом аквапонии не пользуется особой популярностью. В основном таким методом выращивания занимаются южные регионы.

2. Аквапонная система представляет собой симбиоз существования гидробионтов, выращенных в искусственных условиях, гидропонных культур сельскохозяйственных растений и бактерий, перерабатывающих остатки жизнедеятельности гидробионтов. Использование замкнутого цикла в аквапонике является эффективным и экологически чистым методом производства рыбных и растительных продуктов. Наиболее важными биологическими процессами в аквапонной системе являются нитрификации, фотосинтез, питание растений и образование отходов жизнедеятельности рыб.

3. При выращивании растений в системе существует 3 системных метода гидропоники: система плавающей платформы, система затопления и слива, система питательного слоя.

4. В данной работе объектом совместного выращивания с растениями является радужная форель. Именно, абиотические факторы, необходимые при разведении радужной форели, наряду с высоким содержанием белка в корме, приводят к высокому производству нитратов, которые могут быть использованы растениями в качестве источника азота в аквапонной системе. В данной установке можно выращивать различные культуры растений. Наиболее популярными являются листовые культуры, такие как листовые салаты, базилик, шпинат, мята, петрушка, укроп.

5. Были проведены расчёты для установки. Создан проект аквапонной установки замкнутого водоснабжения для выращивания радужной форели. Для его успешного функционирования нам понадобится 6 бассейнов с форелью и 6 лотков со шпинатом.

6. Преимущества и недостатки аквапоники в сравнении с сельским хозяйством:

Преимущества:

- Двойной результат ведения деятельности: урожай культур и продукт от рыбного промысла.
- Экологически чистая продукция для питания человека, так как в системе не применяются азотные удобрения и пестициды.
- Максимальный возврат воды позволяет сэкономить, при этом сокращая или нейтрализуя сброс сточных вод.
- Компактность аквапонных систем не требуются большие площади.
- Вода в аквапонике автоматически фильтруется и насыщается кислородом, что оказывает положительное влияние на развитие рыб.

Недостатки:

- Постоянный контроль за аквапонной установкой;

- Не все сельскохозяйственные культуры растений подходят для выращивания в аквапонике;
- Начальный этап производства аквапонной системы сопровождается высокими первоначальными затратами на установку и высоким энергопотреблением из-за технического оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аквакультура [Электронный ресурс]: Гидропоника и аквапоника – как современные методы выращивания растений и рыбы – Режим доступа: <https://arktikfish.com/index.php/gidroponika/783-gidroponika-i-akvap/>– (Дата обращения 21.05.2023)
2. Андраш Войнарович, Дьёрдь Хойчи, Томас Мот-Поульсен. Руководство по искусственному воспроизводству форели в малых объёмах. Будапешт, 2012г.
3. 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.
4. Артамонова В.С., Янковская В.А., Голод В.М., Махров А.А., Генетическая дифференциация пород радужной форели (*Parasalmo mykiss*), разводимых в Российской Федерации. // Труды ИБВВ РАН, 73(76), 2016 - с.25-45
5. Атлас пресноводных рыб России / под ред. Ю. С. Решетникова. - М.: Наука, 2003 - Т. 1 -379 с.
6. Базырина Е. Н., Бушуева Т.М., Ильинская Н. Л., Чесноков В. А., Выращивание растений без почв – Санкт – Петербург, Издательство Ленинградского Университета, 1960 – 162 с.
7. Берг Л.С. Рыбы пресных вод СССР и сопредельных стран. М.;Л.: Изд-во АН СССР, 1948 Т. 1 - 468 с.
8. Боровик Е.А. Радужная форель [Текст]/ Е.А. Боровик. – Минск: Наука и техника, 1969. – 156 с.
9. ГлавАгроном [Электронный ресурс]: Аквапоника и гидропоника: перспективное будущее сельского хозяйства – Режим доступа: <https://glavagronom.ru/articles/akvaponika-i-gidroponika-perspektivnoe-budushchee-selskogo-hozyaystva> – (Дата обращения 20.05.2023)

