

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Астраханский государственный технический университет»

На правах рукописи

СТАРИКОВА ТАТЬЯНА СЕРГЕЕВНА

**Экосистемный подход в повышении эффективности индустриальной  
технологии получения экологически чистой продукции в аквакультуре**

Специальность 06.04.01 - Рыбное хозяйство и аквакультура

Диссертация на соискание учёной степени кандидата  
сельскохозяйственных наук

Научный руководитель:  
доктор биологических наук  
Гераскин П.П.

Астрахань-2022

## Оглавление

ВВЕДЕНИЕ .....	4
ГЛАВА 1 Литературный обзор .....	12
1.1 Экологические особенности развития и роста объектов выращивания в аквапониической системе.....	12
1.2 Краткая биологическая характеристика рыб, использованных в проведённых исследованиях.....	15
1.3 Перспективность совместного выращивания рыб и растений .....	23
ГЛАВА 2 Материал и методы исследований.....	38
ГЛАВА 3 Подбор объектов, обоснование и условия выращивания в интегрированной этажной установке.....	50
3.1 Подбор объектов и экспериментальное обоснование их выращивания в модуле аквакультуры интегрированной этажной установки.....	50
3.2 Подбор, обоснование и экспериментальное формирование водной среды, удовлетворяющей условиям совместного культивирования рыб и растений.....	59
3.3 Условия среды при выращивании исследуемых объектов аквакультуры в интегрированной этажной установке.....	74
3.4 Микробиологические процессы в биофилтре установки УЗВ .....	76
ГЛАВА 4 Экосистемный подход повышения эффективности промышленных методов выращивания объектов аквакультуры .....	81
4.1 Изучение совместного выращивания рыбы и растительных культур.....	81
4.1.1 Совместное выращивание гибрида стерлядь × белуга и растительных культур (салат, клубника).....	81
4.1.2 Совместное выращивание клариевого сома <i>Clarias gariepinus</i> и салата.....	84

4.2 Влияние культуральной жидкости <i>Serrasia ficaria</i> на рост и развитие растений и объектов аквакультуры.....	88
4.2.1 Влияние культуральной жидкости <i>Serrasia ficaria</i> на рост и развитие растений, используемых в аквапониической системе, а также содержание в них нитратов .....	88
4.2.2 Влияние культуральной жидкости на рост, развитие и качественные показатели объектов аквакультуры .....	93
ГЛАВА 5 Физиологическое состояние объектов выращивания .....	97
ГЛАВА 6 Экономические показатели выращивания рыбы в интегральной этажной установке .....	104
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	110
ВЫВОДЫ.....	114
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ. ....	117
ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ.....	119
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	121

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования.** В большинстве передовых стран показатели среднедушевого потребления рыбной продукции, содержащей незаменимые аминокислоты, непредельные жиры, микро- и макроэлементы, природные витамины и биологически активные вещества, достигает 22 кг на человека. Этим во многом определяется здоровье и продолжительность жизни, в странах с высоким потреблением рыбы — Норвегии, Японии и Исландии.

Острота проблемы обеспечения населения продуктами питания из рыбы повышается с каждым годом. При этом она активно переплетается с ухудшением экологической обстановки в рыбохозяйственных водоёмах. С каждым годом рыбы, вылавливаемой из естественных водоёмов, становится меньше. По экспертным оценкам количество рыбы, которое можно выловить в естественных водоёмах за год без особого ущерба в целом на нашей планете, составляет около ста миллионов тонн. В настоящее время общемировой объём продукции морского промышленного рыболовства почти достиг этого уровня. В 2017 году он составил 90,1 млн тонн, в 2018 году — 90,3 млн тонн, в 2019 году остался таким же. Поскольку объёмы рыбы, выловленной в естественных условиях, остаются на одном уровне и не имеют перспектива роста, то возрастающий спрос на рыбу можно удовлетворить только за счет аквакультуры.

Мировой и отечественный опыт аквакультуры показывает, что наиболее перспективным является ориентация на новые интенсивные биотехнологии, предполагающие создание небольших по площади модульных систем с замкнутым циклом водоснабжения. Это позволяет выращивать рыбу при высоких плотностях посадки, что повышает выход конечной продукции.

Однако при увеличении плотности посадки рыб существенно увеличивается накопление в воде продуктов метаболизма и прежде всего азотистых веществ. Эта проблема, как правило, решается всё большим усложнением систем биологической очистки и оксигенации воды, что ведёт к удорожанию производимой продукции. В настоящее время всё большую популярность приобретает безотходная технология — такой способ производства продукции,

при котором наиболее рационально и комплексно используются сырье и энергия в цикле: сырьевые ресурсы – производство – потребление – вторичные сырьевые ресурсы – таким образом, что минимизируется воздействие на окружающую среду и не нарушается ее нормальное функционирование. Так, на базе рыбоводных установок замкнутого цикла можно создавать искусственные экосистемы, называемые агрогидроэкосистемы, включающие выращивание гидробионтов и утилизацию продуктов их жизнедеятельности растениями. Важным преимуществом по сравнению с традиционными формами аквакультуры является их компактность, что позволяет размещать их в любой климатической зоне в непосредственной близости от потребителей — крупных городов, где ощущается дефицит и дороговизна земельных и водных ресурсов. Наиболее перспективными являются интегрированные замкнутые рециркуляционные системы, в которых степень утилизации органического вещества (корма, остатки корма, метаболиты) повышается в результате совместного выращивания гидробионтов различного трофического уровня в сочетании с технологией аквапоники в условиях пространственного разграничения (модулей). При этом необходимо разрабатывать оптимальные сочетания таких гидробионтов, режимы и параметры водной среды, оптимальные для комплексного выращивания гидробионтов и растений. Такая технология создает единую, замкнутую, безотходную систему, находящуюся в экологическом равновесии, причем по уровню экономических затрат соперничающая с традиционными сельскохозяйственными агротехнологиями. Кроме того, она позволяет получать экологически чистую продукцию (Киреева, 2009). Немало важен и тот факт, что в результате улучшения условий сокращается время выращивания объектов аквакультуры, ускоряется процесс их созревания и формирования маточного стада, появляется возможность получать более жизнеспособных особей (Базылев, 2013). Такие технологии являются наиболее перспективными — внедряющие принципы зеленой экономики, ресурсосбережения, формирующие условия для устойчивого развития снабжения населения экологически чистыми продуктами питания.

**Степень разработанности темы.** Суперинтенсивные технологии, позволяющие осуществлять круглогодичное выращивание любых видов аквакультуры вне зависимости от климатических условий при одновременном достижении максимальных показателей роста и продуктивности, получило свое воплощение в создании ряда высокоэффективных установок для выращивания разных видов рыб (Спотт, 1983; Стеффенс, 1985; Liao et al., 2002; Summerfeld et al., 2004).

В настоящее время товарное рыбоводство во многих странах мира успешно развивается на предприятиях с использованием УЗВ, позволяя формировать эффективное производство за счёт высоких рыбоводных показателей (Брайнбалле, 2010; Кольман, 2013; Timmons, 2007; Барулин, 2008). Индустриальное рыбоводство в нашей стране хотя и не приобрело широкого распространения, однако исследования в этом направлении получило достаточно большое внимание (Киселёв, 1997; Романенко и др., 1999; Жигин, 2011; Пономарёв, Иванов, 2009; Абросимова, 2016).

Дальнейшим развитием этой идеи стало применение в таких установках поликультуры рыб и совместного выращивания рыб и растений, получившее название «Аквапоника» — сочетание приемов аквакультуры, подразумевающей рыбоводство в УЗВ, и гидропоники — технологии выращивания растений в воде с добавлением питательных веществ. Считается (Somerville et al, 2014), что начало современной аквапоники положили работы Института Нью Алкеми и доктора Марка МакМартри и др. в Университете штата Северная Каролина. Большой вклад в формирование этого направления внесли Джеймс Ракоши (Rakocy, 2012) из Университета Виргинских островов США, Ник Савидов (Savidov et al., 2007). Развитие этого направления получило с созданием опытных установок аквапоники в ряде стран западной Европы, США и Японии (Гамаюн, 1989; Myrtry et al., 1994; Watten et al., 1984).

В настоящее время аквапоника интенсивно развивается, и множество стран активно используют ее. Такие страны, как Южная Африка, Италия, Испания, Скандинавия и страны Европы выращивают ягоды, овощи, применяя

аквапоническую технологию. Производительность аквапонных систем не хуже отдельно существующих гидропоники и аквакультуры. Это связано, как полагает Ник Савидов, с особой микробиологической средой, в аквапонных системах (Geoff, Wilson, 2005). Ученые Канады и США предполагают, что это технология является технологией будущего.

Исследование аквапонических систем велось и в нашей стране, (Лавровский, 1986; Умпелев и др., 1986; Киселёв, 1999; Апостол и др., 2002). Однако они не получили должного развития. Есть лишь отдельные работы (Помазунова и др., 2014; Ковригин и др., 2015; Козырь, Цвирко, 2019), посвященные этому направлению в аквакультуре. Необходимость проведения таких исследований диктуется значительными возможностями такой технологии использовать питательные вещества корма, уменьшении потребление воды и сброса биогенных элементов в окружающую среду и, в конечном счёте, получения в большем объеме экологически чистой биологической продукции.

**Цели и задачи исследования.** Изучить возможности различных вариантов формирования модулей для искусственной экосистемы интегрированной этажной установки (ИЭУ) в повышении продуктивности получения - рыбы и продуктов растениеводства.

Поставленная цель определила следующие задачи:

- оценить экологическую совместимость и взаимодополняемость отдельных элементов при формировании искусственной экосистемы в интегрированной этажной установке;
- изучить гидрохимические показатели водной среды искусственной экосистемы и определить на этой основе режимы её функционирования;
- исследовать влияние внедрения в искусственную экосистему микробиологического штамма (культуральной жидкости *Serrasia ficaria*);
- изучить эффективность рыбоводных систем с различной степенью интегрированности;
- оценить физиологическое состояние рыб при выращивании в интегрированных системах;

– дать экономическую оценку совместного последовательного выращивания рыбы и растительных культур в единой управляемой системе.

**Научная новизна.** Обоснованы методы последовательного совместного выращивания рыбы и растительных культур, при использовании микробиологического штамма бактерий для оздоровления искусственных экосистем получения экологически чистой пищевой продукции с использованием оборотной, сбросной воды установок замкнутого водоснабжения. Впервые обосновано использование микробиологического штамма для снижения нагрузки на биологический фильтр и получения более качественной продукции.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** На основе разработанного методологического подхода к созданию искусственных экосистем, получены результаты, которые могут быть использованы для организации экологически чистого производства рыбной продукции и растительных культур. Разработаны практические рекомендации по оздоровлению систем для аквапоники.

**Методология и методы исследования.** Методология исследований основывалась на классических представлениях постановки экспериментов, реализованная в программно-целевой схеме.

В работе были использованы ихтиологические, биохимические, гидрохимические, микробиологические методы исследований, направленные на оценку совместного выращивания различных видов рыб, растений и микробиологического штамма для получения пищевой экологически чистой продукции. Результаты практических исследований обработаны методами вариационной статистики с помощью программного пакета MS Excel 2010.

#### **Положения, выносимые на защиту:**

1. Последовательное выращивание нескольких объектов аквакультуры позволяет получать в одной системе высокий прирост массы и дополнительную продукцию с единицы площади.

2. Введение блока гидропоники в систему ИЭУ снижает количество азотистых веществ в среде при ещё большем их уменьшении с введением в



систему микробиологического штамма.

3. Выращивание гибрида стерлядь × белуга, клариевого сома, тилапии совместно с растительными культурами с добавлением бактериального штамма в ИЭУ увеличивает не только мышечный индекс, но и улучшает качественный состав мышц выращиваемых рыб, в сравнении с контролем (УЗВ).

4. Исследуемые физиологические показатели крови свидетельствуют о более комфортных условиях формирующихся в искусственной среде в ИЭУ, чем в УЗВ.

5. Выращивание рыбы в искусственной экосистеме в форме интегрированной этажной установки позволяет более эффективно решать проблему стабилизации параметров среды, получая одновременно дополнительную животную и растительную продукцию.

**Степень достоверности и апробация результатов.** Показатели объема материала исследований обуславливают достоверность научных результатов. Всего проанализировано гидрохимических показателей — 1095 проб, биологических (масса, среднесуточный прирост, коэффициент накопления массы) — 1928 показателей рыб и растений, физиологических — 196 показателей, микробиологических — 468 проб.

Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на следующих международных, всероссийских, вузовских конференциях, семинарах и мероприятиях: II Всероссийской (XVII) молодежной научно-практической конференции «Молодежь и наука на севере» (Сыктывкар, 2013); 63-й Международной студенческой научно-практической конференции (Астрахань, 2013); VI Всероссийской конференции молодых ученых (Саратов, 2012); II (X) Международной ботанической конференции молодых ученых (Санкт-Петербург, 2014); III Международной научной Интернет-конференции: материалы конф. (Казань, 2014); 62-ой Международной научной конференции Астраханского государственного технического университета (Астрахань, 2017); Международной научно-практической конференции «Аквакультура осетровых рыб: проблемы и перспективы» (Астрахань, 2017); Международной научно-практической

конференции «Мировой опыт и Российские разработки» (Ростов-на-Дону, 2017); Международной молодежной научной конференции «Дельты рек России: закономерности формирования, биоресурсный потенциал, рациональное хозяйствование и прогнозы развития» (Ростов-на-Дону, 2018); AQUA (Montpellier, 2018); World Aquaculture (France, 2018); Aquaculture America (Las Vegas, 2018); (Nevada USA, 2018); Всероссийской междисциплинарной научной конференции (Астрахань, 2018); Aquaculture (New Orleans Marriott, 2019); 69-ой Международной студенческой научно-технической конференции (Астрахань, 2019); 63-ой Международной научной конференции АГТУ (Астрахань, 2019); Attached is your Abstract Certificate of Presentation at Aquaculture Europe (Germany, 2019); XV Ежегодной научной конференции молодых ученых «Вклад молодых ученых Южного макрорегиона в реализацию Стратегии развития Российской Федерации: цели, задачи, результаты» (Ростов-на-Дону, 2019); 19 Всероссийской конференции молодых ученых, посвященная памяти академика РАСХН Муромцева (Москва, 2019); XIII Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию Донского Государственного Технического Университета, в рамках XXIII Агропромышленного форума юга России (Ростов-на-Дону, 2020); 64-ой Международной научной конференции Астраханского государственного технического университета (Астрахань, 2020); Конференции XVI Ежегодной молодежной конференции (Ростов-на-Дону, 2020); 65ой Международной научной конференции Астраханского государственного технического университета (Астрахань, 2021); Международной научно-практической конференции «Развитие и современные проблемы аквакультуры» (Конференция «АКВАКУЛЬТУРА 2021» (Дивноморск, 2021); XVII Ежегодной молодежной научной конференции «Наука и технологии Юга России»: тезисы докладов (Ростов-на-Дону, 2021).

По теме работы опубликовано 2 статьи в журнале, рецензируемом базой «Web of Science»; 6 статей в рецензируемых российских научных журналах, входящих в перечень ВАК; получен патент РФ на изобретение; опубликовано 18

статей и тезисов в сборниках трудов российских и международных конференций и научных трудов вузов.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения и выводов. Объем работы — 144 страницы машинописного текста. Иллюстрирована 34 таблицами и 45 рисунками. Список используемой литературы содержит 241 источника, из них 69 иностранных наименований.

## ГЛАВА 1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

### 1.1 Экологические особенности развития и роста объектов выращивания в аквапонической системе

Выбор различных видов гидробионтов для товарного выращивания диктуется, как правило, экономическими соображениями и спросом на продукцию из этих видов. В товарном рыбоводстве большой популярностью пользуются осетровые рыбы, клариевый сом и тилапия. Из осетровых выращивают, как правило, гибридов, сибирского осетра ленской популяции и стерлядь.

Основным объектом культивирования до последнего времени был гибрид белуга × стерлядь. Однако в последнее время набирает популярность другой гибрид – стерлядь × белуга. Выращивание рыб в аквапонных установках накладывает свои ограничения в подборе рыб. Так как это совместное выращивание рыб и растений, то их температурные предпочтения должны совпадать. Мало того, имеют большое значение и качественные характеристики водной среды, в которой выращивается тот или иной объект аквакультуры. Большое влияние на рост и развитие гидробионтов оказывает температурный фактор, влияние которого на рыб изучалось многими авторами. Повышение температуры среды до определённого предела стимулирует скорость роста, а затем, наоборот, наблюдается замедление (Бретт, 1983). Это связано с увеличением интенсивности метаболизма: повышение температуры усиливает переваривание пищи, всасывание питательных веществ в кишечнике и, как следствие этого, потребление кислорода и экскрецию аммонийного азота (Винберг, 1956, 1966; Коцарь, 1985). Тесную зависимость интенсивности питания и прироста массы от температуры продемонстрировали исследования Н.С. Строганова (1962) на молоди осетра. Им показано, что при понижении температуры воды в среднем на 5–10 °С от оптимальных значений 15–25 °С прирост массы снижается в 2–3 раза. В то же время интенсивность обмена от температуры, как считает Н.С. Строганов (1962), имеет более сложный характер,

связанный с температурной акклимацией. При этом замечено, что адаптация к повышению температуры у рыб происходит быстрее, чем к низким (Стеффенс, 1985).

В некоторых случаях (Stickney, 1979), температура выше оптимальной может обеспечить лучшую усвояемость корма и, соответственно, более высокие темпы роста и развития. Существенным является и то, что температурный оптимум видоспецифичен для каждого этапа развития осетровых рыб. Поиск оптимального значения температуры для отражающей оптимум жизнедеятельности осетровых рыб показывает, что он находится в диапазоне 18–26 °С (Голованов, Голованова, 2015). Для молоди стерляди температурный оптимум составляет 24 °С, близкие значения получены и в термоградиентных опытах на 4-х месячной стерляди — 23,6° С (Konstantinov et al., 2005). По мнению Г.Г. Матишова и Е.Н. Пономарёвой (2011), оптимальным для роста и развития осетровых рыб является диапазон температур 18–22 °С, при котором наблюдается интенсивное потребление и усвоение корма с увеличением интенсивности роста.

В то же время сторонники астатичного режима (Голованов и др., 2006; Зданович и др., 2003) выращивания осетровых рыб считают, что потенциалы роста лучше реализуются в условиях термоградиентного поля. Перемещаясь в нём, они находят наиболее благоприятную для них температуру, при которой метаболизм наиболее оптимален, что ускоряет темп роста, повышает её жизнестойкость.

Наравне с температурой важнейшим экологическим фактором, который влияет на рост и развитие рыб в водоёмах, является содержание кислорода в воде.

Минимальное содержание кислорода в воде для нормального роста молоди осетровых рыб составляет 5,6 мг/л при температуре 18–26 °С (Кляшторин, 1982). Не меньше 5–6 мг/л содержание кислорода в воде рекомендуется поддерживать на выходе из рыбоводных ёмкостей при товарном выращивании осетровых рыб (Аминева, Яржомбек, 1984; Справочник по физиологии рыб, 1986). Если насыщение воды кислородом снижается ниже 45–55 %, то темп роста рыб существенно замедляется (Кляшторин, 1982). На содержание кислорода в воде

оказывает влияние не только интенсивное её перемешивание, но и водные растения и фитопланктон.

Для жизнедеятельности гидробионтов большое значение имеет концентрация водородных ионов (рН), т.к. их жизнедеятельность может осуществляться в определенных границах рН.

С повышением кислотности уменьшается видовое разнообразие водных животных, происходит смена доминантных видов, снижается интенсивность продукционных процессов. Так, в водоемах гумидной зоны бывшего СССР наибольшее разнообразие фауны рыб наблюдается при нейтрально-щелочной реакции при рН 6,8-8,0 – здесь обитает до 60 видов рыб. При рН 6,7-5,6 – около 20 видов; при рН 5,5-4,0 – 2-3 вида (обычно щука и окунь), а при рН менее 4,0 рыбы, как правило, отсутствуют. Как видно из приведённых выше материалов, влияние рН на рыб достаточно существенно отражаясь на их жизнедеятельности. В первую очередь, это связано с изменением содержания в крови глюкозы и гемоглобина, способностью последнего связывать кислород, растворённый в воде (Кляшторин, 1982). Кроме того, низкие значения рН инициируют снижение активности иммунной системы рыб (Микряков, Силкина, 1986), а увеличение рН более 9,0 способствует повышению в крови рыб аммонийного азота (Malik, Olah, 1984). Для осетровых рыб оптимальный диапазон значений рН составляет 6,9 до 8,8 единиц при возможном выживании в условиях 4,7–9,8 рН (Wu et al., 2005).

В установках УЗВ оптимальным уровнем рН для функционирования нитрифицирующих бактерий считается 7,1–7,8 (Спотт, 1983), а при более низких значениях нитрификация тормозится. При этом следует отметить, что содержание аммиака возрастает с увеличением рН, а при снижении - усиливается негативное действие нитритов.

Рост содержания в воде метаболитов, выделяемых рыбами в форме азотистых соединений, снижает удельную скорость роста (Константинов и др., 1985; Парфёнова 1991) и может вызывать изменения в их физиологическом состоянии (Михкиева, Немова, 1988; Силкина и др., 1988; Mayano, Cardenete, 1988). Так, при интоксикации аммонием наблюдается некроз жабер и судороги,

повышается частота дыхания (Коваленко, 1990; Овчинникова, 1990). Летальные концентрации аммиака для большинства рыб находятся в пределах 0,2–2,0 мг/л (Алабастер, Ллойд, 1984).

Не менее опасно отравление рыб нитритами и нитратами. Они вызывают метгемоглобиномию, вследствие превращения гемоглобина в неактивную его форму метгемоглобин, вызывая кислородное голодание.

Особенно актуальным становится содержание в воде аммонийного азота, нитритов и нитратов при выращивании рыб в УЗВ. Так, среднесуточная экскреция аммонийного азота у годовиков стерляди составляет около 9 мг/кг в час при температуре воды 21 °С (Ступка и др., 2006). А уже при содержании нитритов в воде 8 мг/л на пятые сутки отмечаются отклонения в линейном росте и наращивании массы (Черкесова и др., 2002). На десятые сутки может отмечаться гибель осетровых рыб. Исследования, проведённые на сибирском осетре массой 172 г, показали, что среднелетальная концентрация нитритов (LC<sub>50</sub>) для них составила 130 мг/л (Huertas et al., 2002).

Выращивание осетровых рыб рекомендуется проводить (Иванов, 1988) при содержании в воде аммонийного азота, нитритов и нитратов не превышающем 0,5; 0,1 и 1,0 мг/л соответственно. Однако дальнейшие исследования (Бурлаченко, Бычкова, 2000) выявили, что воздействие нитритного азота в концентрации около 0,5 мг/л в течение месяца на осетровых выращиваемых в УЗВ, вызывает потемнение жаберного эпителия рыб, некроз почек, кровоизлияния на стенках кишечника.

Устойчивость разных видов осетровых к неблагоприятным условиям среды достаточно сильно разнится. Так из осетровых видов - объектов аквакультуры стерлядь показала более высокую степень выживания, по сравнению с сибирским осетром, не только в неблагоприятных условиях, но и к качеству корма (Кисилев, 1999; Жигин, 2002).

## **1.2 Краткая биологическая характеристика рыб, использованных в проведённых исследованиях**

Осетровые виды рыб являются одним из самых перспективных объектов аквакультуры благодаря отличному качеству продуктов их переработки, возможности получения пищевой икры в промышленных масштабах, высокой рентабельности.

Ярким примером является белуга — самый крупный представитель семейства осетровых, имеет большую ценность в рыбном хозяйстве, так как является одним из главных источников черной икры и соматических деликатесных продуктов. Питается белуга мелкой рыбой (килькой, воблой, бычками, сельдью). При искусственном разведении, белуга имеет самый высокий темп роста среди остальных осетровых (к трем годам их масса достигает 2–3 кг). Наиболее эффективное выращивание товарной белуги проводится в бассейнах с теплой водой при высоких плотностях посадки и откармливании специальными гранулированными кормами.

Другой вид осетровых рыб, являющийся объектом аквакультуры — стерлядь — типичный пресноводный представитель осетровых. Этот вид в обычных условиях созревает достаточно быстро (самцы в 4–5 лет, самки в 6–7). В тепловодных условиях самки взрослеют уже на 2 или 3 год жизни. А в 3 года масса стерляди составляет 1–1,7 кг.

Наиболее популярны в товарном выращивании осетровых рыб межвидовые гибриды из-за проявления гетерозиса, выражающегося в стремительном росте, жизнестойкости и раннем созревании. Эмбриональное развитие гибридов рыб обычно происходит быстрее, чем у исходных видов. Имеет место также высокий уровень выживаемости, а при бассейновом выращивании — большой выход количества молоди. Гибридные формы характеризуются ранним половым развитием, стремительным увеличением размеров рыб (Павлов, 2012). Гетерозис, существующий у первого поколения гибридов, проявляется на разных стадиях развития.

Впервые гибриды осетровых рыб были получены академиком Ф.В. Овсянниковым в 1869 (Овсянников, 1870), путём оплодотворения икры стерляди спермой осетра, севрюги, а также гибрида между стерлядью и осетром.



Наибольшее влияние на товарное осетроводство оказали экспериментальные работы Н.И. Николюкина и его сотрудников по получению фертильных гибридов с желательными качествами: интенсивный рост проходных видов с пресноводностью, скороспелостью и вкусовыми качествами стерляди и в первую очередь гибрида белуга × стерлядь (Николюкин, Тимофеева, 1953). В настоящее время этот гибрид получил статус породы бурцевская (Породы и одомашненные формы осетровых рыб, 2008) и наиболее часто выращивается на рыбоводных предприятиях в качестве товарного объекта из-за высокого темпа роста и раннего полового созревания.

В последнее время всё большую популярность для выращивания в индустриальных условиях набирает другой гибрид стерлядь × белуга, наиболее часто выращиваемый в УЗВ.

Выращивание осетровых в УЗВ экономически выгодное мероприятия, благодаря высокой стоимости конечной продукции и быстрой окупаемости производства (Рисунок 1).

В результате комплекса различных экспериментов по выращиванию в УЗВ разновозрастных групп русского осетра, стерляди донской и волжской популяций, белуги азовской популяции и гибрида стерляди и белуги (стербела) были установлены оптимальные условия их выращивания (Коваленко, 2007). Температурный режим в пределах от 20 до 22 °С при насыщенности кислородом не менее 75 % при колебаниях кислотности среды в пределах от 7,2 до 7,5 ед., и содержании в воде нитритов и нитратов, не превышающих 0,02 и 0,2 мг/л, соответственно.



Рисунок 1 — Выращивание осетровых рыб в УЗВ

Важным показателем режима культивирования рыбоводных объектов в УЗВ, также является время формирования биофильтра. Эксперименты, проведённые в этом направлении, показали, что максимальная концентрация азотистых соединений, которые отрицательно влияли на темп роста осетровых рыб, в частности, нитритов ( $\text{NO}_2$ ), нитратов ( $\text{NO}_3$ ) и аммония ( $\text{NH}_4$ ), достигала на 10–12-е сутки. Стабилизация наблюдалась лишь на 20-е сутки выращивания.

Преимуществом перед другими технологиями выращивания осетровых рыб в УЗВ является высокая плотность посадки или иначе концентрация рыбы на единицу объёма. Она не может быть безпредельной, т.к. слишком высокая концентрация снижает темп роста рыб и повышает вариабельность их размеро-массовых характеристик, а низкая — является экономически не выгодной (Матишов и др., 2011). Эксперименты, проведённые в ЮНЦ РАН, дали возможность определить наиболее оптимальные плотности посадки гибрида стерлядь × белуга. Для молоди массой до 10 г. она составила 250 шт/м<sup>2</sup>, а для выращивания товарной рыбы начальной массой 500 г. рекомендуемая концентрация рыбы в бассейнах 50 кг/м<sup>3</sup>, с увеличением до 80 кг/м<sup>3</sup> при начальной массе около 900 г. При этом сортировка рыбы (крупной от мелкой) позволяет исключить конкуренцию за корм и увеличить скорость роста рыб большего размера на 30 %.

Кроме того, только за счёт поддержания оптимального температурного режима в осенне-зимний период, при котором рыбы не перестают питаться,

можно не только значительно увеличить рост осетровых рыб, но и обеспечить высокую выживаемость культивируемых объектов — до 90–95 %. В целом, оптимизация гидрохимического режима позволяет увеличить среднесуточную скорость роста в УЗВ до 2 %.

Большое значение при выращивании осетровых рыб в УЗВ необходимо придавать режиму питания (Пономарева, 2016). Несмотря на стабильные параметры среды при круглогодичном культивировании в УЗВ следует учитывать сезонные ритмы питания. В осенний период интенсивность питания замедляется. В весенний период замедление роста связано с перестройкой метаболизма культивируемых рыб при выходе из зимовки. Суточные дозы кормления также нестабильны. Утром и вечером дозы нужно увеличивать на 30 % от среднесуточной. Для кормления осетровых рыб необходимо использовать высокобелковые корма, позволяющие достигать высоких показателей по выживаемости сеголеток, годовиков и двухлеток, реализовывать их потенциал оптимального развития.

Рыбы, выращенные в искусственно создаваемых условиях, наследуют адаптационные возможности, имеющиеся у них при обитании в естественной среде. Эти физиологические свойства организма характерны и для гибридов, в том числе гибрида стерлядь × белуга.

Исследования по экологии и физиологии осетровых рыб показали высокую адаптационную пластичность этих рыб, лежащую в основе их биологического прогресса (Гербильский, 1972). Осетровые обитают в разных климатических условиях, населяют пресные и солёные воды, адаптированы к расширенному спектру питания. Им также характерна достаточно широкая эвритермность.

Эти рыбы способны жить в пределах значительного температурного градиента водной среды (0–28 °С). Осетровые размножаются в весенние и летние месяцы при температурах воды не ниже 7 °С и не выше 27–29 °С, что позволяет отнести этих рыб к группе умеренно-теплолюбивых.

Одним из объектов нашего исследования, являлась тиляпия (*Pod: Tilapia*). Тиляпия — это широко используемые в аквакультуре относительно мелкие рыбы,

входящие в семейство цихлид (*Cichlidae*), второе по количеству видов в отряде окунеобразных. Семейство включает 85 родов и не менее 680 видов. К этому семейству относятся пресноводные и солоноватоводные рыбы, населяющие внутренние водоемы Центральной и Южной Америки, один из этих видов распространен в северных районах США (до Техаса), а также в водоемах Восточной Индии, Африки, Мадагаскара и побережья Индии.

Самый крупный представитель — львиноголовая цихлида из озера Танганьика. Для цихлидовых рыб характерно богатое видовое разнообразие: в некоторых озерах обитает до 150–200 видов этого семейства.

В России и странах СНГ цихлиды давно известны как аквариумные рыбы, но в последние годы начаты работы по использованию тилапий в качестве объектов аквакультуры. Будучи всеядными и плодовитыми, эти теплолюбивые рыбы отличаются быстрым ростом, хорошими вкусовыми качествами и неприхотливостью к условиям среды.

В продукции мировой аквакультуры тилапий занимают второе после карпа место среди объектов рыбоводства. Наиболее технологичны для воспроизводства и выращивания тилапий из рода *Ореохромис*, особенно мозамбикская (Рисунок 2).



Рисунок 2 — Тилапия *Tilapia mossambica* (Peters)

*T. mossambica* (Peters) — яванская, или мозамбикская, тилапия обитает в реках Восточного побережья Африки. Это один из 14 видов данного рода, занимающий преимущественное положение в рыборазведении благодаря высокому темпу роста и хорошим вкусовым качествам, неприхотливости (поскольку может расти и развиваться в воде с высоким содержанием биогенных

веществ). Немаловажно и то, что тилапии успешно размножаются в воде соленостью 35 ‰.

Мозамбикская тилапия созревает в возрасте 5 месяцев при длине 6–10 см. Рабочая плодовитость тилапии невысока: мозамбикской и ауреи — от 0,1 до 2,5 тыс., макрофалы — 0,2–0,6 тыс., марисо — 1,2–5 тыс. икринок.

Нормативы для выращивания мозамбикской тилапии (Привезенцев и др., 2006) представлены в таблице 1.

Таблица 1 — Примерные нормативы круглогодичного культивирования тилапии мозамбикской *Tilapia mozambica*

Объем воды в лотке, л	80
Расход воды в лотке, л/мин.	0,3–0,4
t воды, °С	25–30
Фотопериод: свет/темнота, ч	12/12
Содержание кислорода, мг/л	более 4,7
Соотношение полов: самец/самка, экз.	1:6
Диаметр икринки, мм	до 2
Средняя масса самки, г	86–175
Относительное количество личинок в зависимости от массы тела самки, экз./г	5,3–3,4
Выход личинок при вылуплении, %	94
Выход личинок после выдерживания, %	93
Плотность посадки при выдерживании, экз./л	300–600
Расход воды в инкубаторе, л/мин.	0,65
Расчетное количество молоди для получения 100 кг товарной рыбы, шт.	500
Средняя масса товарной тилапии, г	200
Масса в возрасте 1+, кг	1,2–1,5

Тилапия — не хищник, поэтому вместе с ней во многих странах выращивают в поликультуре самых разных рыб, в том числе кефалей, а также креветок. В монокультуре средняя рыбопродуктивность тилапии составляет не более 5 ц/га и лишь при усиленном кормлении возрастает до 10–25 ц/га. Поэтому

в различных странах тилипии выращивают чаще в поликультуре, вселяя рыб различного спектра питания — фитопланктофагов (*T. macrochir*), растительноядных (*T. melanopleura*) совместно с хищником — канальным сомом. В итоге рыбопродуктивность тилипий в поликультуре достигает 60 ц/га, а сома — 14 ц/га.

**Африканский клариевый сом (*Clarias gariepinus*)** встречается в Африке, Южной и Юго-Восточной Азии, в реке Иордании (Рисунок 3).



Рисунок 3 — Клариевый сом (*Clarias gariepinus*)

У клариевого сома имеется специальный орган для дыхания атмосферным воздухом. От жаберной щели отходит древовидный орган, пронизанный сосудами, образующими обширную поверхность. Наджаберный орган содержит атмосферный воздух.

Оптимальными условиями выращивания клариевого сома являются: содержание кислорода в воде 4,3 мг/л, при диапазоне рН 6,5–8,0 и температуры от 25 до 30 °С. Он достаточно хорошо переносит понижение температуры до 12–18 °С, легко адаптируется к изменениям температуры и повышению солености до 10 ‰ (Рисунок 4). Клариевый сом всеяден — способен употребить в пищу жуков, моллюсков и растительную еду.



#### Рисунок 4 — Выращивание клариевого сома (*Clarias gariepinus*) в УЗВ

При искусственном воспроизведении клариевого сома необходимы бассейны, наполненные водой. Возможно использование воды из инкубаторов, что дает лучший результат при выращивании данного вида рыбы.

Родительское стадо формируют из рыб обладающими высокими темпами роста. Полвозрелыми самки становятся через полгода после начала выращивания. Созревание самцов и самок происходит к 2 годам жизни.

Кормление клариевого сома зависит от возраста и состояния организма. При выращивании рыбы на стадии сеголеток отдают предпочтение беспозвоночным. Для этого в бассейнах есть участки, заполненные растительностью, в которой происходит развитие хирономид - основного рациона сома. При искусственном разведении для разных стадиях развития рыб, используются разные корма. В возрасте несколько суток сом питается зоопланктоном, после 2 недель выращивая, для питания подойдут хирономиды, артемии и пастообразные корма. При наборе массы личинками количество живых кормов можно уменьшить и добавлять искусственный корм.

Во взрослом состоянии для кормления клариевого сома может подойти любая сорная рыба (песчанка, тюлька, хамса и ерш). Для наращивания 1 кг массы сома ему необходимо употребить до 3 кг рыбы. Лучше использовать мелкую рыбу, чтобы исключить стадию измельчения. Сорную рыбу можно использовать в виде брикетов или шариков из рыбного фарша. Для питания можно использовать отходы рыбо-перерабатывающего производство, если объем жира в конечном корме не будет превышать 15 %. На некоторых фермах используют переработанные остатки пищевых фабрик. Сом не требует добавление пищевых добавок в корм.

### **1.3 Перспективность совместного выращивания рыб и растений**

Увеличение количества выращиваемой рыбы, как правило, приводит к росту сбросов в окружающую среду продуктов их метаболизма, содержащие азот и фосфор, которые способствует нежелательному росту макро- и

микроводорослей (Rizal, 2018). Поэтому так важно снижать их содержание в стоках рыбоводных предприятий, чтобы не ухудшать состояние окружающей среды.

Проблему полного использования кормов и утилизацию метаболитов с увеличением за счет этого биологической продукции возможно лишь при создании искусственных экосистем с высокой степенью замкнутости трофических цепей (Никифоров, 2016). Попыткой решения этой проблемы изначально можно считать применение в рыбоводных установках поликультуры рыб. Другой пример, частичного решения данной проблемы, является создание установок, в которых продукты обмена, выделяемые рыбами, используются для выращивания растений.

Процессом, который позволяет одновременно выращивать различные виды растений и рыб является аквапоника. Соединение выращивания растений и рыб вызывает огромный интерес, потому что растения, которое человек использует в своей практике выращивания продуктов питания и рыб сходны в потребностях энергозатрат. При таком выращивании рыб и растений создается разнообразие в ассортименте продукции, а также оптимизируются условия выращивания каждой культуры. В настоящее время имеются разнообразные замкнутые системы, которые основываются на комбинации производства выращивания растений и рыбы. Если такие системы расположить в тепличном комплексе и применять теплую воду, то существует возможность получать продукцию постоянно. Необходимым условием производительности данной системы является точное соответствие объема растений и рыбы. Количество метаболитов произведенных рыбой должно быть достаточными для питания растений. При этом количество растений зависит от того, насколько они необходимы для обеспечения очистки и нормальных условий для роста рыбы. Взаимодействие рыб и растений создает идеальную среду для более продуктивного метода их выращивания (Rakocy, 1997).

Вода в аквапонической установке, богата аммиаком. Аммиак в своем неионизированной форме токсичен для рыб даже при относительно низких



уровнях его содержания в воде. Нитрифицирующие бактерии в толще воды окисляют аммиак до нитрита через такие виды бактерий как *Nitrosomonas* и нитритов до нитратов через *Nitrobacter*. Нитраты не токсичны для рыб, за исключением превышения допустимого уровня ( $> 1000 \text{ мг L NO}_3\text{-N}$ ). В то же время они являются необходимым источником азота для роста гидропонных растений. Таким образом, продукты жизнедеятельности рыб используются вторично в качестве источника роста для растений (гидропоника), которые имеют экономическая ценность и выгоду при их производстве. По сути, растительность поглощает нитраты из системы аквапоника, за счет чего происходит непрерывная очистка среды обитания рыб. Единственное требование — необходимость компенсирования потерь воды из-за испарения её в атмосферу и растениями (Tyson, 2019).

В традиционном сельском хозяйстве и садоводстве часто используются химические и синтетические удобрения, пестициды и гербициды. Они чрезвычайно эффективны для производства, однако вызывают значительное загрязнение среды. Поскольку аквапоника имитирует природную экосистему, в которой естественным образом генерируется много питательных веществ, растения хорошо развиваются и без химических веществ (Goddek, 2019).

Аквапоника направлена на получение экологически чистой сельскохозяйственной продукции. Она представляет собой сочетание выращивания сельскохозяйственных культур в непочвенной среде (известной, как гидропоника) путем выращивания растений с питательной водой и интенсивно культивируемых водных организмов, таких как рыба (т.е. аквакультура). Преимущества такой технологии выражается в возможности увеличения количества растений, темпов роста, уменьшении производственной нагрузки по выращиванию растений, в сравнении с почвой, снижение затрат водных ресурсов, и сокращения патогенов растений. Выращиваемая продукция при этом является безопасной.

Аквапоника имеет огромный потенциал в повышении экономической, социальной и экологической устойчивости сельского хозяйства.

Несмотря на то, что идея создания искусственных экосистем в аквакультуре является довольно новой, однако основой для неё служит многолетний опыт использования природного потенциала. У аквапоники вековые корни, но существует несколько теорий ее появления. Первая, из которых, гласит о том, что ацтеки создавали плавучие искусственные острова с растительностью на водоёмах, называемые чинампами (Брэй, 2005).

Эту систему называют одной из ранних форм аквапоники. В данной системе растение росло за счет того, что оно закреплено на плавучих островах, которые находились на мелководье. Из-за отсутствия крупного рогатого скота, вместо навоза использовали человеческие экскременты из отхожих мест городов находящиеся неподалеку.

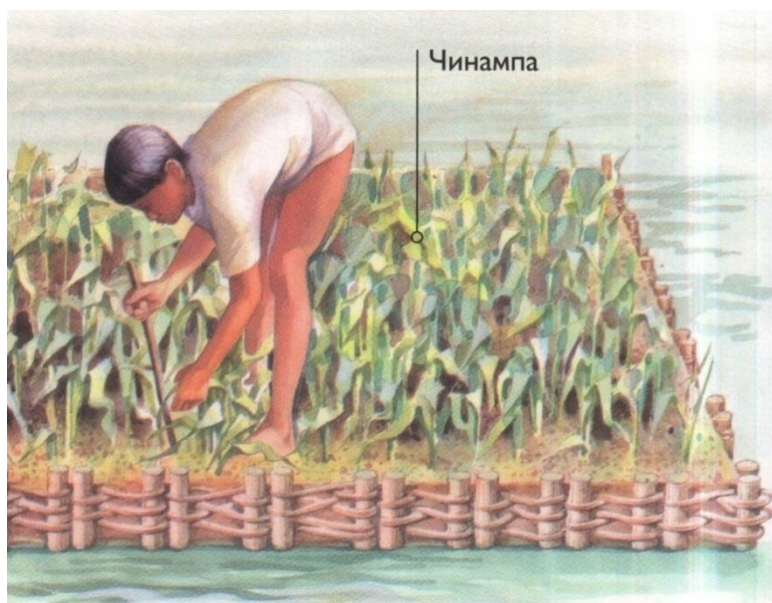


Рисунок 5 — Чинампы

Чинампы по размеру варьировал от небольших ( $1,5 \times 1,5$  м) до достаточно значительных ( $10 \times 100$  м). На них круглогодично выращивались разнообразные овощи, а также цветы. В водной среде обитали различные виды рыб, которые вылавливались в зависимости от надобности. Подобные системы имелись также в Таиланде (Савцова, Никифоров, 2016).

Также существует вторая версия — прототипом аквапоники являются рисо-рыбные агросистемы. В Индонезии и Таиланде выращивали рис на лугах, где и

происходило взаимодействие рыбы с рисом. Данный пример иллюстрирует один из древнейших видов аквапоники или прототипом интегрированной системы в аквакультуре. Эту практику называют поликультурной (т.е. выращивание разных видов культур в одной и той же среде и на одной территории), она часто использовалась в странах Дальнего Востока. Её история насчитывает более двух тысяч лет. Преимущество такого выращивания заключается в том, что обводнённые территории, помимо выращивания риса, сами по себе являются ещё и источником рыбного сырья. Рыба является одним из самых ценных продуктов, а кроме того она, во-первых, уничтожает сорняки и вредителей, а во вторых - снабжает воду необходимыми микроэлементами. Эти системы широко представлены в странах Юго-Восточной Азии, а также Южном Китае (Ecological mechanisms ..., 2011). В качестве примера можно привести созданную более 1300 лет назад народом хани систему рисовых террас Хунхэ-Хани, включающих в себя выращивание красного риса, различных видов рыб и моллюсков и водоплавающих птиц.

За последние несколько лет все чаще в Китае для производства риса и других культур используют систему аквапоники, где основная часть данной установки находится не под водой, а над ней.

Таким образом, прототипы интегрированных систем в ранней аквакультуре являли собой хорошо подобранное и тщательно смоделированное сочетание растений и гидробионтов, с точки зрения возможности их совместного выращивания вблизи человеческих поселений.

Использование такого понятия, как «аквапоника» началось недавно, хотя реальные превосходства комбинированного производства были признаны с древнейших времен. Развитие современной технологии аквапоники началось лишь в двадцатом веке. Начало им положили работы университета Нью Алкеми и Марка МакМартри и его коллег из Университета штата Северная Каролина (Somerville et al., 2014).

Само понятие аквапоника произошло путём слияния таких прогрессивных направлений получения продуктов питания как гидропоника и аквакультура.

Гидропоника представляет собой метод выращивания растений без почвы. Все необходимые для растений вещества подаются к корням в виде водного раствора, приготовленного согласно потребностям выращиваемого растения (Медведев и др., 1996). Аквапоника совмещает в себе выращивание рыб либо других гидробионтов и растений. То есть получение как растительной, так и рыбной продукции. Термин аквапоника был предложен исследователями этого нового направления в аквакультуре из Университета Виргинских островов (Rakocy, 2012). Джеймс Ракоци и его коллеги из Университета Виргинских островов... занимались разработкой этой новой технологии с 1997 г. (Rakocy, et al., 2007). Аквапонические системы, по определению Ракоци (2012) представляют собой систему циркуляции, в которой используют богатую минеральными и органическими веществами воду из систем выращивания рыб и других гидробионтов, в качестве удобрения для выращивания растений без почвы (гидропоника). В результате использования растениями этих веществ в сочетании с микробным процессом нитрификации и денитрификации позволяет очищать и использовать такую воду для аквакультуры.

Примером, первых исследований в Канаде может служить установка, которая основывалась на системе совместного выращивания рыб и растений из Виргинского университета, которая была сооружена в тепличном комплексе при Бруксе (Wilson, 2005; Nichols and Savidov, 2012). В результате более чем 15 летних исследований была создана полностью автоматизированная системы аквапоники без отходов (Gangenes et al., 2015).

Такая установка, как утверждают Ник Савидов и его коллеги, увеличивала урожайность многих культур, рассматривая данную систему на фоне выращивания сельскохозяйственных культур методом гидропоники. Сведения, которые получила группа ученых под руководством Савидова, свидетельствовали о стремительном росте корней в системе аквапоники, и эффективном использовании вторичных продуктов аквакультуры при выращивании растений. Такой эффект обеспечивает особая микробиологическая среда, аквапонных систем (Khiari et al., 2019). Также стало известно, что данная установка отлично

функционирует даже при низком уровне рН, что хорошо сказывается на растениях.

Плавающие системы аквапоники применяются в США, Бангладеш, Китае, Вьетнаме (Wilson, 2005).

Необходимо отметить, что технологию аквапоники можно рассматривать как одну из форм органического земледелия, направленного на использование естественных продукционных сил для получения качественной пищевой продукции для людей (Henkel, 2015).

Это одно из наиболее перспективных направлений в организации интегрированных систем в аквакультуре, представляющие собой искусственные экосистемы: гидробионты, растения и бактерии. Такая технология работает по принципу: метаболиты, образующие в процессе жизнедеятельности гидробионтов, и в частности рыб, формируют питательную среду для бактерий и растений, которые их утилизируют, очищая водную среду, делая её вновь пригодной для выращивания рыб (Рисунок 6).



Рисунок 6 — Аквапонический цикл

Основное условие успешного функционирования аквапонных систем — сохранение точного баланса взаимозависимых характеристик среды для рыб, растений и бактерий. Эта технология представляет собой наиболее перспективный вариант взаимодействия товарного рыбоводства и аграрного сектора, основанного на принципах зеленой экономики, ресурсосбережения и

обеспечивающая стабильный рост производства продуктов питания. Двумя главными частями аквапонных систем являются аквакультура и гидропоника.

В первоначальном виде отдельно друг от друга эти системы получения продуктов питания могут загрязнять окружающую среду. При использовании выращивания рыб УЗВ — это высокие концентрации аммония, который нужно убирать из воды, чтобы предотвратить заморы рыб. В гидропонных системах используют искусственно созданные растворы, для выращивания растений, которые со временем истощаются, и их приходится постепенно заменять на новые. Соединение этих технологий в аквапонике даёт многочисленные преимущества перед аквакультурой рыб и гидропоникой. Дополняя друг друга, они нивелируют недостатки при применении отдельно этих технологий, образуя единую замкнутую экосистему. При этом в аквапонике можно использовать те же растения, что и при гидропонике: зелень, клубнику, овощи и даже цветы. Зарубежные фирмы, понимая экономическую рентабельность таких производств, используют установки для получения растительной и рыбной продукции. Использование повторно воды также является положительным фактором. Особенно в странах, где она является ценным товаром. Это позволяет существенно экономить водные ресурсы, особенно при рециркуляции.

Аквапонные системы гораздо более урожайны по сравнению с гидропоникой и аквакультурой из-за формирования особой микробиологической среды (Корнеев, 1989).

Суть аквапоники — создание искусственной экосистемы, по аналогии с природной, функционирующей как единая целостная система: гидробионты → отходы их жизнедеятельности → бактерии → растения → гидробионты. В её основе лежат естественные природные процессы: отходы при выращивании рыб служат питательной средой для микроорганизмов и растений, которые естественным путём очищают водную среду и обогащают её кислородом. Далее она возвращается обратно в систему выращивания рыб.

Отходы жизнедеятельности гидробионтов помимо полезных для растений веществ содержат и вредные, которые растения не могут утилизировать. Так, в

большинстве своём в качестве метаболита выступает аммиак, который выводится из организма рыб почками и жабрами во внешнюю среду. В больших концентрациях он является токсичным как для рыб, так и для растений. Эту проблему решают микроорганизмы, превращая аммиак в нитриты, а затем нитраты, которые могут уже утилизировать растения, преобразуя водную среду в нетоксичную для жизнедеятельности рыб (Khiari et al., 2019). Система бактерий образуют пленку на всех твердых телах находящиеся в соприкосновение с водой. При использовании техники Глубокое Погружение (DeepFlow) корневая система растений погружена в воду, имея обширную площадь соприкосновения, где способны скапливаться бактерии. В то же время скорость нитрификации зависит от площади поверхности тела, на котором происходит процесс. Удаление продуктов жизнедеятельности рыб определяется объемом наполнителя фильтра, в то время как эффективность поступления питательных веществ в растение площадью корневой системы и интенсивностью света. Поэтому так важно при проектировании аквапонических систем, использующих субстраты в Технике Питательного Слоя (NFT), учитывать отношение объема к площади, достигая этим высокую степень очистки водной среды в которой принимают участие как бактерии при минимальном объёме, так и растения, требующие большой площади для утилизации питательных веществ (Graber, Junge, 2009). Исследования по использованию в гидропонных модулях в качестве субстрата минеральных веществ, их толщина не должна превышать 0,27 метра показали, что это позволяет растениям улучшить усвоение аммония и растворенного фосфора, а также снизить уровень химического (COD) и биологического (BOD5) окисления воды.

В некоторых вариантах аквапонической системы (Skar et al., 2015) для снижения концентрации аммиака применяют фильтры, которые увеличивает рост микроорганизмов, а для снижения окисляемости воды при нитрофикации часто добавляют вещества, не содержащие натрия, чтобы кислотность воды упала до нейтральной. Также в качестве дополнительного источника, необходимых для жизнедеятельности растений веществ, добавляют минералы.

Вследствие высокой гибкости аквапониических систем, имеется возможность создавать разные, в зависимости от задач, по сложности искусственные экосистемы, которые дают большую эффективность в выращивании гидробионтов и растений.

В качестве ключевого фактора влияющего на эффективность функционирования аквапониических систем выступает температура, влияющая на жизнедеятельность растений. Так как растениям требуется тёплая вода, поэтому, чаще всего, для аквапоники подбирают теплолюбивых гидробионтов. Подбор рыб и растений чаще всего диктуется экономической целесообразностью. При этом в аквапониической системе должен поддерживаться оптимальные для гидробионтов и растений гидрохимические показатели среды, и в первую очередь, уровень рН и насыщение воды кислородом.

Характерными частями аквапоники, являются поддон, биофильтр, отстойник, гидропонные системы, емкость для разведения рыб (Рисунок 7).

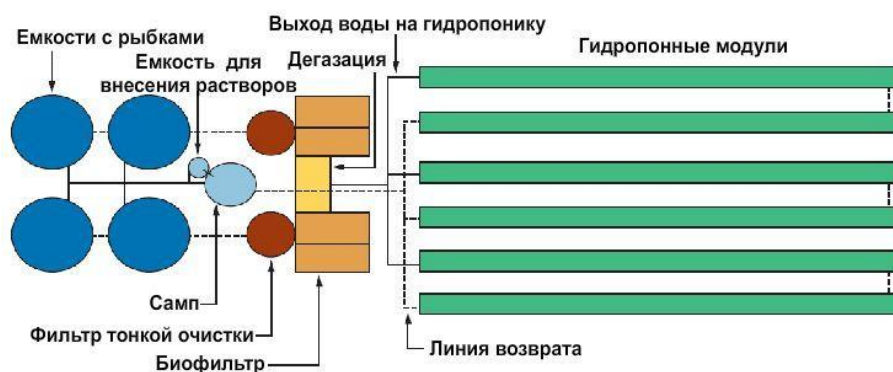


Рисунок 7 — Система аквапоники

Гидропонные системы не требуют установки отдельных фильтров и дополнительных устройств (например, осадителей), так как почти не содержат мелких твердых частиц из-за своей конструкции.

Основные элементы аквапонной установки представляют собой:

- 1) самп;
- 2) биофильтр;
- 3) гидропонная часть;
- 4) отсек для выращивания рыбы.