10. Камилов Б.Г., Халилов И.И. Разведение форели в условиях Узбекистана: практические рекомендации для фермеров [Текст]/ Камилов Б.Г., Халилов И.И.— Ташкент: Baktria press, 96 с, 2014г.
11. Литвинова А.Г., Таврыкина О.М., Изучение аквапонных систем как инновационного направления развития рыбоводства (литературный обзор); – Беларусь, Минск: РУП «Институт рыбного хозяйства» РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству», 2021г.
12. Лапкин В.В. Возрастная динамика избираемых и летальных температур рыб [Текст]/ Лапкин В.В., Свирский А.М., Голованов В.К. // Зоол. Журн. – 1981. – № 12 (60). – С. 1792-1802.
13. Муравин Э.А., Смирнов П.М., Агрохимия [Текст]/ Муравин Э.А., Смирнов П.М. – Москва «Колос», 1984. – 304 с.
14. Николайкин Н. И., Экология: Учеб. для вузов / Николайкин Н.И., Николайкина Н.Е., О. П. Мелехова. – 3-е изд., стереотип. – М.: Дрофа, 2004. – 624 с: ил
15. Промысловые рыбы России. В двух томах. / Под ред. Гриценко О.Ф., Котляра А.Н. и Котенёва Б.Н. - М.: издательство ВНИРО, 2006.- Т.1.,656 с.
16. Сборник информационных материалов по теме «Аквапоника», Белгород 2015г.
17. Цуладзе В.Л. Бассейновый метод выращивания лососевых рыб [Текст]/ В.Л. Цуладзе. – М.: Агропромиздат, 1990 – 155 с.
18. Aquaponics FAQ [Электронный ресурс]: How to build backyard aquaponics – Режим доступа: <http://aquaponicsfaq.net/how-to-build-backyard-aquaponics/> – (Дата обращения 10.06.2020)
19. 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 20.05.2023)

20. 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
21. Farming Aquaponics [Электронный ресурс]: The History Of Aquaponics (Easy Guide) – Режим доступа: <https://farmingaquaponics.com/the-history-of-aquaponics/> – (Дата обращения 10.05.2023)
22. Farming Aquaponics [Электронный ресурс]: Growing Spinach in Aquaponics Gardens – Режим доступа: <https://farmingaquaponics.com/growing-spinach-in-aquaponics-gardens/> – (Дата обращения 25.05.2023)
23. JAMBYL [Электронный ресурс]: Аквапоника: будущее сельского хозяйства – Режим доступа: <https://jambyltv.kz/ru/news/841> – (Дата обращения 12.06.2023)
24. Jonsson, B. (2011): NOBANIS – Invasive Alien Species Fact Sheet – *Oncorhynchus mykiss*. – From: Online Database of the European Network on Invasive Alien Species – NOBANIS www.nobanis.org, Date of access x/x/201x.
25. Mac Crimmon, H.R. 1971. World Distribution of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). - Journal of Fisheries Research Board of Canada 28, 663-704.
26. MPDI [Электронный ресурс]: Influence of UV Treatment on the Food Safety Status of a Model Aquaponics System – Режим доступа: <https://www.mdpi.com/2073-4441/9/1/27/htm> – (Дата обращения 23.04.2023)
27. Nelson, R.L., Pade, J.S. 2008 Aquaponics food production - Growing fish and vegetables for food and profit. United States of America: Nelson and Pade, inc.
28. Primal Survivor [Электронный ресурс]: Complete Guide to DIY Aquaponics and Aquaponic Gardening (with diagrams) – Режим доступа: https://www.primalsurvivor.net/aquaponic-gardening/#Media-Based_Systems/ – (Дата обращения 21.05.2023)

29. Roberto S. Velazquez-Gonzales, Adrian L. Garcia-Garcia, Elsa Ventura-Zapata, Jose Dolores Oscar Barceinas-Sanchez, Julio C.Sosa-Savedra, A Review on Hydroponics and the Technologies Associated for Medium- and Small-Scale Operations. *Agriculture* 2022, 12(5), 646.

30. Scott, W.B. and Crossman E.J. Freshwater fishes of Canada. *Fisheries Research Board of Canada Bulletin*, 1973. 184: 1-966.

31. Timetoast timelines [Электронный ресурс]: The Aztecs Режим доступа: <https://www.timetoast.com/timelines/the-aztecs-24> – (Дата обращения 10.05.2023)

32. Treehugger [Электронный ресурс]: 20 Best Plants for Aquaponics – Режим доступа: <https://www.treehugger.com/best-plants-for-aquaponics-5186557/> – (Дата обращения 10.05.2023)