Изначально воду, необходимую для выращивания рыбы, обрабатывают и очищают от различных частиц. После этого вода поступает в фильтр, где она очищается от аммиака и различных нитратов. Далее она пропускается через гидропонный отсек: одна часть веществ всасывается растениями; другая же часть при помощи бактерий очищается от токсичных отходов жизнедеятельности. Далее вода попадает в резервуар для слива и с использованием помпы опять собирается в отсеке для выращивания рыбы.

Местонахождение емкости для слива различно. Например, самп устанавливается после фильтра, если в аквапонике есть гидропонный жёлоб.

Устройство систем аквапонике также может быть разным. Например, часть биофильтра может сопрягаться с гидропонным модулем. Данное объединение целесообразно, потому что снижаются траты на покупку отдельного фильтра и обеспечивается высокая фильтрация воды. Это одни из самых главных преимуществ аквапонике.

Существуют другие варианты конструкции, например, отсек аквапонике, где происходит удаления твердых частиц, можно объединить с фильтром и гидропоникой, потому что так возникает задержка твердых частиц и образуется поверхность для нитрификации.

Рыбы — одна из самых важнейших составных частей аквапонике. Продукты её жизнедеятельности являются питательными веществами для растений. Кроме того, рыба — источник белка и необходимых человеку омега-3 и омега-6 жирных кислот. Существуют различные виды рыб, поэтому время, когда их можно выращивать, также отличается: одни — летом, другие — в зимний период. Отдельное круглогодичное выращивание связано с большими материальными затратами для поддержания оптимальных параметров среды для рыб.

В аквапонных системах, как правило, выращивают пресноводные виды рыб, ракообразных и моллюсков. Чаще всего, такие виды рыб как тилапия, клариевый сом, баррамунди, нефритовый окунь обыкновенный пресноводный угрехвост, синежаберный солнечник, а также карп, кои и форель.

В качестве зелёной продукции для выращивания в аквапонных системах годятся зеленолистные овощи: базилик, кресс-салат, лук, салат латук, китайская капуста, земляника, редька, помидоры, перец, и а также различные бобовые.

В настоящее время такой способ комплексного земледелия широко используется в основном в США. Многие фермеры экоферм успешно выращивают экологически чистую сельскохозяйственную продукцию.

Фермеры, думающие о сокращении затрат водных и иных ресурсов, использования химических средств защиты, всё чаще используют сбалансированные экосистемы, производящие органические удобрения, позволяющие выращивать продукцию без вредных веществ. Примером чего может служить городская ферма «Растущее электричество» (Рисунок 8), владельцем которой является Уилл Аллен. Используя технологию аквапоники, он получает до 4,5 тонн рыбы и 500 тонн растительной продукции в год (Аквапоника для всех, 2015).



Рисунок 8 — Городская ферма «Растущее электричество»

При помощи аквапоники, можно выращивать клубнику, овощную продукцию, рыбную продукцию. Особую актуальность составляет использование данных установок в местах с недостатком воды, земли. Аквапоника, позволяет создать замкнутые системы, которые предусматривают поглощение азотистых

соединений, продуктов жизнедеятельности рыб, растениями. Выращивание происходит без использования пестицидов и гербицидов.

На сегодняшний день аквапоника стала частью промышленного сельского хозяйства и фермерского производства. С использованием этой системы можно получать на каждый килограмм рыбы до 7 кг растительной продукции (Graber, Junge, 2009). По данным Ковригиа (2016), данный комбинированный способ выращивания позволяет вырастить с 1 м<sup>3</sup> установки 8,828 кг вегетативной массы растений, что на 2,761 кг больше, чем традиционный способ выращивания растений.

Из-за того, что количество потребляемых растениями минералов зависит от роста, урожай принято собирать в определенном порядке, то есть, когда одну часть только сажают, другую уже собирают, поэтому в воде содержится стабильное количество питательных веществ и почти не содержится токсинов. Чаще всего в аквапонике разводят пресноводных рыб, но не редки случаи, когда разводят и морских животных, например, раков и креветок. Тиляпия — это одна из самых популярных рыб для домашнего и коммерческого разведения.

Под умеренный климат и без соблюдения температурного режима подходит выращивание сома или карпа. А если в системе не должно быть съедобной рыбы, то подходят декоративные рыбки. Для дальнейшего развития аквапоники необходимо иметь знания, как в рыболовстве, так и в гидропонике. Так как эффективность работы аквапоники зависит от многих различных факторов, влияющих на рост и развитие, как гидробионтов, так и растений. Например, насыщение воды кислородом, снабжение гидробионтов питанием, эффективное удаление из водной среды углекислого газа.

Световое излучение, электричество, корм для гидробионтов, кислород, вода являются главными потребляемыми элементами аквапонники. Основные принципы создания аквапонной системы были обоснованы Джеймсом Ракоси (Rakocy, 1997) из Виргинского университета:

- 1) контроль уровня кислотности среды;
- 2) эффективная фильтрация;

- 3) осторожность с агрегатами;
- 4) удаление отходов;
- 5) обеспечение аэрации воды на оптимальном для животных уровне;
- 6) постоянное кормление гидробионтов;
- 7) добавление минералов.

Коммерческое использование технологий аквапоники требует больших начальных вложений. Однако прибыльность этой технологии достаточно велика (Лебл, Савинова, 1988).

Аквапоника использует повторно воду, что является действенным средством для снижения себестоимости продукции. Однако в определенных случаях аквапонная система требует добавления воды. Например, чтобы восполнить её запасы при испарении. В сравнении традиционным ведением сельского хозяйства, аквапоника использует примерно два процента воды от той, которая необходима для орошения сельхозкультур. Для снижения затрат возможно скормливание зелёной массы выращенной в аквапонических системах животным. Аквапоника по производительности практически не уступает ни аквакультуре, ни гидропонике (Nichols, Savidov, 2012). Представляя собой сбалансированные экосистемы системы аквапоники способны производить овощные культуры, не содержащие токсичные вещества, которые часто встречаются при выращивании традиционными методами.

В России использование аквапоники ещё только набирает популярность среди населения, в то время как многие страны уже давно используют её для выращивания экологически чистой зелёной продукции в домашних условиях (Букреева, 2017).

«Аквапоника обладает большим потенциалом» — считает Лесли Тер Моршуизен, который так же является основателем компании Aquaculture Innovations (Беспочвенное изобилие, 2015). Питание главная задача для развивающихся стран, концентрирующихся на выращивание зерновых. Но рыба также является источником белка, что может решить проблему продовольственного кризиса.

В странах Евросоюза, также активно используют данную технологию и получают томаты и другие сельскохозяйственные продукты, с низким содержанием нитратов.

Таким образом, наиболее перспективным вариантом интегральной технологии, согласующейся с принципами зелёной экономики и ресурсосбережения, являются аквапоника, которая может обеспечить стабильный рост производства экологически чистых продовольственных продуктов.

Учитывая повышающийся с каждым годом спрос в России на экологически чистую продукцию, внедрение технологии аквапоника в нашей стране имеет большие перспективы по круглогодичному обеспечению рынка экологически безопасной продукцией аквакультуры и растениеводства.

Из проанализированных литературных источников можно заключить, что при культивировании объектов аквакультуры и растений в единой системе важно создать оптимальные условия для искусственного биоценоза, положительно влияющие на объекты выращивания, при котором соблюдается полная сбалансированность азотистых веществ в системе. Именно растительный блок снижает нагрузку на биофильтрационную систему и оказывает положительное влияние на рост объектов выращивания.

## ГЛАВА 2 МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования были проведены (Рисунок 9) на научно-экспериментальной базе в аквакомплексе Отдела водных биологических ресурсов бассейнов южных морей Южного научного центра РАН и Биоаквапарка — научно-технического центра аквакультуры Астраханского государственного технического университета.



Рисунок 9 — Программно-целевая схема исследований

Объектами проводимых исследований служили: русский осетр, гибриды осетровых рыб (сем. *Acipenseridae*) – стерлядь × белуга и русский осетр × сибирский осетр, тиляпия (сем. *Cichlidae*) и клариевый сом (сем. *Clarias*).

Исследования проводили в различных модулях интегрированной этажной установки, разработанной в ЮНЦ РАН и сконструированной на основе модулей и аналогичной Биоаквапарка АГТУ, рассчитанных на совместное выращивание различных объектов аквакультуры и сельскохозяйственной продукции. В их основе лежат принципы тесной взаимосвязи между гидробионтами и растениями. Это позволяет создавать наиболее благоприятные условия (искусственную экосистему), для совместного выращивания, способствующие интенсивному росту и развитию объектов, включенных в технологический процесс.

Функционирование ИЭУ основано на приспособлении условий выращивания к естественным биологическим потребностям культивируемых объектов. В ходе проведения экспериментов по выращиванию осетровых видов рыб, русского осетра (*Acipenser gueldenstaedtii* Br.), гибрида стерляди и белуги (*Huso huso* L. × *Acipenser ruthenus* L.), гибрида русского и сибирского осетра ленской популяции (*Acipenser gueldenstaedtii* Br. × *Acipenser baerii* Br.), тиляпии (род *Tilapia*) и клариевого сома (*Clarias gariepinus*) проводили контроль состояния экосистемы в рыбоводных бассейнах по основным гидрохимическим параметрам: температура, содержание кислорода, азотистые соединения и pH среды.

На рисунках 10 и 11 показана интегрированная этажная установка (ИЭУ) и её схема.



Рисунок 10 — Экспериментальная установка совместного выращивания растений и гидробионтов в ЮНЦ РАН

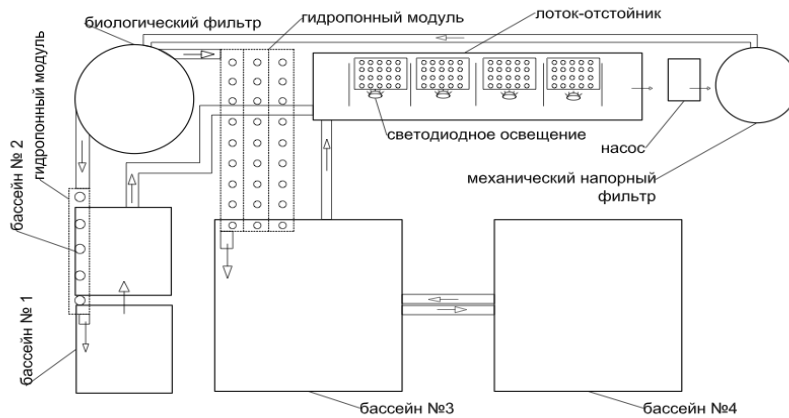


Рисунок 11 — Схема экспериментальной интегральной этажной установки совместного выращивания растений и гидробионтов

Она состоит из бассейнов, лотков, отстойников, фильтров (механических и биологических), составляющих аквакультурный модуль. Кроме того она оснащается приборами освещения плавающих платформ для растений и гидропонного модуля. Движение воды начинается наполнением бассейна №1 (осетровые и их гибриды), размером  $2,05 \times 2,05 \times 0,7$  м, затем, вода в последовательной схеме, самотеком, через центральный водоспуск-приямок, поступает в верхнюю часть бассейна №2, в котором выращивается тилапия или клариевый сом. Таким образом, вся вода (с растворенными и нерастворенными взвешенными веществами) из бассейна №1 перетекает в бассейн №2, в котором выращиваются более теплолюбивые объекты (сом, тилапия). Через центральный донный водоспуск-приямок, вода самотеком поступает в гравитационный лоток отстойник. В лотке-отстойнике происходит гравитационное осаждение взвешенных веществ, их концентрирование и, в дальнейшем — обезвоживание.



Лоток-отстойник представляет собой стекловолоконную емкость размером  $3,6 \times 0,6 \times 0,8$  м. Внутри разделен на 6 отсеков. Первый отсек служит для замедления скорости движения воды, и первичного сажения взвешенных веществ крупных фракций, последний — для водозабора насосом.

В четырех секциях лотка-отстойника располагаются элементы Raft-системы – плавающие платформы с растениями на минеральном субстрате. Затем технологическая вода поступает посредством создания избыточного давления нагнетания насосом в блок напорной механической фильтрации.

В качестве фильтрующего элемента используется кварцевый песок, размером 1,8–3 мм. После фильтрации вода поступает в биологический фильтр, выполненный по технологии MBBR. Биофильтр представляет собой цилиндрическую емкость из листового полипропилена, с донной аэрацией и плавающей загрузкой из полиэтилена низкого давления, защищенной площадью поверхности  $890 \text{ м}^2$ .

Объем загрузки биофильтра  $1,4 \text{ м}^3$ , совокупная максимальная нагрузка  $730 \text{ мг NH}_3^- \text{ NH}_4^+/\text{сут}$ . Вода подается в нижнюю часть биофильтра под давлением. Из блока биологической очистки очищенная от общего аммонийного азота, нитрит-ионов, стабилизированная в газовом отношении вода поступает в блок гидропонного модуля. Гидропонный модуль конструктивно представляет собой систему трубопроводов, плавающих платформ с отверстиями, в которые вставляются субстраты с растениями. После прохождения гидропонного модуля вода поступает в бассейн №1. Содержание в воде растворенного кислорода в различных бассейнах с гидробионтами и модуле гидропоники определяли с помощью анализатора растворенного кислорода МАРК-303Э, рН — ионометром И-160М.

Этажная установка замкнутого водоснабжения в АГТУ, принципиально не отличающаяся от таковой ЮНЦ (Рисунок 12), была зарыблена в конце мая 2018 г. молодью тилапии в количестве 35 шт. со средней массой 31,15 г.

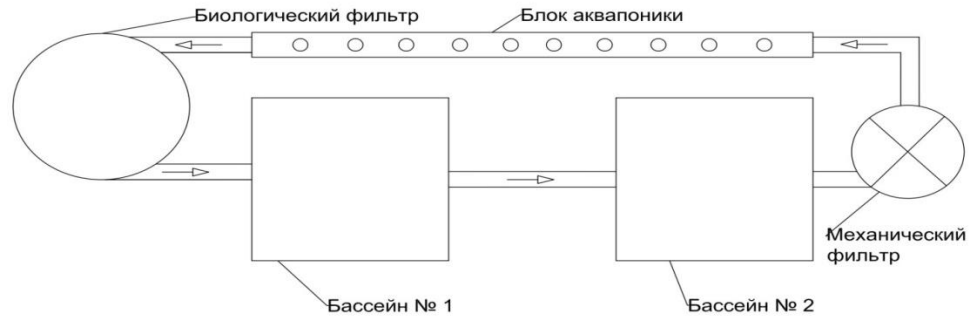


Рисунок 12 — Экспериментальная установка совместного выращивания растений и гидробионтов

На ней проводилось исследование по выращиванию тилляпии и сельскохозяйственных культур с добавлением бактериального изолята. Основные параметры среды в этажной установке при этом сохранялись в постоянстве, их колебания были незначительны. В период выращивания температура воды находилась в диапазоне 22–24 °С, и среднее ее значение составляло 22,9 °С. Концентрация кислорода находилась в пределах 11,1–14,12 мг/л, активная реакция среды — 7,4–8,4 ед. Кормление осуществлялось искусственными, готовыми кормосмесями, фирмы «Соррепс». Взвешивание и измерение рыбы проводилось согласно рекомендациям И.Ф. Правдина.

Для достижения максимального эффекта и высоких темпов роста в качестве объектов аквакультуры взяты рыбы из семейства осетровых, цихлид и сомовых.

**Осетровые рыбы.** Требуется чистая, хорошо аэрированная вода. Выделяют меньшее количество загрязняющих веществ, по сравнению с тилляпией. В этом блоке будет обеспечиваться наиболее чистая, аэрированная среда. Затем, вода из бассейна с осетровыми в объеме 100 % перетекает в бассейн с тилляпией.

**Цихлидовые рыбы.** Тилляпия отличается высокими темпами роста, выносливостью, не требовательностью к качеству воды, способностью усваивать атмосферный кислород из воздуха, высокой плодовитостью. Эта рыба неприхотливая к условиям содержания, качеству воды и температурным параметрам. За счет высоких конечных плотностей посадки образуется значительное количество рыбоводного осадка.

Тилапия — занимает второе место в мире по частоте разведения. Является перспективным объектом аквакультуры. В настоящее время ведется совершенствование технологии выращивания, с использованием интегрированной установки этажного типа (Ковалёв, 2006; Ковалев и др., 2004).

Последний блок использовали также для выращивания клариевого сома. Клариевый сом – теплокровный объект аквакультуры, который разводят при температуре в 20-36 °С, быстро набирающий массу. Минимальная температура для нереста составляет 18 °С. Неприхотливы и готовы поедать разнообразную еду.

Эксперименты были построены по следующей схеме (Рисунок 13). Сначала были проведены эксперименты последовательного выращивания гибрида стерлядь × белуга и клариевого сома и гибрида стерлядь × белуга с тилапией, при этом вода из бассейнов с осетровыми рыбами поступала в бассейны с сомом и тилапией. Далее эксперименты проводились с осетровыми, тилапией и сомом при последовательном выращивании объектов. После этого был введен блок аквапоники.

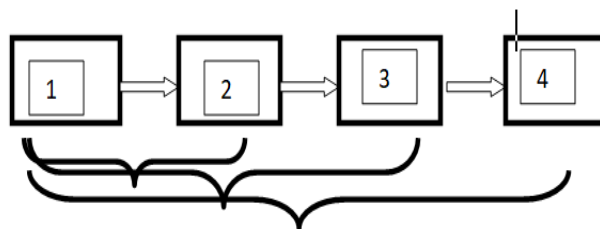


Рисунок 13 — Схема постановки эксперимента (рыба — растительные культуры): 1– бассейн с осетровыми рыбами; 2 – бассейн с тилапией; 3 – бассейн с клариевым сомом; 4 – блок аквапоники

Для оценки условий выращивания и влияния их на русского осетра, гибридов осетровых, клариевого сома и тилапию исследовалась динамика массовых характеристик и параметров, характеризующих функциональное состояние рыб по показателям белкового, жирового и окислительного обмена.

Эффективность применяемой интегрированной этажной технологии оценивали по абсолютному и среднесуточному приросту, среднесуточной скорости роста и коэффициенту массонакопления.

Измерение длины и массы рыбы осуществлялось в процессе взятия проб для физиологического анализа. Взвешивание и измерение рыбы проводилось согласно рекомендациям И.Ф. Правдина (1966).

Коэффициент упитанности рассчитывался по Фультону (Правдин, 1966), (1):

$$Q_{\Phi} = \frac{W \cdot 100}{l} \quad (1)$$

где:

$Q_{\Phi}$  – упитанность по Фультону;

$W$  – масса тела, г;

$l$  – абсолютная длина рыбы, см.

Анализ упитанности позволяет получить общее представление об условиях жизни исследуемого объекта, поскольку они подвержены значительным колебаниям в зависимости от изменения биотических и абиотических параметров водной среды.

Абсолютный прирост рассчитывался по формуле (2):

$$P = M_k - M_n \quad (2)$$

где:

$P$  – абсолютный прирост, г;

$M_k$  – масса конечная, г;

$M_n$  – масса начальная, г.

Среднесуточный прирост определяется по формуле (3):

$$C = \frac{m_k - m_n}{n} \quad (3)$$

где:

$C$  – среднесуточный прирост, г/сут.;

$m_k$  – масса в конце выращивания, г;

$m_n$  – масса в начале выращивания, г;

$n$  – продолжительность выращивания, сут.

Скорость роста — прирост рыбы в единицу времени. Скорость является абсолютной мерой роста за период, в который она учитывается. При использовании весового метода измеряется приростом в сутки, выраженным в граммах. Среднесуточную скорость роста вычисляли по формуле сложных процентов (4):

$$A = [(M_k/M_n) 1/T - 1] * 100 \quad (4)$$

где  $A$  — среднесуточная скорость роста, %;

$M_k$  — масса в конце выращивания, г;

$M_n$  — масса в начале выращивания, г;

$T$  — продолжительность выращивания, сут.

Определение коэффициента массонакопления проводили по формуле (5):

$$MK = \frac{\left(\frac{M_k}{3} - \frac{M_n}{3}\right) \times 3}{T} \quad (5)$$

где  $K_m$  — общий продукционный коэффициент скорости роста;

$M_k$  — масса в конце выращивания, г;

$M_n$  — масса в начале выращивания, г;

$T$  — продолжительность выращивания, сут.

Физиологическое состояние рыб оценивали по комплексу показателей крови: содержанию в крови сывороточного белка, гемоглобина, общих липидов и холестерина, а также скорости оседания эритроцитов после их адаптации к условиям выращивания. Кровь брали из хвостовой вены с использованием шприца.

Скорость оседания эритроцитов (СОЭ) является неспецифическим физиологическим показателем, отклонение которого от нормы даёт основание к началу более тщательного исследования других функциональных параметров животного. СОЭ определяли методом Панченкова (Лиманский и др., 1984).

Гемоглобин в крови, важнейший элемент реализации дыхательной функции животных, обеспечивает окислительно-восстановительные реакции. Концентрацию гемоглобина в крови определяли унифицированным цианметгемоглобиновым фотометрическим методом (Кушаковский, 1968)

Концентрация белка в сыворотке крови характеризует уровень белкового обмена. Сывороточный белок может снижаться в случае недостатка корма и ответной реакции на стресс. Содержание сывороточного белка определяли с помощью рефрактометра ИРФ-22 (Флиппович, 1975).

В качестве растительных культур использовали растения с коротким вегетационным периодом от 40 до 70 дней:

1. Салат – сорт «Витаминный»;
2. Шпинат – сорт «Жирнолистный» (высокая урожайность);
3. Клубника – сорт «Машенька» (раннеспелый сорт, самоопыляемая).

Для проращивания семян растений овощных культур были использованы гидропонные лотки с пробками из минеральной ваты. Обратная вода служила питательным раствором для выращивания растений. Для каждого сорта растения было задействовано по 15 пробок минеральной ваты. Когда растения подрастали, то методом пикировки каждое растение рассаживали в пластмассовые горшочки с керамзитом и помещали в гидропонные плавающие маты или специальную установку с проточной водой, которая поступала из бассейнов с рыбами.

Для нормального развития растений они круглосуточно подсвечивались светильниками собственной конструкции на основе однокристалльных светодиодов различного спектрального состава.

Перед посадкой семян в установку проводили определение всхожести, согласно ГОСТу 12038-84. Рыбу осетровых видов кормили продукционным кормом Biomar Efico Sigma 841 6,5 mm. Минимальный кормовой коэффициент для максимальной утилизации корма составлял 0,2–0,9 % от массы рыбы, в среднем был равен 1–1,3 %. Кормление осуществлялось 2 раза в сутки. Кормление соответствовало выбранной стратегии выращивания и текущим условиям. Хранение корма осуществлялось согласно рекомендациям производителя.

Тиляпию и клариевого сома кормили кормом Biomar, следующего состава: протеин — 44 %, жир — 16 %, перевариваемая энергия — 16, % мДж.

Минеральную вату использовали лишь для выращивания рассады. Долгое ее нахождение в сырой среде вызывает появление различных сине-зеленых водорослей, что приводит к изменению показателей среды, загниванию растений.

Показатели среды для выращивания рыбы и содержания растений методом аквапоники были одинаковые: температура воды – 20–24 °С; температура воздуха – 18–25 °С; кислород – 5–9 мг/л; рН – 6,3–7,8; влажность – 40–90 %; освещение от 1000 до 9000 лк.

Расстояние от осветительного прибора до растения от 20 до 50 см.

Гидрохимические анализы воды осуществляли при помощи следующих методов:

- нитритный азот (метод Бендшнайдера и Робинсона);
- нитратный азот (метод восстановления нитрата до нитрита в кадмиевых колонках с последующим определением нитритов)
- фосфаты (метод Морфи-Райли) (Руководство по химическому анализу морских и пресных вод, 2003).

Метод определения фосфатов по Морфи и Райли (2003).

К 50 мл пробы добавляют 4 мл реактива и 1 мл аскорбиновой кислоты, перемешивают в течение 10 минут и определяют оптическую плотность при помощи спектрофотометра. Раствор разливают в кюветы по 100 мл. Изменение цвета раствора происходит в течении 5–15 минут. В качестве эталона применяется дистиллированная вода, обработанная аналогично пробам и одновременно с ними (Руководство..., 2003).

Метод определения нитритов с реактивом Грисса. Метод заключается в том, что пробы воды разливают в цилиндры Нesslerа до метки 50 мл. После принятия пробам воды температуры лаборатории приливают к ним по 2,5 мл реактива Грисса и тщательно перемешивают. Через 40 мин. приступают к измерению оптической плотности при длине волны 543 нм (Методы..., 1978).

Метод определения нитратов с реактивом Грисса. В два чистых сухих стакана вместимостью 50 см<sup>3</sup> вносят по 30 см<sup>3</sup> анализируемой пробы воды и приливают пипеткой по 2 см<sup>3</sup> фосфатного буферного раствора. Стаканы

устанавливают на магнитную мешалку, погружают в анализируемую пробу перемешивающий элемент, измерительный электрод и вспомогательный электрод с двойным ключом или мостик. Включают мешалку и, после установления постоянного значения потенциала, записывают результат. Значение  $pNO_3$ , моль/дм<sup>3</sup>, анализируемых проб воды находят по градуировочной зависимости. Молярную концентрацию нитрат-ионов рассчитывают по следующим соотношениям (6):

$$pNO_3 = -\lg(NO_3^-), (NO_3^-) = 10^{pNO_3}, \quad (6)$$

где  $(NO_3^-)$  — молярная концентрация нитрат-ионов, моль/дм<sup>3</sup>. (Массовая концентрация нитратов в водах, 2017).

Количество нитратов в растениях определяли ионометрическим методом и нитритов фотометрическим согласно методическим указаниям для продукции растениеводства (Методические указания ... ,1989, <https://docs.cntd.ru/document/1200000148>).

Изучение микрофлоры рыбы были проведены с использованием микробиологических методов исследований. При исследовании проб воды делали посев методом разведения. Посевы нужно сделать не более чем через 30 минут после приготовления разведения. В пробирки с водой, содержащей 9 мл разбавителя, вносят 1 мл пробы воды. Перемешивают и из пробирки переносят 1 мл в следующую. Смесь тщательно перемешивают и делают посев по 1 мл в разогретую питательную среду. Для каждой группы микроорганизмов использовали соответствующую питательную среду.

Метод отпечатков — производят разогрев питательной среды до необходимой температуры и разлив ее в чашки Петри. Небольшие кусочки исследуемого образца (1 см × 1 см) отпечатываем на поверхность чашек. Чашки ставим на инкубацию при температуре в 26 °С. Данный метод позволяет за короткое время проверить тысячи колоний (Прозоркина, 2002).

Результаты анализов обрабатывались с применением методов биологической статистики с помощью пакетов программ Microsoft Excel: описательной статистики и вычислением t-критерия Стьюдента с определением



уровня значимости ( $p$ ) для сравниваемых неравночисленных малых выборок (Лакин, 1990).

### **ГЛАВА 3 ПОДБОР ОБЪЕКТОВ, ОБОСНОВАНИЕ И УСЛОВИЯ ИХ ВЫРАЩИВАНИЯ В ИНТЕГРИРОВАННОЙ ЭТАЖНОЙ УСТАНОВКЕ**

Установки аквапониического комплекса на основе УЗВ, предусматривающие многоцикличный режим выращивания различных по биологии водных животных и растений и в абсолютном значении являются искусственными биоценозами. Поэтому так важен подбор объектов аквакультуры и совмещение их оптимальных условий выращивания. Кроме того в аквапониической системе крайне необходим строгий контроль над параметрами водной среды и их динамикой, поскольку даже небольшой сбой в какой-либо части цикла может привести к серьёзным последствиям и, прежде всего, к сильному загрязнению продуктами разложения органики и высокому содержанию растворимых соединений азота. Накопление в среде критических значений содержания токсичных азотистых соединений может привести к массовой гибели культивируемых животных.

#### **3.1 Подбор объектов и экспериментальное обоснование их выращивания в модуле аквакультуры интегрированной этажной установки**

Для выбора основного объекта выращивания в модуле для объектов аквакультуры интегрированной этажной установки (ИЭУ) большую роль играет его потребительский возможности и экономическая целесообразность. В индустриальной технологии наиболее популярно выращивание осетровых рыб и их гибридов. Это экономически выгодное мероприятия, благодаря высокой стоимости конечной продукции и быстрой окупаемости производства. Для выбора наиболее перспективного основного объекта выращивания в искусственной экосистеме были проведены предварительные эксперименты по выращиванию в УЗВ, имитирующий модуль аквакультуры ИЭУ, русского осетра, гибрида стерлядь × белуга и гибрида русского и ленского осетра при плотности посадки 50 кг/м<sup>3</sup>. Результаты этого эксперимента отражены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2 — Динамика рыбоводных показателей русского осетра при выращивании в УЗВ

Показатели	Первые 30 суток	Последующие 30 суток
Масса начальная, г	31,15±2,68	43,06±5,03
Масса конечная	43,06±5,03	57,91±4,26
Абсолютный прирост, г	11,91	14,85
Среднесуточный прирост, г/сут.	0,40	0,50
Среднесуточная скорость роста, %	4,66	4,57
Коэффициент массонакопления, ед.	0,038	0,037
Коэффициент упитанности по Фультону, ед.	0,35±0,01	0,34±0,32

Из приведённой выше таблицы 2 видно, что во второй части опыта после 30 суток выращивания абсолютный и среднесуточный прирост у русского осетра был выше, как и среднесуточная скорость роста, а коэффициент накопления массы был немного ниже. В целом эти показатели были более низкими, чем у гибридных форм осетровых рыб (Таблица 3).

Таблица 3 — Показатели массовых характеристик у гибрида стерлядь × белуга и русского и ленского осетров при выращивании в УЗВ

Показатели	Гибрид русского и сибирского осетра	Гибрид стерлядь × белуга
Масса начальная, г	63,11±2,40	65,25±2,41
Масса конечная, г	79,40±3,30	95,21±3,29
Абсолютный прирост, г	16,29	29,96
Среднесуточный прирост, г/сут.	0,54	1,00
Среднесуточная скорость роста, %	4,34	4,96
Коэффициент массонакопления, ед.	0,032	0,055
Коэффициент упитанности по Фультону, ед.	0,28±0,01	0,30±0,02
Время эксперимента, сут.	30	30

Из трёх объектов осетровых рыб наилучшие показатели роста отмечены у гибрида стерлядь × белуга (Таблица 2, 3). Так среднесуточный прирост и

коэффициент массонакопления у этого гибрида были больше соответственно в 1,9 и 1,7 раза, чем у гибрида русский х сибирский осётр, а также в 2 и 1,5 раза больше, чем у русского осетра.

Из чего следует, что в качестве основного объекта выращивания в модуле для объектов аквакультуры аквапониической установки необходимо использовать гибрид стерляди × белуги. Этот гибрид очень хорошо подходит в качестве объекта для товарного выращивания (Пономарев, Иванов, 2009; Ponomareva et al., 2020). По скорости роста не уступает бестеру первого поколения и сходен с ним по морфометрическим признакам. Технологически получение этого гибрида в промышленных масштабах очень перспективно. На многих осетровых рыбоводных хозяйствах сформированы и успешно эксплуатируются маточные стада стерляди. Во многих случаях полученную икру от гибрида уже сейчас пускают на промышленную переработку. Самцы белуги также выращиваются в аквакультуре для целей искусственного воспроизводства. Полученная от них сперма вполне может использоваться для получения гибрида со стерлядью. Оптимальная температура водной среды для роста и развития осетровых рыб является диапазон от 19 до 24 °С (Матишов и др., 2011). Именно в этом температурном диапазоне наблюдается интенсивное потребление корма и его наиболее полное усвоение, результатом чего является увеличение интенсивности роста. Эксперименты, поставленные на молоди осетровых рыб, по термоизбиранию в градиенте температуры подтверждают, что оптимальной является температура в диапазоне 18–26 °С (Голованов, Голованова, 2015).

Другим объектом выращивания по параметрам среды подходящим к основному объекту выращивания по этажной технологии является клариевый сом. Он является одним из перспективных объектов культивирования в УЗВ. Эти сомы, как и другие представители семейства Clariidae, благодаря быстрому росту, устойчивости к неблагоприятным факторам среды и качественному мясу стали одними из самых распространенных объектов выращивания во многих странах мира. Дополнительным преимуществом разведения этого вида является способность сомов очищать сточную воду от неприятного запаха и цвета. Из них

наиболее важным для аквакультуры является *Clarias gariepinus*, латинский синоним – *C. lazera*, в Египте его называют кармут, а также минья. Клариевые сомы питаются в природе водными насекомыми, рыбами, моллюсками и высшей водной растительностью. Употребляют в пищу также наземных насекомых и фрукты. Можно считать их всеядными рыбами с большой тенденцией к хищничеству. Внутренние органы занимают небольшой объем (около 10 %) от массы тела. Клариевые сомы поднимаются к поверхности воды для “дыхания”, когда содержание кислорода в воде низкое, а в насыщенной кислородом воде живут без воздушного дыхания. Предпочитает температуру 25–30 °С. Он обладает высокой толерантностью к повышенному содержанию в воде соединений азота. Он имеет высокую скорость роста (время выращивания от личинки до товарной массы 1,2 кг составляет 6 месяцев), может выращиваться при очень высоких плотностях посадки (в отдельных случаях до 500 кг/м<sup>3</sup>), отличается высокой устойчивостью к заболеваниям.

Мясо у клариего сома получается экологически чистым и полезным. Биологическая ценность белка у клариевого сома не ниже мяса сельскохозяйственных животных. Оно хорошо переваривается и усваивается организмом.

Для того чтобы определить возможности его роста и развития при этажной технологии (модуль для аквакультуры) нами были проведены эксперименты. Клариевый сом выращивался в УЗВ и в бассейнах с поступлением воды из бассейнов, в которых выращивался гибрид стерлядь × белуга. И в том, и в другом случае почти все рыбоводные показатели у клариевого сома были примерно одинаковыми. Абсолютные значения таких удельных массовых характеристик, как среднесуточный прирост, коэффициент массонакопления и упитанности, показали аналогичную динамику (Таблица 4). При этом следует отметить, что плотность посадки клариевого сома была равнозначная в двух вариантах эксперимента, до 100 кг/м<sup>3</sup>.

Таблица 4 — Динамика показателей клариевого сома при выращивании в УЗВ и в модуле аквакультуры ИЭУ совместно с гибридом стерлядь × белуга

Показатели	УЗВ	ИЭУ (модуль аквакультуры) с гибридом стерлядь × белуга
Масса начальная, г	245,35±12,07	300,33±18,56
Масса конечная, г	386,86±16,73	467,48±26,09
Абсолютный прирост, г	141,51	167,15
Среднесуточный прирост, г/сут.	4,74	5,57
Среднесуточная скорость роста, %	5,36	5,31
Коэффициент массонакопления, ед.	0,10	0,11
Коэффициент упитанности по Фультону, ед.	0,56±0,02	0,67±0,01
Длительность опыта, сут.	30	

В качестве ещё одного объекта выращивания по этажной технологии, подходящего по температурным и условиям содержания является тилапия. Особенности свойства тилапии, выражающиеся в высокой адаптации к различным условиям среды и неприхотливости к пище, позволяют выращивать её в поликультуре с различными видами, в том числе и осетровыми (Жигин, 2003). Для результативного выращивания тилапии подходят температура среды 23 °С и выше. Оптимумом для них является температура 22–35 °С. Они могут жить в среде с повышенным содержанием биогенных элементов, переходить с растительной пищи на животную и наоборот. Весь цикл выращивания до товарной массы 200 г и выше укладывается 160–180 суток. При благоприятных условиях прирост массы составляет 3–5 г. За 4–6 месяцев в условиях УЗВ можно выращивать более 100 кг/м<sup>3</sup> тилапии. Тилапия - это деликатесное мясо, для которого характерно низкое содержание жира и отсутствие межмышечных косточек.

Поэтому на следующем этапе наших исследований были проведены эксперименты по выращиванию тилапии, в установке замкнутого водообеспечения и в модуле аквакультуры ИЭУ при выращивании на воде после

осетровых видов рыб, при плотностях посадки 100 кг/м<sup>3</sup> в том и другом случае. Результаты выращивания представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Показатели тилляпии при выращивании в УЗВ и в модуле аквакультуры аквапониической установки совместно с гибридом стерлядь × белуга

Показатели	УЗВ	Модуль аквакультуры с гибридом стерлядь × белуга
Масса начальная, г	10,50±0,29	10,33±0,31
Масса конечная,г	56,25±1,27	59,69±1,48
Абсолютный прирост, г	45,75	49,36
Среднесуточный прирост, г/сут.	1,53	1,65
Среднесуточная скорость роста, %	18,21	19,65
Коэффициент массонакопления, ед.	0,08	0,09
Коэффициент упитанности по Фультону, ед.	0,56±0,02	0,67±0,01
Длительность опыта, сут.	30	

Следует отметить, что при выращивании тилляпии на воде, поступающей из бассейнов для выращивания осетровых рыб, и при выращивании в УЗВ, достоверных отличий ( $p > 0,05$ ) выявлено не было, но отмечен её значительный рост и выживаемость.

При дальнейшем выращивании в течение 6-ти месяцев были получены положительные результаты по росту этих рыб. Результаты этих длительных экспериментов двух исследуемых групп рыб представлены в таблицах и графиках (Таблица 6, 7, Рисунок 14, 15) ниже. Как видно из представленных материалов, выращиваемые объекты показали высокий рост и выживаемость. За время проведения экспериментов, которое составило 178 суток, гибрид стерлядь ×

белуга достиг массы 513,7 г при выживаемости 96 % при совместном выращивании с тиляпией. Таким образом, общая сумма накопления массы гибрида за время эксперимента составила 508,54 г., а среднесуточная скорость роста — 2,80 %, при коэффициенте накопления массы 0,10.

Таблица 6 — Рыбоводные показатели последовательного выращивания в модуле аквапониической установки гибрида стерлядь × белуга и тиляпия

Показатели	Гидрид стерлядь × белуга	Тиляпия
Масса начальная, г	5,16±0,14	10,33±0,31
Масса конечная, г	513,7±7,10	326,5±10,57
Абсолютный прирост, г	508,54	316,17
Среднесуточный прирост, г/сут.	2,86	1,89
Среднесуточная скорость роста, %	56,24	18,96
Коэффициент массонакопления, ед.	0,10	0,08
Выживаемость, %	90	92
Длительность опыта, сут.	178	178
Плотность посадки, кг/м <sup>3</sup>	40	100

Тиляпия в процессе эксперимента также показала высокий рост и выживаемость. Общий прирост за длительный период выращивания составил 336,97 г, среднесуточный прирост 1,89 г, при среднесуточной скорости роста 2,13 % и коэффициенте накопления массы 0,08. К концу эксперимента её масса достигла 347,3±10,57, г при выживаемости 92 %.

Паралельно проходили эксперименты по дальнейшему выращиванию гибрида стерлядь × белуга и африканского клариевого сома. По истечении 6-ти месяцев также были получены высокие рыбоводные показатели (Таблица 7).

Таблица 7 — Рыбоводные показатели последовательного выращивания в модуле аквакультуры аквапониической установки гибрида стерлядь × белуга и клариевого сома



Показатели	Гидрид стерлядь × белуга	Клариевый сом
Масса начальная, г	5,16±0,11	10,2±0,28
Масса конечная, г	513,7±6,12	1027,55±73,46
Абсолютный прирост, г	508,54	1017,35
Среднесуточный прирост, г/сут.	2,83	5,72
Среднесуточная скорость роста, %	56,24	63,26
Коэффициент массонакопления, ед.	0,10	0,13
Выживаемость, %	91	97
Длительность опыта, сут.	178	178
Плотность посадки, кг/м <sup>3</sup>	150	40

Хотя сом, также как и тиляпия, относятся к теплолюбивым видам аквакультуры, но в диапазоне температур от 25 °С до 26 °С он показал высокий рост и выживаемость, которая за время эксперимента составила 97 %. Общий прирост составил 1017,35, среднесуточный прирост 5,72 г, при среднесуточной скорости роста 2,81 % и коэффициенте накопления массы 0,13.

В этом эксперименте прирост гибрида достигал 502,82 г, при выживаемости 91 %.

Проведённые эксперименты показали достаточно высокую эффективность совместного выращивания этих объектов. Динамика изменения массы объектов во время последовательного выращивания в аквAPONической системе представлена на рисунках 14 и 15.

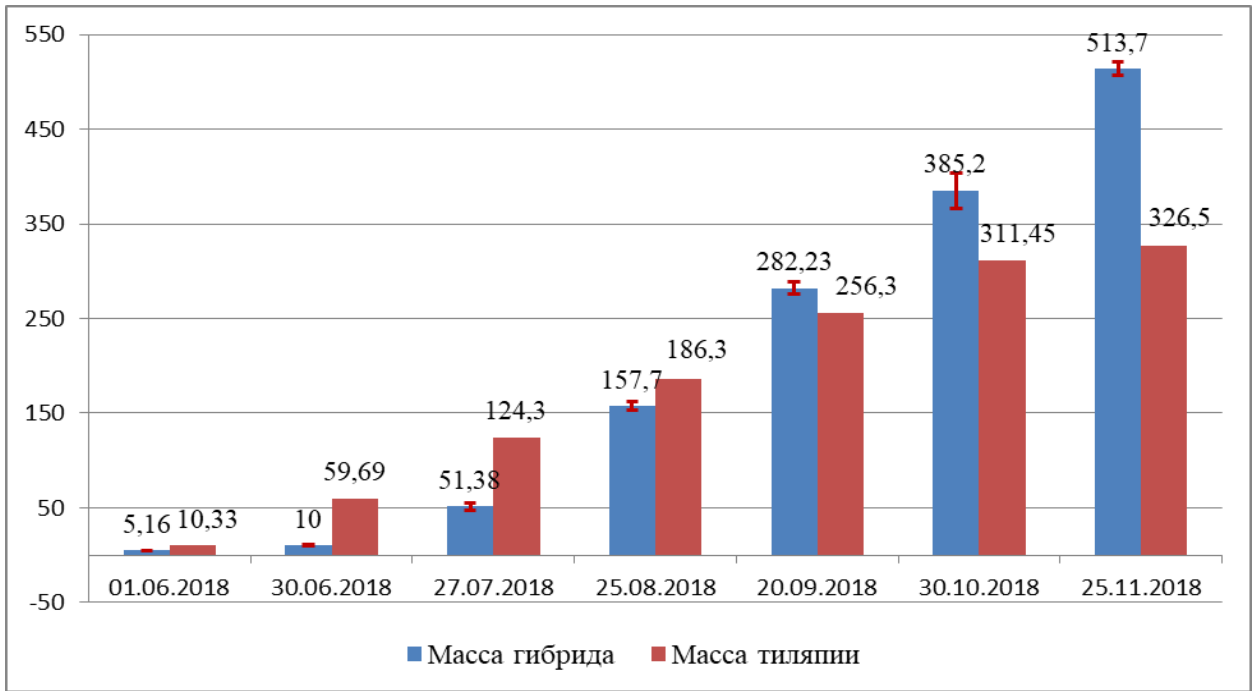


Рисунок 14 — Динамика изменения массы гибрида стерлядь × белуга и теляпии

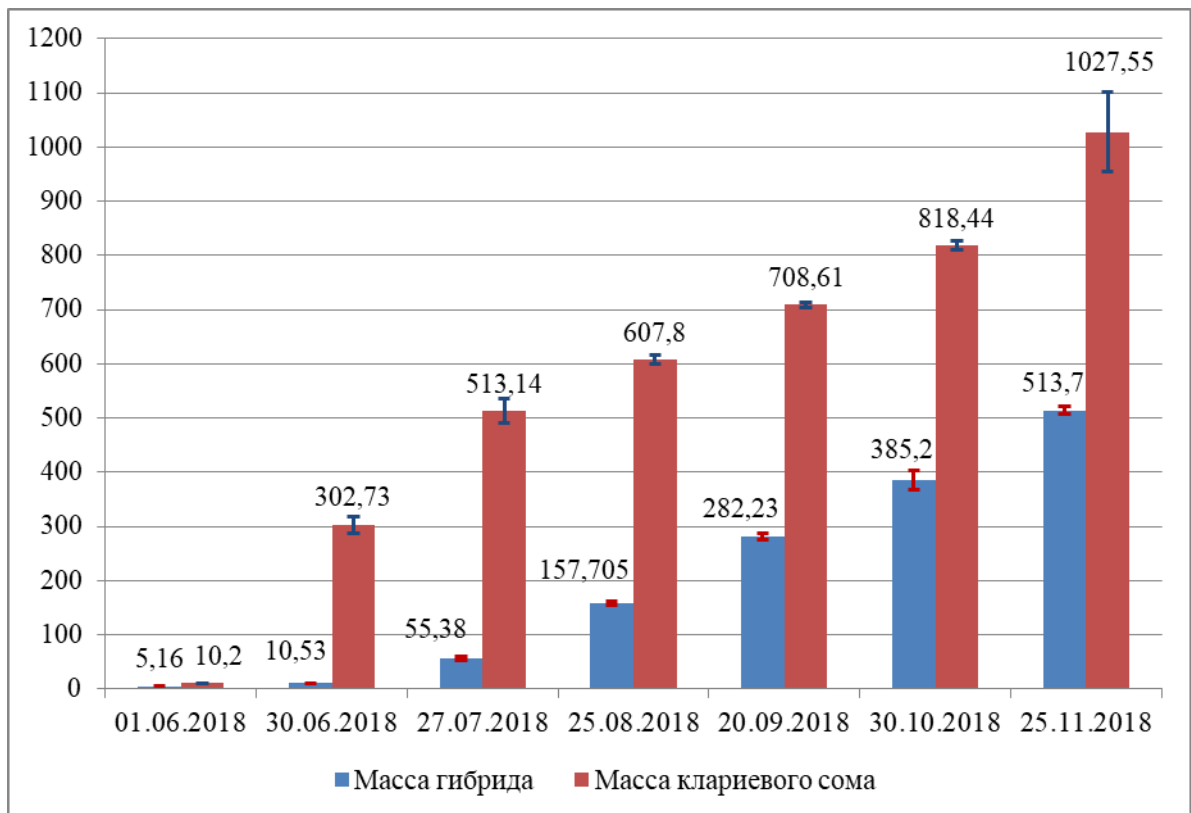


Рисунок 15 — Динамика изменения массы гибрида стерлядь × белуга и клариевого сома

Как видно из представленных рисунков, из всех трех исследованных видов наибольшие показатели накопления массы наблюдали у клариевого сома. За 178

суток проведения эксперимента тилапия как и клариевый сом достигают товарной массы.

Проведенные эксперименты показали, что при последовательном выращивании нескольких объектов в одной системе можно получить хорошие результаты и дополнительный прирост с единицы площади.

Таким образом, нами показано, что при совместном выращивании двух групп рыб в аквакультурном модуле ИЭУ: гибрида стерлядь × белуга и тилапии или клариевого сома в течение 178 дней, исследуемые объекты имели высокий прирост массы, а выживаемость достигала более 90 %. Масса гибрида стерлядь × белуга достигла 513,7 г, тилапии — 326,5 г, клариевого сома — 1027, 55 г.

### **3.2 Подбор, обоснование и экспериментальное формирование водной среды удовлетворяющей условиям совместного культивирования рыб и растений**

Создание необходимых условий для нормального развития и роста одновременно всех объектов выращивания в многоступенчатой технологии исключительно трудная задача, поскольку для конкретных растений и гидробионтов нередко необходимы различные экологические условия. Создание такой технологии требует проведения научно-исследовательских и экспериментальных работ, дорогостоящей контрольно-измерительной техники и дозирующих устройств.

С теоретических позиций системный подход к разработке такой биотехнологии рассматривает потребности выращиваемых объектов в едином комплексе интегративных свойств, которые могут обеспечить положительный конечный результат, то есть получение максимального количества разнообразной высококачественной продукции с минимальной площади.

При разработке технологии для аквапонических установок на основе УЗВ и их проектирование необходим системный подход, который должен ориентироваться на ряд теоретических положений и, прежде всего:

- определение внешних и внутренних целей системы;

- отношение системы с внешней средой;
- интегральный эффект при совмещении объектов выращивания;
- прогнозирование поведения системы;
- информационные потоки внутри системы;
- выбор методов управления системой.

Системный подход должен основываться на таких принципах как:

- система как единое целое отдельных компонентов;
- динамичность системы, возможность её модификации;
- приоритет функции над структурой;
- сочетание децентрализации и централизации;
- соподчинение отдельных компонентов системы;
- способность выполнить поставленные цели;
- глобальная цель — ответственность за выбор конечной цели.

Нами был выбран интегральный подход при совмещении объектов выращивания в системе УЗВ на основе исследований биологических особенностей, роста, развития, а также отношения к гидрохимическим и гидрологическим показателям окружающей среды различных гидробионтов и растений. Для этого было проведено теоретическое обоснование последовательного распределения объектов аквакультуры и растений на основе их экологических предпочтений методом аквапоники в установке замкнутого водообеспечения (экспериментальных образцах) с учетом перемещения воды по циклу и ее очищения различными биологическими объектами и техническими средствами.

Среди значительного количества биотехнологий применяемых для интегрированного товарного выращивания гидробионтов сельскохозяйственного назначения, большой практический интерес сегодня представляет совместное выращивание рыбы и растений (Сборник..., 2015). Это связано с тем, что рыба и растения имеют сходные потребности в энергетических и тепловых затратах. Такое выращивание позволяет разнообразить ассортимент продукции, повысить

эффективность производства каждой культуры, улучшить экономику (Власов, 2015).

Существуют разнообразные замкнутые системы, в которых культивируются рыбы и растения. При использовании в УЗВ теплой воды можно получать как рыбную, так и растительную продукцию круглый год. При выращивании рыб в бассейнах с высокой плотностью посадки (50–150 кг/м<sup>3</sup> и выше) в воде в значительных количествах накапливаются продукты обмена рыб, особенно в системах с оборотным и замкнутым водоснабжением. Окисление продуктов обмена рыб и остатков кормов приводит к накоплению в воде значительного количества нитратов и фосфатов, которые можно удалять из системы при помощи различных отстойников и фильтров. Вместе с тем продукты азотистого обмена могут быть использованы при выращивании овощных и иных культур в качестве питательных веществ. Используя рационально нитраты, образующиеся в результате жизнедеятельности рыб, мы одновременно создаём оптимальные условия для объектов аквакультуры и можем регулировать содержание этих веществ в растениях, используемых в дальнейшем для питания человека.

Способ выращивания растений, предусматривающий исключительно аммонийное питание, является наиболее перспективным, поскольку аммонийное питание растений, когда в качестве корнеобитаемой среды используют почвы, обеспечить очень трудно. Это вызвано тем, что микрофлора почвы в условиях оптимальной влажности, аэрации и высокой температуры очень быстро превращает аммоний в нитраты (Жигин, 2003; 2011). При бассейновом выращивании рыб в системах с замкнутым водоснабжением и овощных культур в гидропонных системах с минеральным питанием эти проблемы устраняются.

Как правило, для выращивания в аквапонической системе используют теплолюбивые виды рыб, чтобы совместить температурный диапазоны гидробионтов и растений. В наших исследованиях осетровые рыбы нами были приняты как базовые, на оптимальные условия которых ориентированы все технологические процессы выращивания других объектов. Осетровые и, в

частности, гибрид стерлядь × белуга, обладают высокой адаптивной пластичностью, а также товарными или потребительскими качествами.

Подбор оптимальных показателей температуры воды является достаточно сложной задачей, так как температура водной среды определяет скорость протекания и уровень обменных процессов в организме выращиваемых объектов. Как было показано выше для осетровых рыб, оптимальный температурный диапазон для интенсивного роста колеблется в пределах 18–26 °С. Другие виды, такие как клариевый сом и тилапия предпочитают более высокие температуры – 25–30 °С. Растительные культуры — температурный режим от 24 °С и выше до 26–28 °С.

Поэтому в одну из задач наших научных исследований входил подбор параметров водной среды для рыб и растений при их совместном культивировании близкие к оптимальным. Они также должны были удовлетворять потенциалам роста выбранных объектов культивирования. Контроль параметров водной среды по основным гидрохимическим показателям проводили в течение всего периода проведения экспериментов.

В предварительных исследованиях по выбору основного объекта выращивания в ИЭУ в бассейнах с осетровыми рыбами в основном поддерживалась оптимальная для них среда (Рисунок 14, 15, 16). Оптимальные условия — это наилучшее качество и состав воды, температурный и кислородный режимы, обеспечивающие наибольший прирост и развитие выращиваемых рыб. Ведущую роль в оптимальных условиях водной среды принадлежит температуре. Она оказывает влияние на потребление рыбами корма, интенсивность его поиска, и уровень потребления кислорода. Оказывает она влияние и на гидрохимический состав воды, особенно в установках замкнутого водоснабжения и на уровень работоспособности микроорганизмов в системе биологической очистки воды. Так при повышении температуры воды на 4 °С содержание аммония уменьшается на 50 %, а нитратов на 12 % по отношению к исходным значениям (Жигин, 2003; 2011). Осетровые не так чувствительны к снижению концентрации в воде кислорода, как холодолюбивые объекты аквакультуры, однако из-за высоких

плотностей посадки в УЗВ необходимо поддерживать его высокий уровень – не менее 70–85 % насыщения, который не оказывает угнетающего воздействия на рыб. Не маловажным является и поддержание в среде оптимального рН. Этот показатель должен находиться в пределах 7,1–7,8 единиц, являющийся оптимальным для функционирования нитрофицирующих бактерий.

В период проведения наших экспериментов по выращиванию осетровых рыб температура и процент насыщения воды кислородом составили в среднем 21,55 °С и 76,61 %, при температуре воздуха в помещении 22–23 °С. Такой диапазон температур оказал наиболее положительное влияние на интенсивность роста осетровых, что рассмотрено в разделе 3.1.

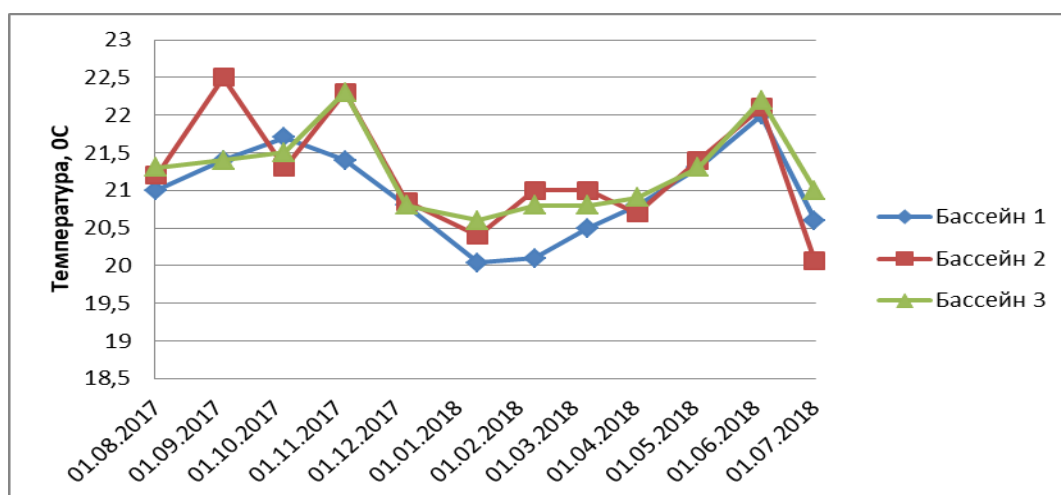


Рисунок 16 — Температурный режим в бассейнах аквакультурного модуля с осетровыми. Бассейны: 1– русский осётр; 2 – гибрид стерлядь × белуга; 3 – гибрид русский осётр × сибирский осётр

Насыщение воды кислородом в основном колебалось в пределах 70–85 % (7,8–9,5 мг/л), что является оптимальным для осетровых рыб (Рисунок 17). Максимальное значение насыщения воды кислородом достигало 98–100 % (9,7–9,9 мг/л), минимальное – опускалось до 46 % (6,8 мг/л). Содержание кислорода в воде регулировали с помощью аэраторов.

В отдельные дни, при повышении температуры воды до 22,5 °С, отмечали снижение концентрации растворенного в воде кислорода ниже 60 %, т.е. 5,1 мг/л.

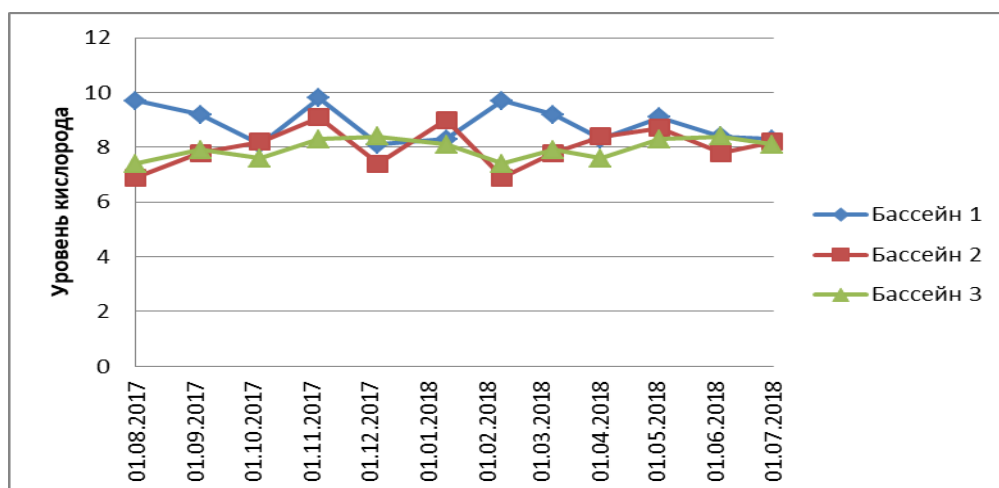


Рисунок 17 — Динамика содержания (мг/л) кислорода в воде в бассейнах аквакультурного модуля с осетровыми. Бассейны: 1 – русский осётр 2 – гибрид стерлядь × белуга 3 – гибрид русский осетр × сибирский осетр

Кроме того, уровень содержания биогенных веществ в это время тоже немного увеличивался. Значения рН в основном колебались в пределах от 7,60 до 8,10, для осетровых рыб этот показатель должен находиться в пределах 7,8–8,0 (Рисунок 18). Падение рН ниже нормативных связано с неустойчивой работой биофильтра, однако добавление в УЗВ бактериального штамма стабилизировало функционирование биофильтра и вернуло этот показатель в нормативный диапазон.

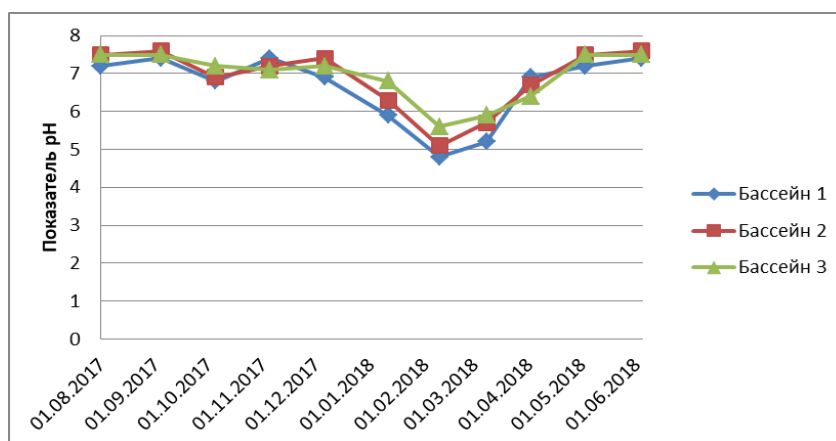


Рисунок 18 — Динамика показателя рН в бассейнах аквакультурного модуля с осетровыми. Бассейны: 1- русский осётр 2 – гибрид стерлядь × белуга 3 – гибрид русский осетр × сибирский осетр

Таким образом, исследование воды в рыбоводных емкостях во время выращивания осетровых рыб выявило некоторые колебания основных гидрохимических показателей. Однако их средние значения находились в пределах технологической нормы.



Поддерживание большую часть времени выращивания осетровых рыб трех основных показателей водной среды в оптимальных пределах способствовало их быстрому росту.

Далее нами проведены исследования по подбору гидрохимических показателей для африканского сома и тилляпии.

Биологические особенности клариевого сома при выращивании в УЗВ в монокультуре позволяют иметь относительно широкие параметры водной среды, кроме температуры.

В природных условиях клариевые сомы поднимаются к поверхности воды для «дыхания», когда содержание кислорода в воде низкое, а в насыщенной кислородом воде живут без воздушного дыхания (Власов, 2019). Предпочитают температуру 23–30 °С, перестают питаться при ее снижении до 17–18 °С, гибнут при длительном пребывании в воде с температурой 14–15 °С, но выдерживают кратковременное снижение до 5 °С. Сом обладает высокой устойчивостью к повышенному содержанию в воде соединений азота, как и к колебаниям рН в пределах 6,5–8 ед. Однако концентрация аммиака ( $\text{NH}_3$ ) — 6,5 мг/л является для него летальной.

Несмотря на широкое распространение клариевого сома в мировой аквакультуре опыт его выращивания в России незначителен. Технологии же совместного выращивания с другими объектами в единой системе (этажного типа) практически не отработаны. Отсутствует нормативно-техническая документация на интегрированные установки при выращивании гидробионтов в поликультуре.

Вместе с тем, проведение теоретических исследований по определению оптимальных параметров искусственных биоценозов, каковым является ИЭУ, предполагает подбор компромиссных вариантов режимов культивирования намеченных объектов. Во всех вариантах экспериментальных работ по выращиванию клариевого сома в УЗВ в монокультуре, проведённые Д.В. Артеменковым, параметры среды, как утверждает автор, соответствовали оптимуму. Температурный диапазон 25–30 °С, содержание кислорода не менее 2

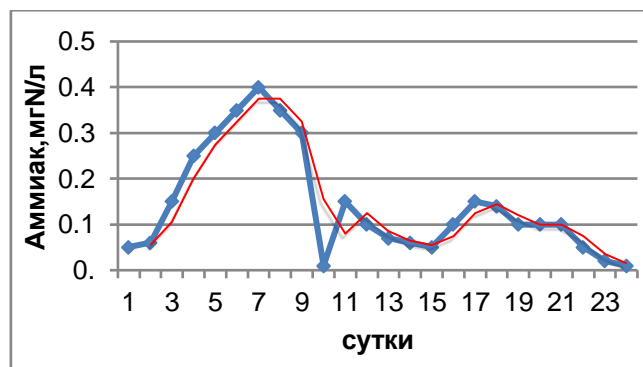
мг/л, рН 6–8, концентрация аммония  $\text{NH}_4$  не более 10 мг/л, нитратов  $\text{NO}_3$  до 100 мг/л и нитритов  $\text{NO}_2$  до 1 мг/л.

Если для осетровых видов рыб, в частности гибрида стерлядь × белуга температура 24–25 °С является верхними оптимальными величинами, то клариевого сома почти нижней границей. Поэтому для совместного выращивания была выбрана температура воды оптимальная для двух видов в пределах 24–25 °С.

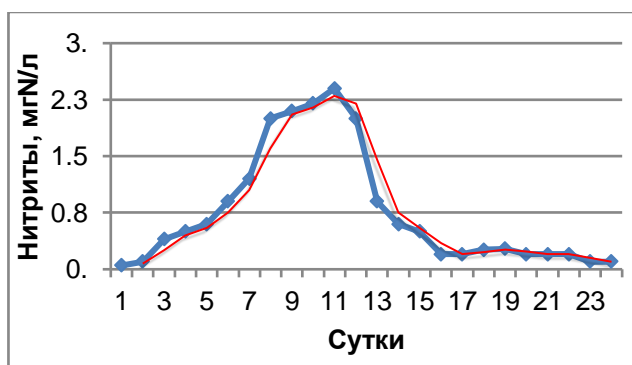
И третьим объектом для совместного выращивания являлась тиляпия, как один их объектов тепловодной аквакультуры. Диапазон оптимальных температур для тиляпии колеблется также как и у африканского сома в диапазоне от 25 °С до 30 °С. Но, однако, есть сведения, что тиляпия хорошо растет и при температуре 24 °С (Пырсигов и др., 2017). Однако существенные перепады температуры приводят к тому, что тиляпия перестаёт питаться, а их экстремальные значения – к гибели рыб (Пырсигов, 2017). Наиболее ценными видами для выращивания в аквакультуре являются тиляпии мозамбикская (*Oreochromis mossambicus*), тиляпия голубая — *Oreochromis aureus*, тиляпия нильская — *Oreochromis niloticus* и красная (*Tilapia sp.*). Эффективное выращивание тиляпии в нашей стране возможно только в водоемах с регулируемым температурным режимом и южных регионах РФ. Тиляпии можно не только выращивать, приобретая посадочный материал в рыбоводных хозяйствах, но и разводить самим, так как маточное стадо можно содержать в небольших по объему емкостях, в обогреваемом помещении. Размножение проходит при температуре 24–28 °С (Бурлаченко, 2005). Для выращивания в УЗВ оптимальной средой для тиляпии являются следующие параметры воды: рН от 6,5 до 7,5, содержание кислорода от 3 до 24 мг/л, при концентрации метаболитов в виде нитритов, нитратов и аммиака соответственно 0,02, до 60 и 0,3 мг/л, (Жигин, 2011).

Таким образом, исходя из выше приведённых сведений, нами была выбрана наиболее подходящая для выращивания всех трех объектов аквакультуры в ИЭУ температура воды в 24–25 °С. По остальным гидрохимическим показателям наиболее требовательными при выращивании их в УЗВ оказались осетровые рыбы, и особенно к содержанию азотистых веществ. В установках замкнутого

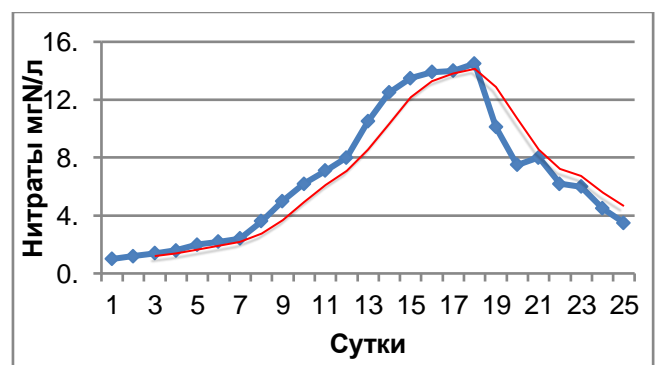
водообеспечения их концентрации регулируются биофильтром. При этом самым сложным является пусковой период установки замкнутого водоснабжения, во время которого происходит формирования биофильтра (Коваленко, 2007). Высокие концентрации азотистых соединений в наших экспериментах отрицательно повлияли на рост осетровых рыб, в частности нитратов ( $\text{NO}_2$ ) и аммония ( $\text{NH}_4$ ), отмечались в воде на 5–12 сутки, а нитратов ( $\text{NO}_3$ ) на 12–19 сутки эксплуатации установки (Рисунок 18). К этому времени максимальное содержание аммиака достигло на 7 сутки 0,4 мгN/л, нитратов на 11 сутки – 2,4 (исходя из графика) мгN/л, нитратов на 18 сутки – до 14,5 мгN/л. Стабилизация гидрохимических показателей наблюдалась, начиная с 20-х суток работы системы (Рисунок 19), что согласуется с данными многих авторов (Овчинников, 1990; Козырь, 2019).



А



Б

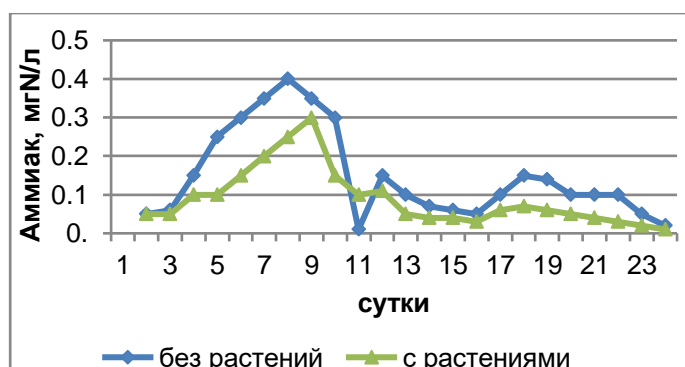


В

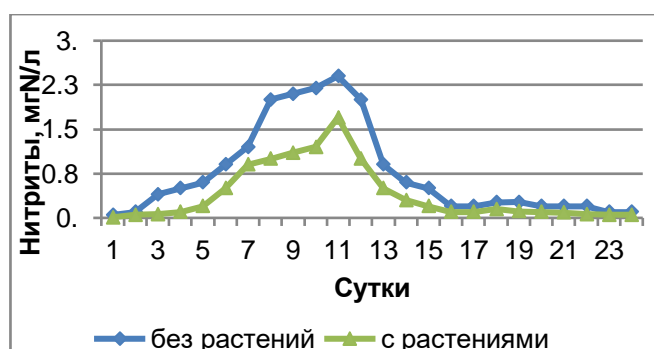
Рисунок 19 — Динамика количества азотистых соединений при запуске биофильтра: А – азота аммония, Б – нитриты, В – нитраты, красным цветом выделены линии тренда

Введение блока аквапоники (растительные культуры) в ИЭУ позволило снизить пиковые точки накопления аммиака, нитритов и нитратов в системе:

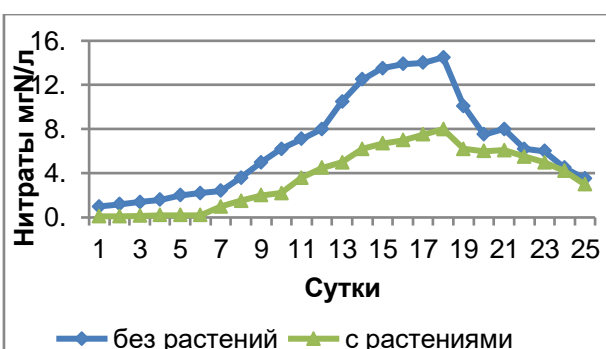
аммиака — до 0,3 мгN/ л (1,3 раза), нитритов — до 1,7 мгN/ л (1,4 раза), нитратов — до 8 мгN/ л (1,8 раза) (Рисунок 20).



А



Б



В

Рисунок 20 — Динамика содержания азотистых соединений при запуске биофильтра в обычном режиме и с растениями: А – аммиак, Б – нитриты, В – нитраты

В наших экспериментах предусмотрен также и микробиологический контроль в период запуска. Особенно важно, что субстратом для *Nitrobacter* являются нитриты. В нашем случае особенно важно, что для этой бактерии нужен узкий диапазон значений нейтральных показателей рН, так как в кислой и щелочной среде бактерия не развивается (Овсянников, 1870). Следует отметить, что *Nitrosomonas* развивается после минерализации органических веществ под воздействием микроорганизмов с образованием аммиака, который сдерживает развитие *Nitrobacter*, окисляющих нитриты. Появление их в воде УЗВ, говорит о том, что основная масса органики уже минерализована. Следующим этапом является денитрификация под влиянием гетеротрофных бактерий рода *Pseudomonas*, *Bacterium*, *Micrococcus*, являющихся факультативными анаэробами.

В наших экспериментах выход на рабочий режим биофильтра установки УЗВ зависел от условий необходимых для развития нитрифицирующих бактерий. Оптимальными условиями для их развития являются: температура воды в пределах от 22 до 24 °С, рН — 6,6–7,5, а насыщенность воды кислородом до 7 мг/л. (Коваленко, 2007). В наших экспериментах наиболее оптимальной для развития нитрифицирующих бактерий была среда в биофильтре с гидрохимическими показателями воды в установках с гидропоникой (Рисунок 18). То есть при выращивании с растениями нитрофицирующие бактерии развивались быстрее, что сказалось на сокращении срока выхода на рабочий режим биофильтра. После чего оборотная вода, поступающая в бассейны с рыбой, полностью отвечала технологическим требованиям. Изменения рН водной среды находилось в пределах 7,2–7,5, что является оптимальным для осетровых рыб. Имеются данные (Коваленко, 1990), что колебания рН близкие к оптимальным, способствует росту молоди и специфичны для каждого вида рыб, при этом происходит снижение интенсивности дыхания, суточного рациона и расхода кислорода на единицу прироста.

Отмеченные превышения были кратковременные и негативного влияния на исследованные объекты не оказывали. В дальнейших опытах при температуре 23–24,5 °С в системе при последовательном выращивании осетровых видов с другими объектами гидрохимические показатели воды были в границах нормативных показателей (Таблица 8).

В других наших экспериментах, при совместном последовательном выращивании гибрида осетровых (стерлядь × белуга), тилляпии и сома в аквапонической системе были проведены исследования гидрохимических показателей в бассейнах с рыбой и после блока аквапоники.

Таблица 8 — Гидрохимические параметры воды в бассейнах аквапонической установки ИЭУ

Показатели	Min	Max	Технологическая норма (по Жигину, 2011)
рН	7,1	8,3	7,2–8,0
Взвешенные вещества, мг/дм <sup>3</sup>	3,2	4,5	До 30

Мутность, мг/дм <sup>3</sup>	0,46	0,61	–
Нитраты, мг/дм <sup>3</sup>	11,5	65,54	До 60
Нитриты, мг/дм <sup>3</sup>	0,02	0,24	До 0,1-0,2
Окисляемость перманганатная, мг/О <sub>2</sub> / дм <sup>3</sup>	7,15	7,45	10–15
Аммонийный азот, мг/дм <sup>3</sup>	1,2	1,8	2–4
Фосфаты, мг/дм <sup>3</sup>	0,04	0,06	0,2–0,5
ХПК (окисляемость бихроматная), мг/О <sub>2</sub> / дм <sup>3</sup>	28,7	31,0	20–60

Температура колебалась в пределах 24,2–26 °С, рН от 7,3–8,1 ед., кислород — от 7,5 до 9,1 мг/л (Рисунок 21, 22, 23).

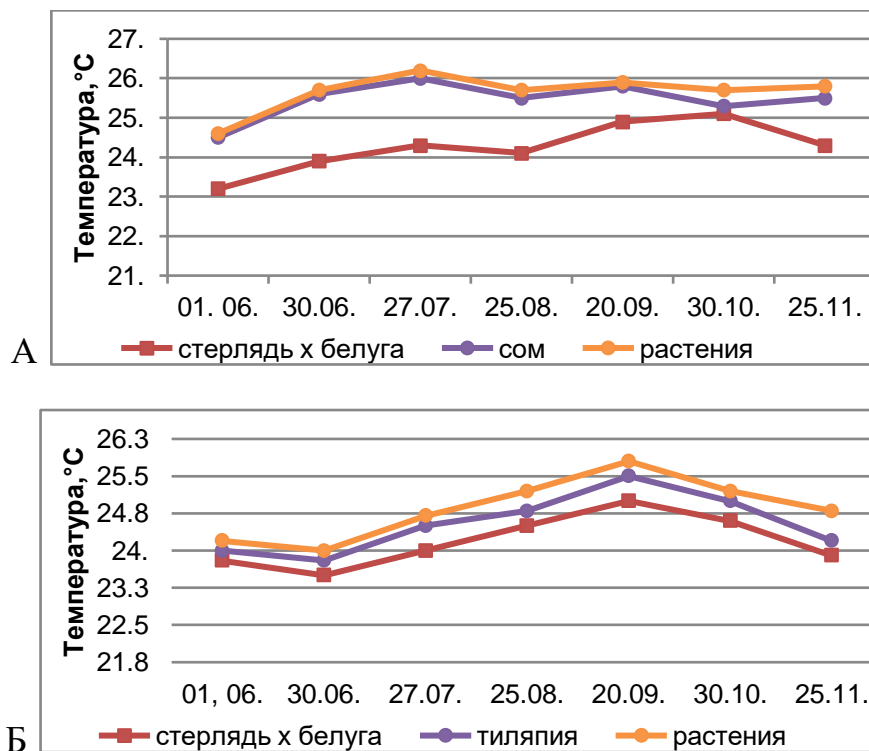


Рисунок 21 — Показатели температурного режима при совместном выращивании рыбы и растительных культур: А — стерлядь × белуга, сом и растительные культуры; Б — стерлядь × белуга, тиляпия и растительные культуры

На графике видно, что температура в аквапонической установке при проведении эксперимента колебалась с 23,2 °С до 26 °С. Значения рН варьировали в пределах от 7,1 до 8,3 (Рисунок 22).

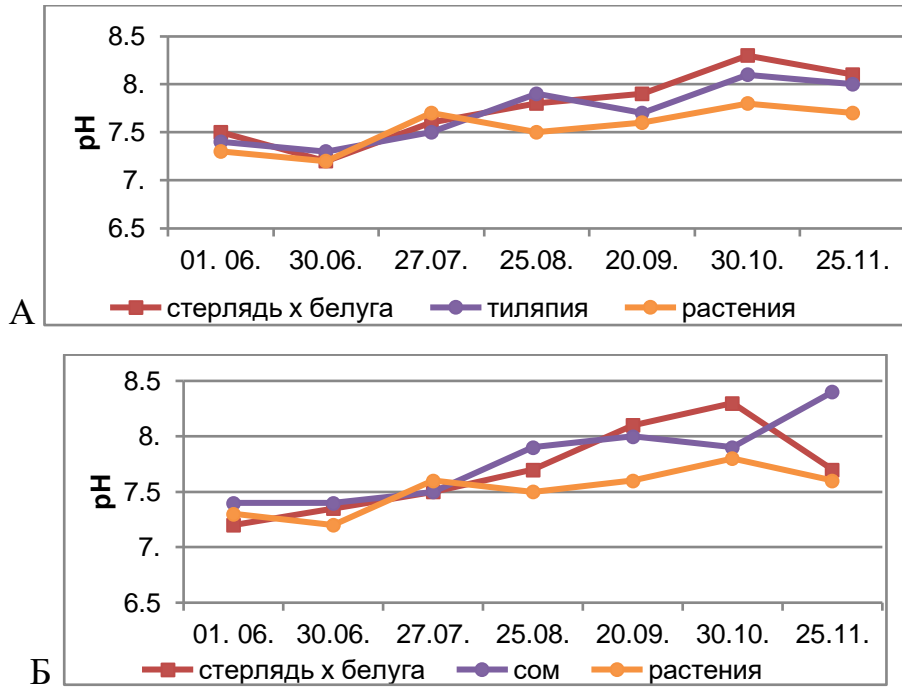


Рисунок 22 — Динамика показателя рН в аквапонической установке: А – стерлядь × белуга, сом и растительные культуры; Б – стерлядь × белуга, тилляпия и растительные культуры

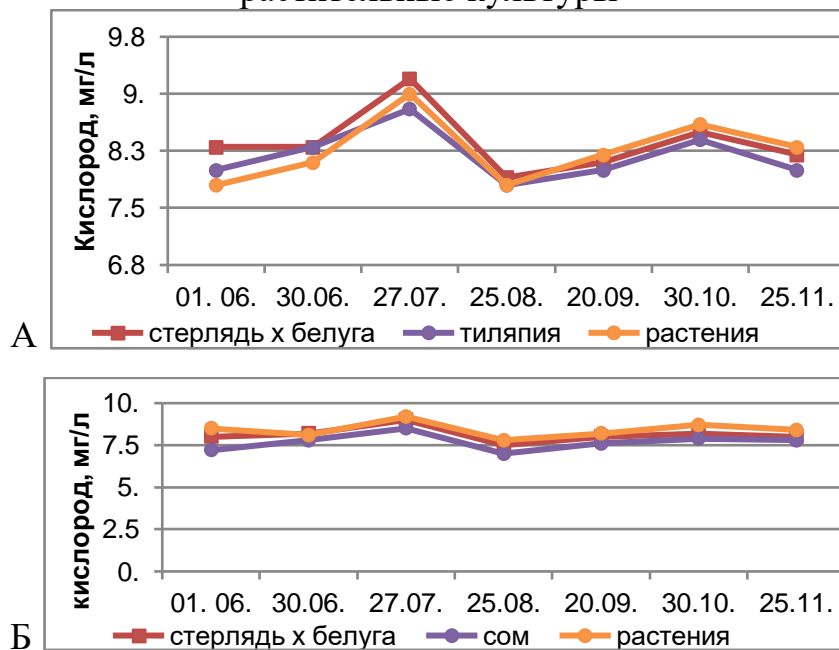


Рисунок 23 — Динамика содержания кислорода: А – стерлядь × белуга, сом и растительные культуры; Б – стерлядь × белуга, тилляпия и растительные культуры  
 При выращивании гибрида осетровых, тилляпии, сома и растений насыщение воды кислородом изменялась с 70 до 92,5 % или от 7,5 до 9,3 мг/л (Рисунок 23).

Нами изучено также накопление азотистых соединений при выращивании объектов в аквапонической установке и их снижение после блока аквапоники (Рисунок 24).

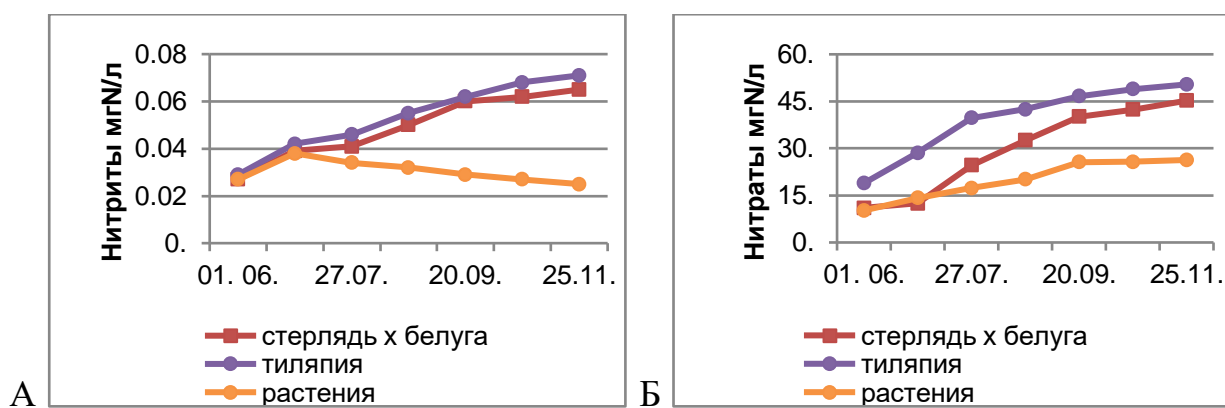


Рисунок 24 — Динамика нитритов (А) и нитратов (Б) при совместном выращивании рыбы (гибрид стерлядь × белуга, тиляпия) и растений

Следует отметить, что в бассейнах с рыбой (гибрид стерлядь × белуга) идет накопление нитритов от 0,027 до 0,065 мгN/л и от 0,029 до 0,071 мгN/л с бассейнах с тиляпией, увеличиваясь в среднем более чем в 2 раза. После растений имеет место снижение содержания нитритов до 0,025 мгN/л, т.е. в 2,5 раза. Такая же тенденция наблюдалась с динамикой нитратов.

Выращивание тиляпии вместе с растениями с добавлением микробиологического штамма позволило получить также хорошие результаты по гидрохимическому составу воды. В этом случае происходит постепенное снижение уровня нитритов с 0,025 до 0,009 мгN/л в блоке аквапоники (Рисунок 25).

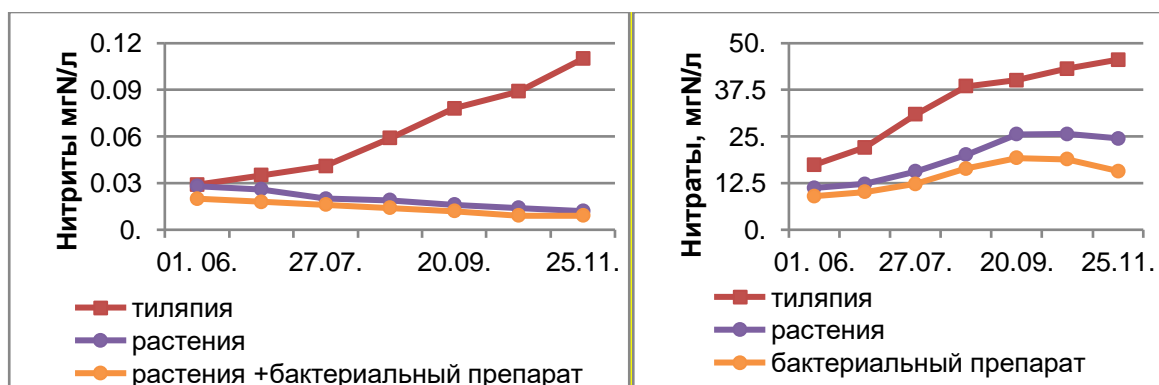


Рисунок 25 — Динамика нитритов и нитратов в аквапонической установке (ИЭУ) с введением штамма бактерий

Для выращивания в системах УЗВ очень важным показателем являются нитриты. Следует отметить, что они колебались в пределах от 0,012 до 0,027 мг/дм<sup>3</sup>. Отмечено, что введение бактериального штамма почти в 2 раза снижало



количество нитратов. Такая же тенденция наблюдалась и в отношении аммиака (Рисунок 26).

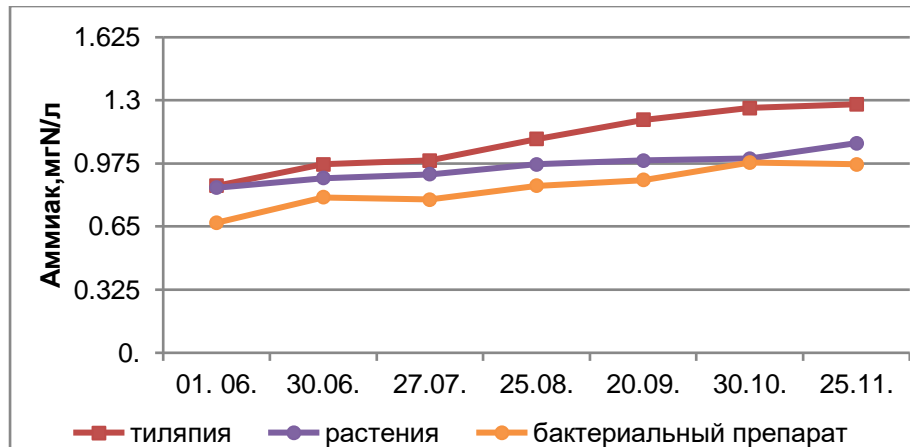


Рисунок 26 — Динамика аммиака в период экспериментов

На графике видно, что при накоплении в системе микробиологического штамма происходит постепенное снижение уровня аммиака с 0,9 до 0,02 мгN/л, что положительно сказывается на развитии растений и рыбы.

Ещё больший эффект при добавлении в аквапоническую установку микробиологического штамма выявлен в динамике содержания фосфора, которая отражена на рисунке 27.

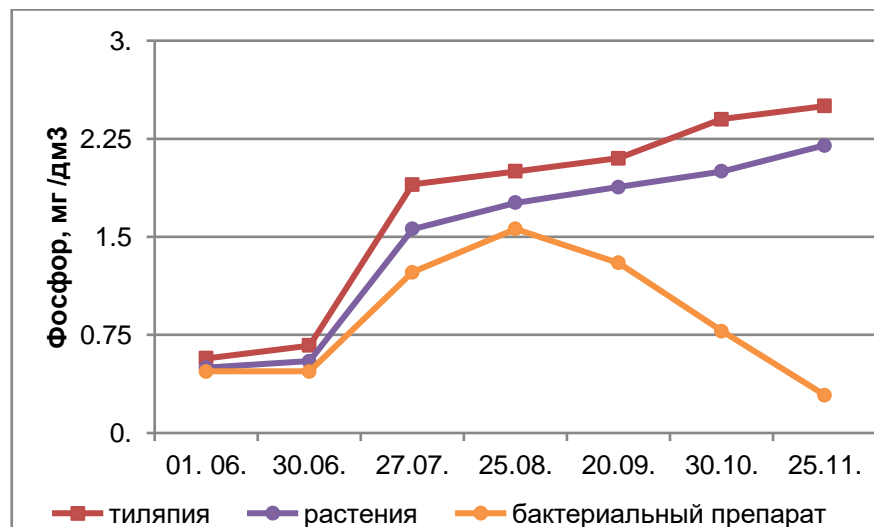


Рисунок 27 — Динамика фосфора в аквапонической установке (ИЭУ)

При работе системы первоначально произошло увеличение уровня фосфора до 2,5 мг/дм<sup>3</sup>, а затем снижению до 0,2 мг/дм<sup>3</sup> после добавления бактериального штамма. Гидробионты потребляют корм, а растения — продукты

жизнедеятельности гидробионтов, используя их (в частности фосфор) для построения своего тела (Martinsa et al., 2010).

Микробиологический изолят способствовал снижению уровня фосфора, нитратов и аммиака, что положительно сказывалось на выращивании объектов в аквапонической системе.

При последовательном выращивании объектов аквакультуры, количество нитратов и нитритов было больше в бассейнах с тилапией и клариевым сомом. При введении блока аквапоники количество нитратов и нитритов увеличивалось в бассейнах с рыбой в 2,3 раза, а после блока аквапоники количество нитритов снижалось в 2 раза. При введении микробиологического штамма также наблюдается снижение нитратов и нитритов в системе.

### 3.3 Условия среды при выращивании исследуемых объектов аквакультуры в интегральной этажной установке (ИЭУ)

Мониторинг условий выращивания во время всего период проведения экспериментов показал, что при выращивании всех объектов аквакультуры температура воды колебалась в пределах 23,9–25,7 °С, рН — от 6,5 до 8,0 ед, кислород — от 7,5 до 9,3 мг/л (Рисунок 28).

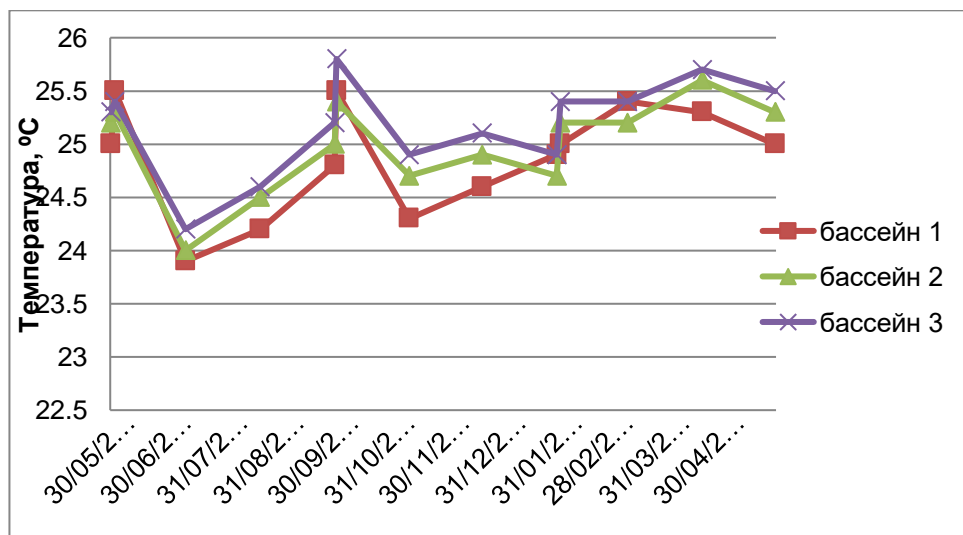


Рисунок 28 — Изменения температурного режима при выращивании гибрида стерлядь × белуга (бассейн 1), тилапии (бассейн 2) и клариевого сома (бассейн 3)

Значения рН колебались в пределах от 7,50 до 8,10. Для осетровых рыб этот показатель должен находиться в пределах 7,8–8,0 (Рисунок 29). Минимальное значение рН было отмечено в 3 и 2 бассейне, и связано с работой биофильтра.

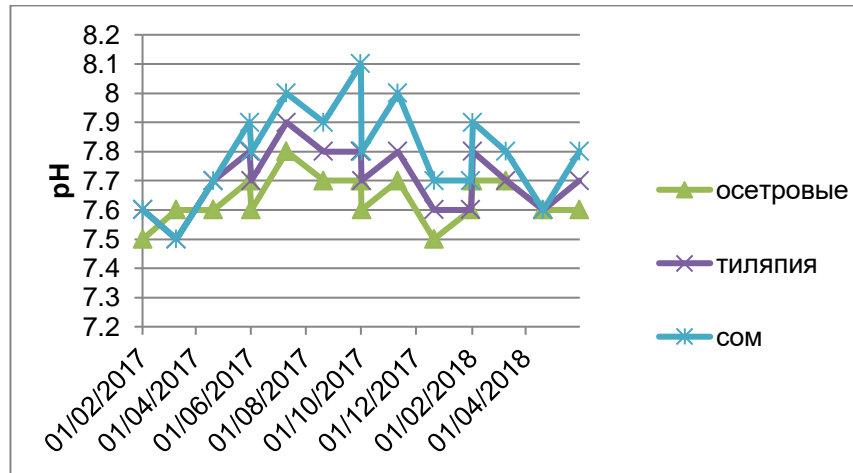


Рисунок 29 — Динамика показателей рН в бассейнах

Поддерживание в оптимальных пределах трех основных показателей водной среды способствовало успешному выращиванию гибрида осетровых рыб. На рисунке 30 показан мониторинг уровня кислорода в трех вариантах опыта.

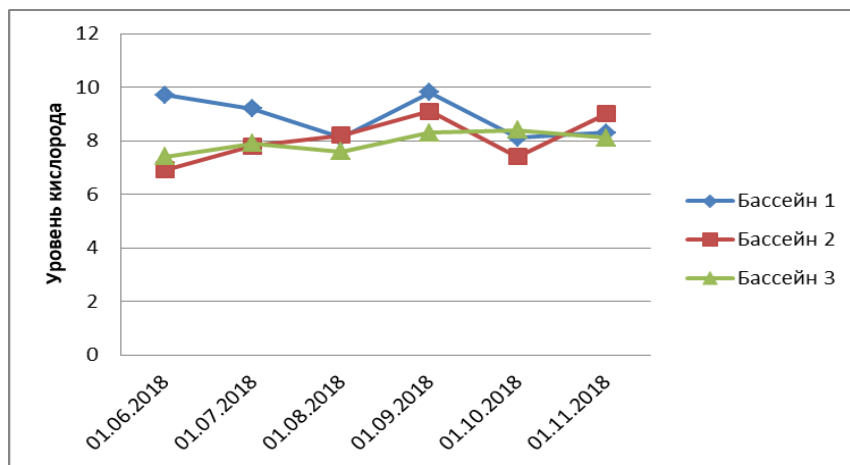


Рисунок 30 — Уровень кислорода в бассейнах: 1 — стерлядь × белуга, 2 — тилляпия, 3 — клариевый сом

Мониторинг гидрохимических показателей не выявил их существенных колебаний, если температурный режим в системе с рыбой находился в пределах 23,9–25,7 °С, то показатели рН и кислород находились в пределах технологической нормы.

Важным в характеристике условий выращивания рыб по индустриальной технологии является содержание в воде азотистых соединений (Рисунок 31).

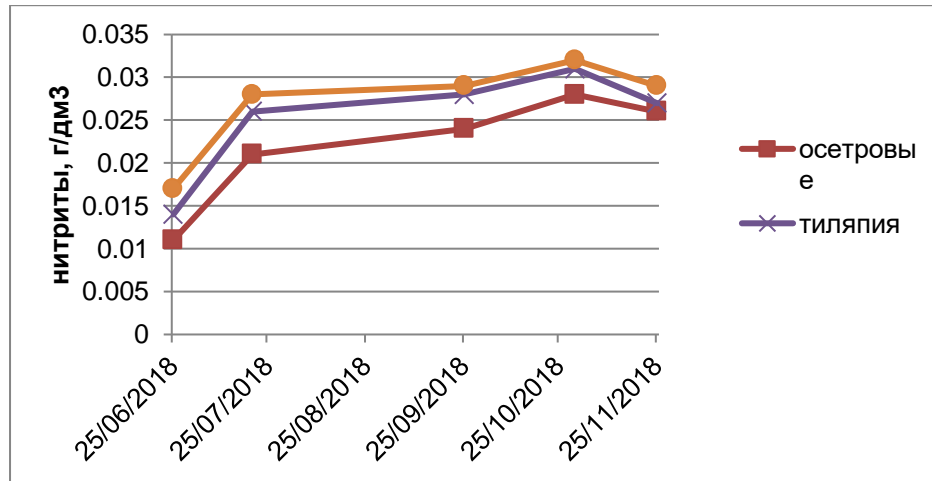


Рисунок 31 — Динамика нитритов в бассейнах: 1 – стерлядь × белуга, 2 – тилапия, 3 – клариевый сом

При выращивании гибрида стерлядь × белуга, тилапия и клариевого сома этажным методом содержание нитритов колебалось в пределах 0,011–0,032 мг/дм<sup>3</sup>, небольшое превышение отмечено в бассейнах с сомом, но эти рыбы хорошо переносили отклонения от нормы (Рисунок 32).

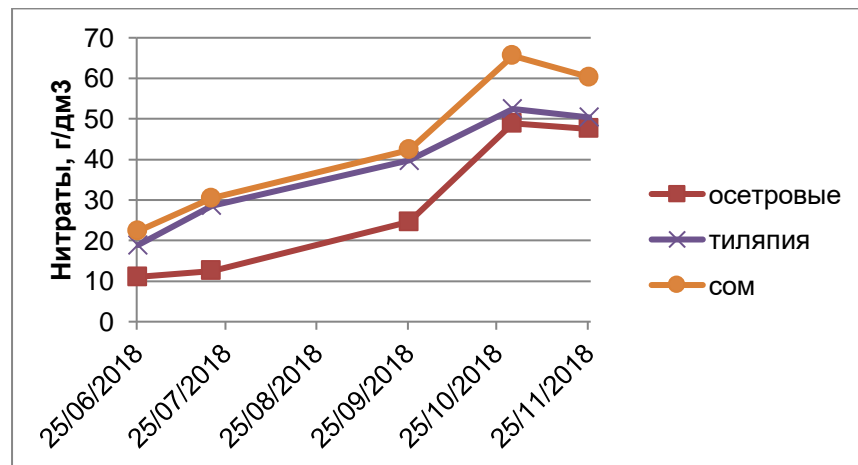


Рисунок 32 — Динамика нитратов в период экспериментов: бассейн 1 – осетровые, бассейн 2- тилапия; бассейн 3 – сом

Диапазон изменений содержания нитратов укладывался в пределы от 11,05 г/дм<sup>3</sup> до 65,54. Некоторое превышение нормы содержания их в бассейнах с клариевым сомом не вызывало отклонений в росте и не оказывало негативного действия на рыб.

### 3.4 Микробиологические процессы в биофильтре установки УЗВ

Разведение различных видов рыб в УЗВ, связано с круговоротом азота, фосфора. Известно, что рост концентрации метаболитов снижает удельную

скорость роста у рыб, биохимические изменения в организме. Отравление нитритами вызывает у рыб окисление феррогемоглобина крови до ферригемоглобина. Изучение микрофлоры биофильтра необходима не только с целью изучения развития микроорганизмов участвующих в круговороте азота и фосфора, но и изучение микрофлоры после внесения бактериального штамма, который может повлиять на развитие сообщества бактерий.

Для изучения микрофлоры биофильтра был изучен посев микроорганизмов сделанный из биофильтра в процессе его формирования на среде МПА, соблюдая основные правила асептики. Использовался метод отпечатков. Среды разливали в чашки Петри и делили на четыре сектора. После периода инкубации чашек в термостате, производили подсчет клеток микроорганизмов. В посевах были отмечены палочковидные и кокковидные формы клеток грамположительные по Грамму. Предположительно доминирующими видами явились единичные клетки родов *E. Bacillus*, *Staphilococcus*, *Pseudomonas*. В таблице 9 представлены высеянные клетки микрофлоры биофильтра.

Таблица 9 — Микрофлора биологического фильтра в период формирования

№	Морфологические свойства	Культуральные	Предположительная идентификация
1	Колония круглая, с ровным краем, слизистая, выпуклая, белого цвета	Грамположительные палочки	Ближе не идентифицированы, как представители группы по Бреджи
2	Колония светло желтого цвета, с неровным краем, резистентная, белая	Грамотрицательные кокки	Ближе не идентифицированы, как представители группы по Бреджи
3	Колония желтого цвета, с ровным краем, выпуклая, слизистая, желтая.	Грамотрицательные палочки	Ближе не идентифицированы, как представители группы по Бреджи
4	Колония белого цвета, с ровным краем, слизистая, блестящая, выпуклая	Грамотрицательные палочки	Ближе не идентифицированы, как представители группы по Бреджи

При анализе было отмечено доминирование грамположительных палочковидных и кокковидных форм клеток, спорных и беспорных.



1. муть	+	++	+	+	+	+	+
2. осадок	+	++	+	+	+	+	-
3. пленка	+	+	+	-	+	+	+
4. NH <sub>3</sub>	+	+	-	-	-	-	-
5. H <sub>2</sub> S	-	-	-	-	-	-	-

Примечание — ++ — процесс выделения идет с высокой интенсивностью; + — процесс выделения идет со средней интенсивностью; — — процесс выделения не наблюдается

В таблице 12 представлены особенности роста аммонифицирующих микроорганизмов в пробирках с жидкой средой РПБ с горизонтальной части фильтра. Отмечено, что в мутной части (муть) и осадке микроорганизмы развиваются с высокой интенсивностью при 2-х кратном разведении, в остальных они развиваются со средней степенью интенсивности. Пленка наиболее интенсивно развивается при 1-ом разведении, а при 5-ом – 7-ом разведении развитие пленки выражено менее интенсивно, 2-х, 3-х кратном разведении она не развивается. Аммиак присутствует при 1-ом – 3-ом разведении, а в остальных отсутствует. Выделение сероводорода не отмечено. Наиболее вероятная численность аммонифицирующих микроорганизмов составила  $2 \times 10^3$  КОЕ/мл.

Таблица 12 — Особенности развития аммонифицирующих микроорганизмов в пробирках на РПБ с вертикальной части

Разведения Признаки	10 <sup>1</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>7</sup>
1. муть	++	++	++	+	+	+	+
2. осадок	++	++	+	+	+	+	+
3. пленка	++	++	+	+	+	+	+
4. NH <sub>3</sub>	+	+	+	+	+	-	-
5. H <sub>2</sub> S	-	-	-	-	-	-	-

Примечание — ++ — процесс выделения идет с высокой интенсивностью; + — процесс выделения идет со средней интенсивностью; — — процесс выделения не наблюдается

В таблице представлены особенности роста аммонифицирующих микроорганизмов с вертикальной части фильтра в пробирках с жидкой средой РПБ. Так, муть и осадок развивается с высокой интенсивностью с 1 по 3

разведение, в остальных они развиваются со средней степенью интенсивности. Пленка наиболее интенсивно развивается в 1 и 2 разведении, а с 5 по 7 разведение развитие пленки выражено менее интенсивно. Аммиак присутствует с 1 по 5 разведение, а в остальных отсутствует. Выделение сероводорода не отмечено. Наиболее вероятная численность аммонифицирующих микроорганизмов составила  $2 \times 10^5$  КОЕ/мл.

На основе изучения морфологических и культуральных свойств выделенных из биофильтра клеток можно предположить, что микрофлора разнообразна и представлена грамположительными и грамотрицательными палочками.

В заключении следует отметить, что гидрохимические и микробиологические показатели окружающей среды в искусственно созданной экосистеме в основном были в пределах технологической нормы, но некоторые превышения их по нитратам и нитритам не оказывало негативного действия на объекты выращивания.



## ГЛАВА 4 ЭКОСИСТЕМНЫЙ ПОДХОД ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНДУСТРИАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ВЫРАЩИВАНИЯ ОБЪЕКТОВ АКВАКУЛЬТУРЫ

### 4.1 Изучение совместного выращивания рыбы и растительных культур

В задачу следующих наших исследований входило проанализировать этап выращивания растений на сбросной воде из бассейнов для рыбы и определение эффективности метода аквапонической аквакультуры. Эксперименты касались последовательного выращивания двух объектов, гибрида стерлядь × белуга и тиляпии, гибрида стерлядь × белуга и клариевый сом, при добавлении в систему растений и микробиологического штамма.

#### 4.1.1 Совместное выращивание гибрида стерлядь × белуга и растительных культур (салат, клубника)

В первой серии экспериментов использовали гибрида стерлядь × белуга и над бассейнами с рыбой были размещены растения на специальных raft-системах.

В результате предварительно проведенных исследований показано, что наиболее оптимальным субстратом для посадки растений в экспериментах по аквапонике, является керамзит и минеральная вата, а освещение растений лампами мощностью от 200 люкс до 700 люкс. Для экспериментов был выбран салат (*Lactuca sativa L.*), листовой среднеспелый сорт «Король рынка».

Вначале было проведено получение рассады, для этого использовали замоченные водой из бассейна с рыбой пробки с минеральной ватой, в которые помещали 3–4 семени (Рисунок 33, 34). Показатели среды для растений находились в пределах оптимального (температура – +22-24 °С; освещенность – 200 лк; влажность воздуха – 30 %; pH – 7,5).



Рисунок 33 — Посадка семян салата

Проростки салата появились на третий день (Рисунок 34).



Рисунок 34 — Проростки салата и рассада салата (третий день после посадки)

На 19-й от начала посадки семян, рассаду пересадили в пластиковые горшочки, с керамзитом мелкой и средней фракции (Рисунок 35). В дне горшочков были сделаны специальные отверстия для корней растений. Горшочки с растениями были установлены в специальные плавающие raft – системы (плоты) — 25 шт. в каждую. Было предусмотрено, что горшочки с растениями могут свободно извлекаться из отверстий плотов для пересадки на новые системы, не травмируя корни.



Рисунок 35 — Пересадка салата на raft - системы, и размещение на поверхность бассейнов с рыбой (на 19-й день)

Рассаженные растения освещали по 12 часов специальными светодиодными лампами (Рисунок 36). Освещенность составляла в диапазоне от 200 люкс до 700 люкс, при норме 10 тысяч люкс. Относительная влажность воздуха в период эксперимента составила 70–75 %.



Рисунок 36 — Искусственное освещение растений светодиодными лампами

Для следующего эксперимента была выбрана клубника (*Fragaria alina*) среднепоздний сорт (Алина), многолетнее травянистое растение рода земляника (*Fragaria*) семейства розоцветных (*Rosaceae*), плодовая культура (сорт включен в Госреестр по РФ). Выбрано растение с большой выносливостью, имеющее крупную ягоду (не менее 3 г), удлиненной конусовидной формы, хорошей консистенции, ярко красно-оранжевого цвета. У этого сорта период цветения средний (+ 4/5 дней), а период сбора урожая среднепоздний (+8/10 дней), с высокой урожайностью до конца декабря. Сорт подходит для ранней посадки и удобен для сбора, имея высокую урожайность, очень крупные ягоды и хорошие торговые характеристики.

Для эксперимента было подготовлено 20 кустов рассады с высотой растений – до 14 см (Рисунок 37). Субстрат подпитывали водой из бассейнов с рыбой капельным методом.



Рисунок 37 — Выращивание рассады клубники

Так была достигнута стадия вегетации – бутонизация, цветение (Рисунок 38). Рассада содержалась на стеллажах под искусственным светодиодным освещением.



Рисунок 38 — Клубника

Результаты этого эксперимента представлены в таблице 13.

Таблица 13 — Результаты экспериментов по выращиванию гибрида стерлядь × белуга совместно с растительными культурами

Показатели	Опыт	Контроль (без растений)
Масса начальная, г	11, 26±0,71	11,03±0,41
Масса конечная, г	179,80±6,79	175,95±6,43
Абсолютный прирост, г	168,54	164,92
Среднесуточный прирост, г/сут.	2,41	2,36
Среднесуточная скорость роста, %	3,96	3,95
Коэффициент массонакопления, ед.	0,14	0,14
Длительность опыта, сут.	70	

В опыте общий прирост гибрида (стерлядь × белуга) составил 168,54 г, при среднесуточной скорости роста 3,96 % и коэффициенте накопления массы 0,14 ед. В контроле без растительных культур были получены близкие показатели роста рыбы, общий прирост составил 164,92 г, среднесуточная скорость роста 3,95 %. Следует отметить, что коэффициент накопления массы в контрольном и опытном вариантах был одинаковый и составил 0,14 ед.

#### 4.1.2 Совместное выращивание клариевого сома *Clarias gariepinus* и салата

Следующая серия опытов была проведена на одном из тепловодных объектов аквакультуры клариевом соме. При этом водная среда формировалась

согласно обоснованиям, удовлетворяющим совместному выращиванию сома и культивируемых растений, описанных в главе 3.

Опыт показал положительные результаты роста и развития исследуемых объектов (Таблица 14) при поддержании гидрохимических показателей, близким к оптимальным для рыб и растительных культур - температурного режима на уровне 24 – 25,5 °С, рН 7,5-7,8, содержание кислорода в бассейнах – от 5,0 до 6,5 мг/л (Таблица 15).

Таблица 14 — Рост клариевого сома в эксперименте и контроле (салат)

Показатели	Контроль	Опыт
1	2	3
Масса, г: начальная	2,30±0,37	2,2±0,34
конечная	78,5±0,30	89,70±0,39
Абсолютный прирост, г	76,2±0,42	87,5±0,40
Среднесуточный прирост, г	1,9±0,26	2,2±0,21
Длительность выращивания, сут.	40	40
Выживаемость, %	95	98

Растения были посажены в рафт-систему, которая была расположена непосредственно в бассейне с рыбой. Возраст посаженных растений (среднелистовой салат) составил 20 суток от начала посадки. В контрольном бассейне находилась только рыба. Время выращивания клариевого сома от 2 до 90 г составило 40 суток, что соответствовало вегетационному периоду салата. Начальная масса посаженной молоди сома на выращивание была 2,2±0,34 в опыте и 2,30±0,37 в контроле.

Таблица 15 — Диапазон варьирования гидрохимических параметров воды при постановке опыта и в контрольном бассейне

Показатели	Ед. измерения	Опыт	Контроль	Норма
рН		7,5-7,8	7,1 - 7,8	7,6 -7,9
HN <sub>4</sub> <sup>+</sup>	мг/л	0,72-0,71	0,81-0,85	1,0
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	мг/л	1,0-0,98	1,2-1,1	до 2,0

PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	мг/л	0,23-0,24	0,36-0,35	0,5
Cl <sup>-</sup>	мг/л	23-23,2	23-23,3	до 20
Жесткость	мг×эquiv/л	3,0-3,1	3,0-3,2	до 8
Ca <sup>2+</sup>	мг/л	40-40,2	40-40,2	до 180
Mg <sup>2+</sup>	мг/л	12,3-12,5	12,5-12	до 40
Окисляемость	мг О/л	8-8,3	8-8,2	до 15
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	мг/л	90-91	90-91	до 100
ОМЧ	КОЕ/мл	0,8 ×10 <sup>4</sup> -0,9×10 <sup>4</sup>	1,0 ×10 <sup>4</sup> -0,9×10 <sup>4</sup>	1,0 ×10 <sup>4</sup>

В конце эксперимента в бассейне с растениями выжило 98 % рыб, в контроле — 95 %. Плотность посадки молоди сома в обоих случаях достигала 2000 экз. на м<sup>3</sup>. В конце эксперимента плотность посадки составила: при конечной массе в контроле 71,5±0,30 г — 92,15 кг/м<sup>3</sup>, в опыте, при массе 89,70±0,39 — 109,56 кг/м<sup>3</sup>. Кормили рыб в расчёте 3–5 % от массы тела в сутки. Динамика роста рыб в опыте и контроле представлена на рисунке 39, из которого видно, что в опыте рост рыб был более интенсивным, особенно на конечных этапах эксперимента.

Растения (аквапоника) были размещены в бассейны с рыбой через 20 суток после посадки рыбы и при образовании у растений розетки из 6–7-ми листьев (Рисунок 40). Пророщенный салат был высажен в специальные пластиковые емкости с перфорированными стенками для прохождения воды.

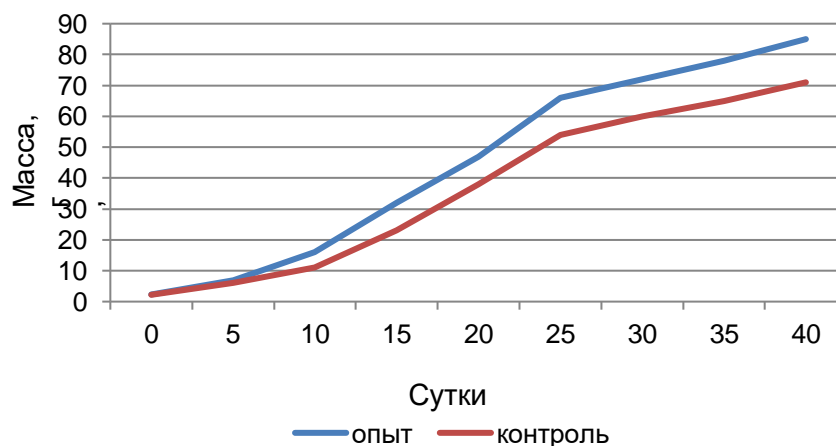


Рисунок 39 — Динамика роста молоди клариевого сома (продолжительность эксперимента 45 суток)



а

б

Рисунок 40 — Растения (салат) в возрасте а – 10 суток, б - 20 суток

За 40 суток эксперимента была получена полноценная культура крупнолистого салата: количество растительной биомассы составило 2,0–2,5 кг/м<sup>2</sup>, а длина составила 26–28 см.

Далее были проведены эксперименты по совместному выращиванию тилляпии и клубники (Рисунок 41).



Рисунок 41 — Выращивание клубники в аквапонической установке

Результаты этого эксперимента представлены в таблице 16. Как и в случае с клариевым сомом динамика роста тилляпии в опыте была более интенсивной, что сказалось на конечных результатах. Среднесуточный прирост в опыте был выше, чем в контроле на 15 %.

Таблица 16 — Сравнительный рост тилляпии в опыте и контроле

Показатели	Контроль	Опыт
Масса, г: начальная	123,91±0,85	123,36±1,72
конечная	238,39±6,34	255,50±9,62
Абсолютный прирост, г	114,48	132,14

Среднесуточный прирост, г	1,76	2,03
Продолжительность выращивания, сут.	65	65
Выживаемость, %	92	95

## 4.2 Влияние культуральной жидкости *Serrasia ficaria* на рост и развитие растений и объектов аквакультуры

### 4.2.1 Влияние культуральной жидкости *Serrasia ficaria* на рост и развитие растений, используемых в аквапонической системе, а также содержание в них нитратов

Нами также проведены исследования по влиянию на растения в аквапонической системе специальных бактерий. Для чего перед посевом растений производили замачивание семян в культуральной жидкости *Serrasia ficaria* рабочей концентрации  $10^9$  КОЕ/мл. В процессе выращивания сельскохозяйственных культур на воде после рыбы проводились измерения уровней в них нитратов и нитритов.

В таблице 17 показаны результаты эксперимента выращивания семян салата, обработанных культуральной жидкостью *Serratia ficaria* TP3 и необработанных. В качестве экспериментального растения использовался салат. Салат — достаточно пластичная культура, отличающаяся высокой биологической активностью, однако, в зависимости от условий года и уровня агротехники способен изменять как период вегетации, так и другие количественные и качественные показатели. Длительность созревания у данного сорта салата от появления всходов до получения технической продукции варьировал от 37 до 70 дней. Сорт салата листового можно отнести к среднеспелой группе по срокам спелости. Энергия прорастания в опыте составила 100 %, а в контроле 69 %. Определение энергии прорастания и всхожести семян производили согласно ГОСТ РФ 12038-84.

Таблица 17 — Показатели развития проростков салата «Витаминный»

Салат
-------



Опыт				Контроль			
Масса (г)	Уровень нитратов	В пересчете на 1 гр	Время выращивания сутки	Масса	Уровень нитратов	В пересчете на 1 гр	Время выращивания сутки
6,7±0,11	9±0,91	1,34±0,42	10	4,36±0,27	10±0,54	2,29±0,45	10
6,83±1,2	14±0,86	2,05±0,65	20	5,34±0,16	14±0,34	2,62±1,86	20
24,3±0,43	26±0,23	1,07±1,13	30	5,8±0,34	16±0,26	2,76±1,03	30
36,8±0,12	34±1,02	0,94±1,1	40	6,0±0,86	19±1,82	3,16±0,13	40

При сравнении экспериментальных данных выращенных растений салата сорта «Витаминный» в вегетационных сосудах, можно заключить, что штамм оказывает стимулирующее действие на развитие растений, что демонстрируют рисунки 42 и 43.



Рисунок 42 — Проростки салата



Рисунок 43 — Выращенные растения салата в аквапонической установке

В опытном варианте биомасса салата в конечном результате оказалась на 188 % больше, в сравнении с контролем.

Кроме того, при применении, культуральной жидкости штамма *Serratia ficaria TP3* существенно снизился и уровень нитратов в выращиваемом салате (Рисунок 44).

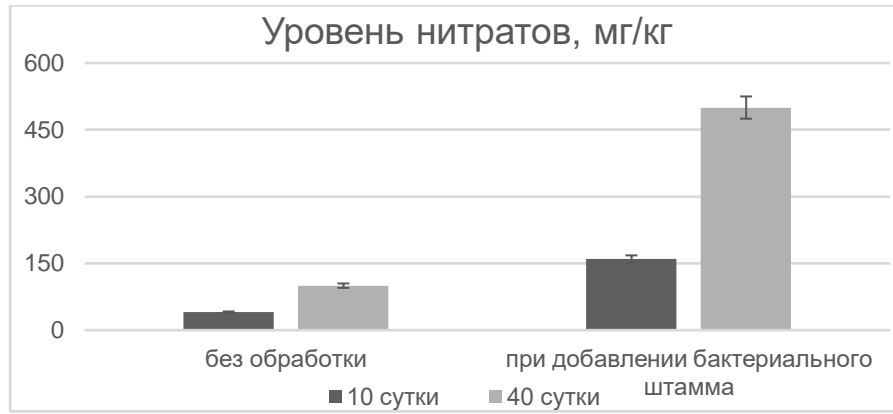


Рисунок 44 — Уровень нитратов при обработке салата

Культуральная жидкость снижала уровень нитратов на всем этапе вегетации, что благоприятно влияло на работу всей аквaponической системы системы.

Из приведенных данных таблицы 17 видно, что добавление бактериального штамма понижало уровень нитратов на 40-е сутки выращивания салата на 66 %. Кроме того, отмечалось стимулирование роста растения, что видно из биометрических данных роста салата (Таблица 18, Рисунок 45).

Таблица 18 — Биометрические показатели салата

Салат (Король рынка)									
Опыт					Контроль				
Длина корня, мм	Длина стебля, мм	Кол-во листьев, шт	Сырая масса, гр	Время выращивания, сут.	Длина корня, мм	Длина стебля, мм	Кол-во листьев, шт	Сырая масса, гр	Время выращивания, сут.
8,3±0,01	18,6±0,02	5±0,1	14±0,18	10	7±1,01	10,2±1,11	5±0,12	11±0,251	10
	42±0,07	7±1,01	19±0,37	20		23±0,98	6±1,05	15±2,1	20
	62±0,12	9±0,24	21±0,13	30		61,8±0,02	7±0,34	17±0,45	30
	250±0,08	11±0,2	27±1,05	40		150±0,11	8±0,56	22±0,16	40

Длину корня измеряли после проращивания, а остальные биометрические показатели замеряли каждый 10 дней в процессе выращивания растений.

Из рисунка 45 видно, что в конце выращивания длина стебля салата в опыте (при обработке растений культуральной жидкостью с концентрацией  $10^9$  КОЕ/мл), значительно выше, чем в контроле.

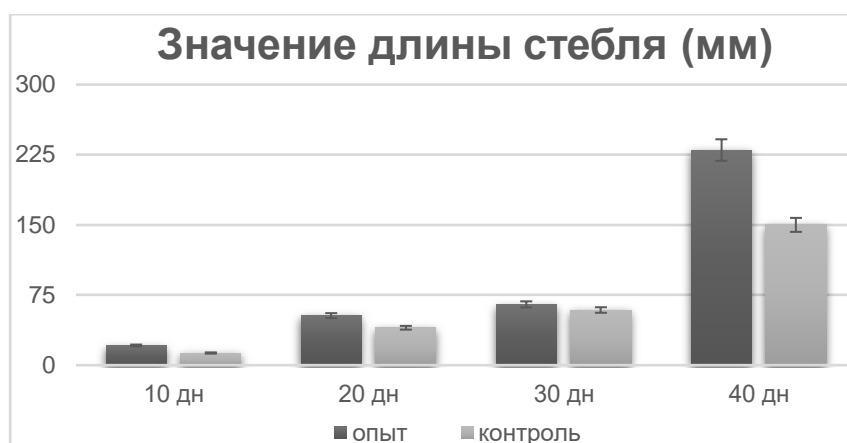


Рисунок 45 — Длина стебля (мм)

В опыте рост и развитие стебля салата превышали контроль на 67 %. Высота растений в процессе роста изменялась от 18 до 250 мм, а количество листьев от 5 до 11 штук. Урожайность в опыте составила 2,3 кг/м<sup>3</sup>, а в контроле - 1,5 кг/м<sup>3</sup>. Высокая плотность посадки рыб (40–50 кг/м<sup>3</sup>, стерлядь × белуга и 70–100 кг/м<sup>3</sup> сома, 70–80 кг/м<sup>3</sup> тилапия) способствовала большему образованию питательных элементов, необходимых для успешного роста и развития культуры салата. Развитие растений происходило интенсивно. Довольно стабильные показатели массы растений свидетельствуют о равномерной и оптимальной посадке растений в системе. Таким образом, подобранные параметры высадки культур (плотность, количество семян, освещение и др., являются оптимальными).

Также была произведена постановка опытов на семенах шпината, клубники и других растениях. Их также перед посадкой в установку производили предпосевную обработку семян культуральной жидкостью *Serratia ficaria TP3* с концентрацией 10<sup>9</sup> КОЕ/мл, которая оказывала выраженное стимулирующее действие на растения. Так стимуляция роста корня шпината при обработке культуральной жидкостью составляла 71 %.

Важно обращать внимание на то, как в системе растут корни, так как они играют важную роль в жизни растения, являясь поглощающим и синтезирующим органом. Продуктивность растений зависит от физиологической активности корневых систем. В корнях происходит активное метаболическое превращение

поглощенных минеральных солей и их транспорт по сосудам ксилемы стебля вверх к листьям, цветкам и плодам.

В ходе проведения исследований по совместному выращиванию растений и рыб в аквапониической системе поставлены опыты с 9-тью разными растениями. Во всех постановочных экспериментах растения показали устойчивый и более интенсивный рост. При этом уровень нитратов в сельскохозяйственных культурах был ниже в несколько раз в опытных растениях в сравнении с контролем (Таблица 19).

Таблица 19 — Уровень нитратов в сельскохозяйственных культурах

Сельскохозяйственная культура	Уровень нитратов по окончанию эксперимента		
	Опыт	Контроль	ПДК
Шпинат	34,2±0,14	144,1±24,1	200
Базилик	41,6±0,23	149,4±15,3	200
Клубника	13,8±0,53	136,3±34,71	100
Томаты	16,3±0,14	130,8±26,3	150
Баклажаны	5,6±1,34	149,6±12,45	300
Морковь	9,1±1,53	39,1±1,73	250
Лук	11,2±2,52	68,4±3,23	60
Кабачок	30,1±3,23	64,3±11,12	400
Салат	100,76±11,3	502,76±34,2	2000

В заключении следует отметить, что выращивание растений в аквапониической установке стимулирует их рост и приводит к стабилизации азотистых веществ в системе. К этому надо добавить:

- большинство растений очень требовательны к свету и температуре, особенно к элементам минерального питания и способу выращивания;
- при выращивании растений в аквапонной системе оптимальная плотность 5–6 растений посадки на 1 м<sup>2</sup> является допустимым;

– дополнительное обработка семян сельскохозяйственных культур культуральной жидкостью *Serratia ficaria* TP3 активизировало физиологические процессы, что повышало их урожайность и понижало уровень нитратов.

Отличные результаты показали салат листовой сортов «Король рынка» и «Великолепный», которые служили дополнительной фильтрацией в системе УЗВ и давали дополнительную продукцию.

#### 4.2.2 Влияние культуральной жидкости на рост, развитие и качественные показатели объектов аквакультуры

Положительное влияние совместного выращивания растений и рыб демонстрирует эксперименты по выращиванию двух объектов аквакультуры гибрида стерлядь × белуга и клариевого сома с салатом, а также с обработкой и без обработки культуральной жидкостью. Результаты первого опыта представлены в таблице 20, из которых видно, что средняя масса выращиваемых рыб была выше в опыте, где присутствовали растения.

Таблица 20 — Результаты выращивания гибрида стерлядь × белуга и клариевого сома совместно с салатом и культуральной жидкостью бактериального изолята

Показатели	Опыт (растение и бактериальный изолят)		Контроль (без растений)	
	гибрид	сом	гибрид	сом
Масса начальная, г	15,24±0,76	10,45±0,24	15,03±0,61	10,45±0,24
Масса конечная, г	200,05±6,79	489,70±16,70	185,90±6,48	370,56±12,60
Абсолютный прирост, г	184,81	479,25	170,87	360,11
Среднесуточный прирост, г/сут.	2,64	6,84	2,44	5,14
Среднесуточ. скорость роста, %	3,47	5,24	3,45	4,47
Коэффициент массонакопления, ед.	0,14	0,23	0,13	0,20
Продолжительность эксперимента, сут.	70			

У гибрида стерлядь × белуга она составила  $200,05 \pm 6,79$  г, что на 8 % выше, чем в контроле, у клариевого сома — на 24 % достигнув массы  $489,70 \pm 16,70$  г. При этом все другие рыбоводные показатели были выше в опытном варианте, чем в контроле.

При использовании аквапониической установки в промышленных масштабах важное значение имеет также качественный состав мышечных тканей выращиваемых рыб, содержание в них белка, воды, жировых отложений, минеральных соединений. Химический состав мышечной ткани может меняться в зависимости от возраста рыб, применяемого корма, условий выращивания и питания. На химический состав тканей рыб также оказывает влияние такие факторы среды как освещенность, качественные характеристики воды, концентрация в ней продуктов обмена и так далее. Изменение условий выращивания может приводить и изменению состава тканей.

Поэтому в процессе проведения экспериментов изучен также биохимический состав тела исследуемых рыб.

Рассматривая данные химического состава тканей гибрида (Таблица 21), можно заключить, что добавление бактериального штамма при выращивании с растительными культурами положительно повлияло на качественный состав их мышц. Так, содержание белка и жира оказалось выше в опыте.

Таблица 21 — Качественный состав (в %) мышечной ткани гибрида стерлядь × белуга

	Влага	Сухое вещество (СВ)	Жир (в пересчете на СВ)	Зольность (в пересчете на СВ)	Протеин (в пересчете на СВ)
Опыт	$72,54 \pm 1,23$	$19,4 \pm 1,34$	$11,3 \pm 0,43$	$1,34 \pm 1,23$	$19,43 \pm 2,18$
Контроль	$76,11 \pm 0,78$	$18,24 \pm 0,34$	$6,87 \pm 0,43$	$1,23 \pm 1,18$	$17,02 \pm 0,71$

Примечание — Опыт — выращивание в этажной установке с растительными культурами и бактериальным штаммом; Контроль — выращивание в УЗВ

Аналогичные результаты были получены при выращивании клариевого сома, что отражено в представленной ниже таблице 22.

Таблица 22 — Качественный состав (в %) мышечной ткани клариевого сома

	Влага	Сухое вещество	Жир (в пересчете)	Зольность (в пересчете)	Протеин (в пересчете)
--	-------	----------------	-------------------	-------------------------	-----------------------

		(СВ)	на СВ)	на СВ)	на СВ)
опыт	67,51±1,34	39,2±1,19	12,1±1,32	3,72±0,37	19,67±0,43
контроль	65,43±0,31	31,45±0,7	9,82±0,27	4,21±1,02	18,23±1,27

Примечание — Опыт — выращивание в этажной установке с растительными культурами и бактериальным штаммом; Контроль — выращивание в УЗВ

В ИЭУ при выращивании с растительными культурами и при добавлении бактериального штамма количество сухого вещества в мышечной ткани клариевого сома выше и составляет 39,2±1,19 %, а без добавления бактериального штамма 31,45±0,7 %. Содержание жира у рыб в опыте составило 12,1±1,32 %, в контроле — 9,82±0,27 %. Количество жира важный фактор, влияющий на качество мяса продукции. Данный показатель в норме варьируется от 8 до 15 %. Содержание протеина составило в опыте 19,67±0,43 %, в контроле - 18,23±1,27 %.

В то же время выращивание тилапии совместно с растительными культурами и применение микробиологического штамма способствовало уменьшению содержания жира и увеличению количества белка в тканях (Таблица 23).

Таблица 23 — Качественный состав (в %) мышечной ткани тилапии

	Влага	Сухое вещество (СВ)	Жир (в пересчете на СВ)	Зольность (в пересчете на СВ)	Протеин (в пересчете на СВ)
Опыт	52,1±0,89	46,7±1,18	29,7±1,82	14,7±0,86	46,23±0,34
Контроль	54,92±1,21	42,17±0,16	45,94±1,16	28,42±1,07	38,27±1,25

Показатель жира уменьшился с 45,95 % до 29,7 %. Содержание белка в варианте с бактериальной культурой оказался выше и составил 46,7 %. Можно заключить, что добавление бактериального штамма способствовало увеличению белковой части мышц тилапии.

Проведенный анализ экстерьерных индексов показал, что с увеличением массовых характеристик происходит и увеличение экстерьерных индексов (Таблица 24). Обращает на себя внимание, увеличение мышечной массы у экспериментальных рыб с возрастом до 16,46 %, что в 1,08 раза выше, чем у рыб

из УЗВ, что указывает на более благоприятные условия выращивания в ИЭУ с добавлением бактериального штамма.

Таблица 24 — Морфофизиологические индексы тилляпии, %

	Исходное состояние	Через 30 суток	С добавлением бактериального штамма
Средняя масса рыбы, г	435±14,2	457±15,3	463±15,8
Индекс длины кишечника, раз	0,1±0,01	0,1±0,01	0,1±0,01
Тушка, %	53 ±3,2	53,6±3,5	53,1±3,6
Кишечник, %	2,4±0,28	2,37±0,33	2,24±0,34
Желудок, %	1,3±0,03	1,5±0,04	1,4±0,03
Сердце, %	0,43±0,01	0,54±0,02	0,52±0,01
Селезенка, %	0,37±0,02	0,39±0,02	0,38±0,01
Печень, %	1,8±0,02	2,1±0,21	2,1±0,02
Жабры, %	3,92±0,13	3,91±0,16	4,01±0,03
Плавники, %	3,77±0,092	3,84±0,21	3,68±0,13
Кожа, %	5,2 ±1,23	5,4±0,22	5,3±0,15
Скелет, %	7,02±0,02	7,21±0,01	6,8±0,03
Мышцы, %	15,69 ±1,11	15,29±1,21	16,46±3,11
Гонады, %	2,75±0,43	2,5±0,29	2,6±0,35
Внутренний жир, %	1,03±0,01	1,01±0,02	1,02±0,01
Желчный пузырь, %	0,32±0,02	0,34±0,03	0,30±0,01

В заключении следует отметить, что при выращивании объектов совместно с растительными культурами с добавлением в систему бактериального штамма увеличивается не только мышечный индекс, но и улучшается качественный состав мышц выращиваемых рыб, в сравнении с контролем (УЗВ).



## ГЛАВА 5 ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ОБЪЕКТОВ ВЫРАЩИВАНИЯ

В результате длительных эволюционных преобразований физиологические ритмы рыб в природе приспособлены к сезонным изменениям (Власенко, 1989). Многолетние исследования физиологического состояния разновозрастных осетровых рыб в естественных условиях обитания, в том числе и разновозрастных особей осетра, белуги, стерляди позволили определить референтные значения важнейших функциональных параметров крови. Скорость оседания эритроцитов (СОЭ) у осетровых рыб в естественных условиях обитания колебалась в пределах от 2 до 4 мм/час. Концентрация гемоглобина, белка, липидов и холестерина в крови у разновозрастных особей изменялась соответственно в диапазоне 50–80 г/л, 28–40 г/л, 3–4 г/л, 1,0–2,8 ммоль/л (Кокоза, 2014).

Если сравнивать уровень исследуемых физиологических показателей у рыб (гибрида стерлядь × белуга), выращенных в установке этажного типа совместно с другими объектами и растительными культурами, с их величиной у рыб, обитающих в естественной среде, то, кроме холестерина, остальные показатели практически соответствовали референтному диапазону у рыб, выловленных в естественной среде (Таблица 25). При этом высокий уровень холестерина у рыб, выращенных в искусственных условиях, вероятнее всего, определялся спецификой питания рыб искусственным кормом и экологическими условиями в бассейнах.

При сравнении физиологических показателей у гибрида стерлядь × белуга в исходном состоянии, при посадке на выращивание, в установке этажного типа с более поздними этапами выращивания следует сделать вывод об их неустойчивой динамике. Достоверно это проявилось в динамике белка, липидов и холестерина ( $p < 0,05$ ).

Вероятной причиной флюктуаций функционального состояния рыб в любых установках замкнутого цикла является период адаптации их к новым экологическим условиям (ограниченные объёмы воды, искусственные корма и т.д.).

Следует отметить, что все исследуемые показатели были в пределах референтных величин, но такие как гемоглобин и СОЭ не имели достоверных различий у рыб в начале эксперимента, через 30 и 60 суток выращивания.

Таблица 25 — Динамика физиолого-биохимических показателей крови при выращивании гибрида стерлядь × белуга в установке этажного типа

Показатели крови	Начало эксперимента (при посадке на выращивание)	30 суток	60 суток
	1	2	3
СОЭ, мм/час	2,0±0,30	1,5±0,60 <sub>1,2</sub> *	2,0±0,10 <sub>1,3;2,3</sub> *
Гемоглобин, г/л	55,3±1,40	56,0±0,60 <sub>1,2</sub> *	62,5±3,54 <sub>1,3;2,3</sub> *
Общий белок, г/л	17,6±1,20	30,0±2,40 <sub>1,2</sub> **	32,3±0,10 <sub>1,3</sub> ** <sub>2,3</sub> *
Общие липиды, г/л	4,0±0,20	2,1±0,10 <sub>t1,2</sub> **	3,8±0,21 <sub>1,3</sub> *; <sub>2,3</sub> **
Холестерин, ммоль/л	3,2±0,30	2,4±0,10 <sub>t1,2</sub> **	4,4±0,14 <sub>1,3;2,3</sub> **

Примечание — \*— различие не достоверно,  $p > 0,05$ ; \*\* — различие достоверно,  $p < 0,05$

Сравнение уровня исследуемых физиологических показателей у одновозрастных особей гибрида стерлядь × белуга с их величиной у рыб, выращенных, соответственно, в обычной установке замкнутого водоснабжения, показало, что через 30 суток ряд физиологических параметров крови рыб в этажной установке достоверно ( $p < 0,05$ ) отличался от их значений у особей в УЗВ (Таблица 26).

Такие важнейшие физиологические показатели, как гемоглобин, общий белок и холестерин, приближались к параметрам этих рыб, выловленных в природных условиях, что является положительным фактором, однако, не исключается также влияние на результаты выращивания некоторых отличий в этажной технологии (совместно с другими объектами и растительными культурами) и технологии выращивания рыб в обычных УЗВ.

Таблица 26 — Динамика физиолого-биохимических показателей крови при выращивании гибрида стерлядь × белуга в обычной установке замкнутого водоснабжения и в установке этажного типа

Показатели	Начало эксперимента	УЗВ	Установка этажного типа
		Через 30 суток	Через 30 суток
СОЭ, мм/час	2,90±0,87	1,89±0,17	1,50±0,60*
Гемоглобин, г/л	66,3±5,63	46,0±1,00	56,0±0,60**
Общий белок, г/л	17,31±0,82	20,0±1,00	30,0±2,40**
Общие липиды, г/л	3,82±0,22	3,96±0,25	2,1±0,10*
Холестерин, ммоль/л	1,45±0,13	1,40±0,08	2,4±0,10**

Примечание — \* — различие не достоверно,  $p > 0,05$ , \*\* — различие достоверно,  $p < 0,05$

Снижение уровня гемоглобина в крови рыб из УЗВ может быть связано с гидрoхимическим режимом, накоплением азотистых, веществ снижением кислорода при высоких плотностях посадки. В этажной установке уровень гемоглобина ( $56,0 \pm 0,60$ ) у рыб был ближе к таковому у осетровых в природных условиях (Лукьяненко, Гераскин, 1966) —  $65 \pm 1,6$  и достоверно отличался от этого показателя у рыб в УЗВ.

Такие показатели, как общий белок и холестерин также достоверно отличались, от показателей у рыб, выращенных по традиционной технологии в УЗВ, но они также находились в пределах допустимой физиологической нормы при выращивании объектов индустриальными методами. Более высокие показатели общего белка у гибрида стерлядь × белуга  $30,0 \pm 2,40$  г/л в опыте свидетельствуют об усилении интенсивности белкового обмена у рыб связанные с более комфортными условиями выращивания, которые обеспечивают растительные культуры и бактериальный штамм. Об этом же свидетельствует и умеренное повышение содержания холестерина до  $2,4 \pm 0,10$  ммоль/л. Такая же динамика наблюдалась в опытах с оптимальной солёностью при выращивании в УЗВ, создающие более благоприятные условия выращивания у осетровых рыб (Пономарёва и др., 2012).

Сравнительный анализ уровня исследуемых физиологических показателей в исходном состоянии у клариевого сома в обычной установке замкнутого водоснабжения и в установке этажного типа показал наличие достоверных различий ( $p < 0,05$ ) по таким параметрам, как СОЭ, общий белок и холестерин (Таблица 27). Однако, говорить в данном случае о закономерной тенденции физиологической разнородности рыб, поступивших в эксперимент, не приходится, так как коэффициент варибельности этих показателей находился в пределах от 3 до 27 %. Через 30 суток выращивания как в УЗВ, так и в этажной установке, от исходного состояния рыбы отличались только по уровню СОЭ и холестерина в крови.

Таблица 27 — Динамика физиолого-биохимических показателей крови у клариевого сома при выращивании в обычной установке замкнутого водоснабжения и в интегрированной установке этажного типа

Показатели крови	УЗВ		Установка этажного типа (с растениями)	
	Исходное состояние	Через 30 суток	Исходное состояние	Через 30 суток
	1	2	3	4
СОЭ, мм/час	3,34±0,12	3,75±0,14 <sub>1,2</sub> *	3,32±0,32 <sub>1,3</sub> *	4,67±0,63 <sub>3,4</sub> ** <sub>2,4</sub> **
Гемоглобин, г/л	58,09±2,30	64,92±4,27 <sub>1,2</sub> *	61,23±3,31 <sub>1,3</sub> *	64,15±4,46 <sub>3,4</sub> * <sub>2,4</sub> *
Общий белок, г/л	29,38±0,40	28,30±0,86 <sub>1,2</sub> *	24,80±1,68 <sub>1,3</sub> **	23,13±2,45 <sub>3,4</sub> * <sub>2,4</sub> *
Общие липиды, г/л	3,16±0,25	4,12±0,45 <sub>1,2</sub> *	3,14±0,54 <sub>1,3</sub> *	3,86±0,34 <sub>3,4</sub> * <sub>2,4</sub> *
Холестерин, ммоль/л	5,23±0,63	2,50±0,18 <sub>1,2</sub> **	6,75±0,73 <sub>1,3</sub> **	2,39±0,04 <sub>3,4</sub> ** <sub>2,4</sub> *

Примечание — \* — различие не достоверно,  $p > 0,05$  ; \*\* — различие достоверно,  $p < 0,05$

При этом концентрация холестерина достоверно снизилась ( $p < 0,05$ ), а СОЭ увеличилась. Вероятно, это связано с более комфортными условиями в обоих вариантах опыта, в сравнении с условиями выращивания, включая питание на рыбоводном предприятии, откуда особи клариевого сома были доставлены.

Полученные в экспериментах данные анализа массовых и физиологических показателей крови клариевого сома, выращенного в условиях обычной УЗВ и в интегрированной установке этажного типа, показали, что в среднем они колебались в следующих пределах: среднесуточный прирост — 4–6 г/сут., среднесуточная скорость роста — 1,5–1,6 %, коэффициент массонакопления — 0,10–0,11 ед., СОЭ — 3,32–4,67 мм/час, гемоглобин — 58–65 г/л, общий белок — 23–29 г/л, холестерин — 2,4–6,7 ммоль/л, глюкоза — 3–5 ммоль/л.

В определённой степени, некоторые из этих показателей были схожи с результатами, полученными другими исследователями с учётом конкретных возрастных и технологических особенностей выращивания клариевого сома в этих опытах.

Например, в экспериментах В.А. Власова (2009) при выращивании клариевого сома в обычной установке замкнутого водоснабжения в контрольном бассейне были получены достаточно близкие значения таких показателей, как среднесуточный прирост массы — 5–6 г, коэффициент массонакопления — 0,12–0,13 ед, общий белок — 34,7 г/л, глюкоза — 5,1 ммоль/л.

Ковалёв К.В. (2004), выращивая производителей клариевого сома в УЗВ при разных терморежимах, в контрольном бассейне определил достаточно высокий, но, по его мнению, в пределах нормы уровень таких гематологических показателей, как гемоглобин (86–87 г/л) и СОЭ (5–8,7 мм/час).

У Артеменкова Д.В. (2013) при выращивании клариевого сома на комбикормах с добавками пробиотика субтилис у рыб, содержащихся в контрольном бассейне, с применением низкопротеинового комбикорма общий белок в крови был равен 29,95 г/л, глюкоза — 3,64 ммоль/л. У рыб в контрольном бассейне с применением высокопротеинового комбикорма общий белок был равен 34,66 г/л, глюкоза — 5,05 г/л, что достаточно близко к уровню этих показателей, полученных в наших экспериментах.

Таким образом, выявленная динамика физиологических характеристик у гибрида и клариевого сома, выращенных в интегрированной этажной установке, мало отличалась от аналогичных параметров у рыб в обычных установках

замкнутого водообеспечения с учётом сравнимых данных по возрасту, процессу питания и гидролого-гидрохимическим условиям. Ключевым моментом применения любой рыбоводной технологии в УЗВ является очистка воды от метаболитов и сбалансированное питание.

Полученные в экспериментах данные анализа физиологических показателей крови тилляпии, выращенной в условиях обычной УЗВ и в интегрированной установке этажного типа вместе с растительными культурами, показали, что в среднем они колебались в следующих пределах: СОЭ — 3–5 мм/час, гемоглобин — 26–44 г/л, общий белок — 44–46 г/л, гемоглобин — 63–68 г/л. Добавление бактериального штамма незначительно повлияло на физиологические показатели крови тилляпии (Таблица 28).

Таблица 28 — Динамика физиолого-биохимических показателей крови у тилляпии при выращивании в УЗВ и ИЭУ с добавлением бактериального штамма

Показатели крови	УЗВ		Установка этажного типа (с растениями)	
	Исходное состояние	Через 30 суток	Исходное состояние	Через 30 суток
	1	2	3	4
СОЭ, мм/час	2,29±0,11	3,65±0,09 <sub>1,2</sub> *	3,19±0,30 <sub>1,3</sub> *	5,07±0,60 <sub>3,4</sub> ** <sub>2,4</sub> **
Гемоглобин, г/л	67,09±2,20	68,91±4,21 <sub>1,2</sub> *	63,21±2,30 <sub>1,3</sub> *	68,11±3,26 <sub>3,4</sub> ** <sub>2,4</sub> *
Общий белок, г/л	45,31±0,30	46,30±0,85 <sub>1,2</sub> *	44,75±1,60 <sub>1,3</sub> *	43,11±2,40 <sub>3,4</sub> ** <sub>2,4</sub> *
Общие липиды, г/л	3,46±0,15	4,52±0,35 <sub>1,2</sub> *	3,24±0,58 <sub>1,3</sub> *	3,96±0,44 <sub>3,4</sub> ** <sub>2,4</sub> *
Холестерин, ммоль/л	4,23±0,61	2,70±0,16 <sub>1,2</sub> **	5,70±0,53 <sub>1,3</sub> **	2,49±0,01 <sub>3,4</sub> ** <sub>2,4</sub> *

Примечание — \* — различие не достоверно,  $p > 0,05$  ; \*\* — различие достоверно,  $p < 0,05$

Отмечается лишь снижение холестерина и в опыте и контроле. Значения всех основных показателей крови у исследуемых рыб находились в пределах физиологической нормы, что свидетельствует об отсутствии отрицательного влияния факторов внешней среды на организм тилляпии. Повышенный уровень сывороточного белка может быть связаны с использованием для кормления питательных кормов, а так же, в связи с большой потребностью организма в

строительном материале в период формирования половых продуктов (Бияк, 2008; Пырсигов, 2017).

Таким образом, исследованные физиологические показатели крови выращиваемых объектов находились не только в пределах физиологической нормы, но и в ряде случаев имели динамику их улучшения, в сравнении с рыбами из УЗВ, что указывает на более комфортные условия выращивания исследуемых рыб в ИЭУ, в сравнении с УЗВ.

## ГЛАВА 6 ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ВЫРАЩИВАНИЯ РЫБЫ В ИНТЕГРАЛЬНОЙ ЭТАЖНОЙ УСТАНОВКЕ

На основании полученных в результате проведенных экспериментов данных по росту объектов, плотности посадки и последовательности их выращивания в единой системе можно выстроить несколько производственных цепочек:

- выращивание гибрида стерлядь × белуга в УЗВ по традиционной технологии;
- выращивание гибрида стерлядь × белуга, клариевого сома и растительных культур в ИЭУ;
- выращивание гибрида стерлядь × белуга, тилляпии и растительных культур в ИЭУ.

Производственная инфраструктура должна обеспечивать выращивание следующей продукции за год:

Предполагаемый объем производства/услуг:

Гибрид стерлядь × белуга товарный — 10 тонн.

Клариевый сом товарный — 20 тонн.

Тилляпия товарная — 15 тонн.

Салат «Король рынка» — до 12,600 тонн.

Производственная инфраструктура включает:

- помещение 800 м<sup>2</sup>;
- установка для выращивания объектов в единой системе (интегральная этажная установка);
- специализированное оборудование;
- обслуживающий персонал, обеспечивающий процесс выращивания гидробионтов.

Общие данные для расчета представлены в таблице 29. Расчет экономической эффективности полученных результатов проведен по внедрению в производство новых технологических методов совместного выращивания рыбы и растений в ИЭУ (Таблица 29).



Таблица 29 — Общие данные для расчета

Показатели	Ед. изм.	Данные
Занимаемая площадь	м <sup>2</sup>	До 800
Вид продукции		Рыба (гибрид стерлядь × белуга, клариевый сом, тиляпия), растения (салат)
Количество циклов выращивания	шт./ месяцы	Гибрид стерлядь × белуга — 1 цикл, 12 месяцев; Клариевый сом — 3 цикла, 4 месяца цикл; Тиляпия — 2 цикла, 6 месяцев цикл; Растения — 9 циклов, 1,1 месяца цикл
Посадочный материал	Вид, масса	Осетровые, молодь — 10 г Сом молодь — 1 г Тиляпия молодь — 5 г Салат — семена
Потребность в свежей воде	Годовая, м <sup>3</sup>	4193
	Максимальная, м <sup>3</sup> /сут.	32
	Среднегодовая, м <sup>3</sup> /сут.	11,5
Энергопотребление всего общее	Всего в год, кВт*ч	457640
	Среднегодовое, кВт*ч	52,24
	Максимальное, кВт*ч	87,07
Отопление	Общее потребление за год	25022 м <sup>3</sup>
Потребление рыбных кормов	Суточное, кг	134

Важными являются затраты на материалы, которые ходят в состав себестоимости произведенной продукции (Таблица 30). Для производства общих финансовых затрат по статьям используем данные для расчета и цены на материалы и сырье на 2019 год.

Таблица 30 — Расчет затрат на материалы и сырье

Материалы, сырье	Количество (расход)	Стоимость	Затраты (руб.)
Посадочный материал (молодь осетровых массой 10 г)	9000 экз.	30 руб.	270000 руб.
Посадочный материал (клариевый сом массой 1 г)	3200 экз.	5,60 руб.	17380 руб.
Посадочный материал (молодь тилапии 5г)	27700 экз.	5,00 руб.	138500 руб.
Салат (семена)	348 480 шт.	0,01 руб.	3484,80 руб
Материал для аквапоники (стаканчики)	15048 шт.	0,50 руб.	7524 руб.
Материал для аквапоники (керамзит) (пробка)	531 кг 15048 шт.	14,0 руб. 0,80 руб.	7434 руб. 12038 руб.
Корма для осетровых сома тилапии	14000 кг 12000 кг 14000 кг	147 руб. 60 руб. 75 руб.	2058000 руб. 720000руб. 1050000 руб.
Электроэнергия (осетры, сом, тилапия, растения)	126000 кВт/час	5,5 руб.	693000 руб.
Газ общий	127000 м <sup>3</sup>	5,6 руб.	838200 руб.
			<b>Итого: 5106139,80</b>

Для обслуживания ИЭУ и УЗВ по выращиванию объектов по этажной технологии, требуется определенный персонал (Таблица 31): инженер для обслуживания установки, рыбоводы — для регулирования процесса выращивания. Итого при введении в существующее производство (рыбоводное

предприятие) необходим дополнительный персонал 3 человека, с месячным окладом (инженер — 28000 руб.; рыбоводы — 30000 руб.).

Таблица 31 — Штат сотрудников и уровень оплаты труда

Штат	Кол-во, чел.	Уровень оплаты, мес.	Годовая заработная плата	Уровень начислений (фонд зар. платы)
Инженер для обслуживания установки	1	28000	336000	97776
Рыбовод	2	30000	600000	174600
Инженер аквапоники	1	28000	336000	97776
<b>Итого:</b>	<b>4</b>	<b>116000</b>	<b>1272000</b>	<b>370152</b>

Расчет выручки от реализации продукции, выращенной при использовании экологического подхода, реализуемого в интегральной этажной установке, введенного в производство действующего предприятия. Расчет выручки и получение чистой прибыли считаем за год (Таблица 32).

Выручка рассчитана по ценам реализации в сети магазинов, с учетом средних цен в ЮФО (Таблица 33).

Таблица 32 — Стоимость продукции, полученной в УЗВ и аквапониической установке

Продукция	Стоимость за кг, руб.	Стоимость за тонну
Осетрина (аквакультура)	650	650000
Сом клариевый	180	180000
Тиляпия	300	300000
Салат (сорт король)	руб./кг	600000

Таблица 33 — Расчет общего дохода от результатов

Показатели	За год производства, тыс. руб.
Выручка от реализации продукции, тыс. руб.	
Осетрина	6500,000
Сом кларевый	3600, 000
Тияляпия	4500, 000
Салат (король рынка)	7560, 000
Общая выручка от реализации продукции составит	22160, 000
Затраты (без учета покупки оборудования), в том числе:	6748,292
материалы, отопление, электроэнергия,	5106,140
корма	1642, 152
Заработная плата	
Общий необлагаемый доход	15411,710
Чистая прибыль	12423,484

За счет использования экологического подхода в технологии выращивания рыбы в интегральной этажной установке можно получить дополнительную продукции рыбы — это сом и тияляпия. Если в обыкновенной УЗВ мы может вырастить за один год один вид продукции, например, осетровая рыба, и общий доход при реализации 10 тонн составит 6500,00 тыс. руб., в аквапониической системе (ИЭУ) можно дополнительно получить товарного африканского сома 20 тонн и салата 12,6 тонн или 15 тонн тияляпии, при этом общий доход составит 3600, 00 тыс. руб. сома, 7560, 00 тыс. руб. салата и 4500, 000 тыс. руб. тияляпии (Таблица 34).

Таблица 34 — Сравнительные экономические показатели выращивания объектов аквакультуры в УЗВ и ИЭУ

Показатели	УЗВ	Аквапониическая установка
Продукция:	осетровая рыба	осетровые, сом клариевый, тияляпия, салат

Количество, тонн	10 тонн	10 тонн — осеровые 20 тонн — сом клариевый 15 тонн — тилапия 12,6 тонн — салат
Затраты (тыс. руб.), в том числе:	4904,25	6748,292
Материалы, отопление, корма, электроэнергия, посадочный материал	3728,00	5106,140
Заработная плата	1176,85	1642,152
Выручка от реализации, тыс. руб.		
Осетрина	6500,00	6500,000
Сом клариевый	-	3600,000
Тилапия	-	4500,000
Салат (король рынка)	-	7560,000
Общий необлагаемый доход, тыс. руб.	2772,00	15411,710
Чистая прибыль, тыс. руб.	2245,32	12423,484

В результате проведения расчетов экономической эффективности выявлено, что наиболее экономически целесообразно выращивание рыбы и растительных культур в интегральной этажной установке, в основе которой заложен экологический подход получения экологически чистой продукции. Введение в производство таких технологических методов совместного последовательного выращивания объектов аквакультуры и растительных культур позволяет увеличить эффективность производства в 5,5 раза, повысить ассортимент продукции, получить дополнительную продукцию круглогодично.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Одним из итогов выполненных исследований является теоретическое и научное обоснование экологического подхода к выращиванию объектов в искусственно созданных экосистемах. Выращивание рыбы в установках с замкнутым циклом водообеспечения — это сложный с биологической и насыщенный с технологической точки зрения процесс, в котором выращиваемые организмы находятся в полностью искусственных условиях содержания. Современные комбикорма позволяют достаточно успешно выращивать в таких системах товарную рыбу. Однако их использование имеет ряд недостатков. Это, прежде всего, высокая стоимость получаемой продукции и необходимость очистки воды от азотистых соединений и её оксигинации. В связи с этим всё большую популярность приобретают установки, представляющие искусственные экосистемы, позволяющие выращивать экологически чистую продукцию. Для экспериментального обоснования экологического подхода к выращиванию объектов аквакультуры были проведены исследования, включающие в себя их подбор и обоснование совместного культивирования. Предварительные исследования выявили преимущество выращивания в замкнутых системах водообеспечения гибрида стерлядь × белуга, в сравнении с русским осетром и гибрида русского и сибирского осетров, что позволило определить его в качестве основного объекта выращивания в интегральной этажной установке, представляющую собой искусственную экосистему. Среднесуточная скорость роста этого гибрида была в 1,16 раза больше чем у гибрида русский × ленский осетр и 1,05 раза, чем у русского осетра.

В качестве дополнения к основному объекту выращивания по экологическим параметрам для проведения экспериментов в большей мере подходят клариевый сом и тиляпия. Клариевый сом по предпочитаемой температуре 25–30 °С близок к таковой гибрида стерлядь × белуга (19–24 °С). При этом он толерантен к повышенному содержанию в воде соединений азота, обладая высокой скоростью роста. Тиляпия также может жить в среде с

повышенным содержанием биогенных элементов с температурным оптимумом 22–35 °С.

Последующие эксперименты показали правильность такого подбора объектов выращивания по экологической совместимости и взаимодополняемости. При совместном выращивании гибрида стерлядь × белуга и клариевого сома, рыбоводные показатели последнего оказались примерно такими же, как и при отдельном выращивании его в УЗВ. Совместное выращивание основного объекта и тилляпии в аквапониическом модуле ИЭУ, рыбоводные показатели оказались даже несколько лучше, чем в случае отдельного выращивания тилляпии в УЗВ. Коэффициент массонакопления был выше на 12,5 %, а среднесуточная скорость роста на 5 %. То есть последовательное выращивание нескольких объектов в одной системе позволяет получить дополнительную продукцию, используя одну и ту же систему замкнутого водообеспечения. Проведенные эксперименты показывают, что за 178 дней можно при совместном содержании гибрида стерлядь × белуга и тилляпии или клариевого сома в разных модулях ИЭУ вырастить гибрида стерлядь × белуга до 513,7 г, тилляпии — до 326,5 г, клариевого сома — до 1027, 55 г., при выживаемости более 90 %. Из чего следует, что в качестве объектов последовательного выращивания в аквакультурных модулях интегральных этажных установках хорошо себя проявили как основной объект — гибрид стерлядь × белуга и дополнительных — клариевый сом и тилляпия. При этом как в этом случае, так и при дальнейшем интегрировании технологии с одновременным культивированием рыб и растений необходимо было решить вопрос с созданием необходимых условий среды, где они развиваются. Так как наиболее требовательными к условиям среды является основной объект выращивания — гибрид стерлядь × белуга, то в качестве основы были взяты именно параметры среды удовлетворяющих условиям выращивания осетровых рыб. В то же время необходимо было выбрать такую температуру среды, которая бы была близкой к оптимуму для всех выращиваемых объектов. Если для осетровых благоприятной является среда с температурой 18–26 °С, то для клариевого сома и тилляпии 25–30 °С, а для растительных культур 24–28 °С.

Учитывая предпочтения всех объектов выращивания, нами была выбрана наиболее подходящая для выращивания всех трех объектов аквакультуры в ИЭУ температура воды в 24–25 °С, что является компромиссным вариантом режима культивирования исследуемых объектов. По остальным гидрохимическим показателям воды мы ориентировались на более жесткие требования к таковым объектов наших исследований. Наиболее строгими оказались требования по отношению к рН нитрофицирующих бактерий, оптимальный диапазон которого для их функционирования составляет 7,1–7,8 единиц. Для исследованных рыб и растений допустимы более широкие колебания рН. То есть в целом по системе во всех модулях ИЭУ рН среды не должен выходить за пределы этих колебаний. Остальные параметры среды должны соответствовать нормативам выращивания объектов культивирования и в первую очередь нормативам выращивания осетровых возвратной воды в нашей системе с оборотным и замкнутым водоснабжением и, особенно, по содержанию азотистых веществ. Наиболее сложный период по содержанию азотистых веществ при классическом выращивании осетровых в УЗВ является время формирования биофильтра, которое в наших исследованиях составило около 20 суток, после чего имеет место стабилизация гидрохимических показателей. Введение в эксперименты блока с растительными культурами позволили снизить максимальное содержание азотистых веществ в воде 1,3–1,8 раза. Кроме того нитрофицирующие бактерии в этих условиях развивались быстрее, сокращая сроки выхода биофильтра на рабочий режим, обеспечивая технологическим требованиям гидрохимические показатели оборотной воды. В целом блок гидропоники оказывал положительное влияние на содержание азотистых веществ в воде в течение всего периода выращивания рыб. Снижение концентрации нитритов в воде в конце выращивания достигало 2,5 раз, нитратов — 1,9, а аммиака — 1,2 раза. Еще больший эффект по снижению азотистых веществ в воде принесло добавление в систему микробиологического штамма. Снижение нитритов в этом случае достигло в конце периода выращивания в 12,2 раза, нитратов — почти в 3 раза,



аммиака — в 1,3 раза. При этом наблюдался более устойчивый и интенсивный рост растений, при снижении в них уровня нитратов.

С увеличением интегрированности системы эффективность её возрастает, позволяя получать дополнительную продукцию с единицы площади. Клариевый сом, являясь дополнительным объектом выращивания на сбросной воде после гибрида стерлядь × белуга, через 30 дней выращивания даёт на 18 % больше продукции по массе, в сравнении с УЗВ. Увеличение интегрированности за счёт культивирования клариевого сома совместно с салатом, даёт не только интенсивный его рост, при приросте массы 57,7 г, но и высокую выживаемость — 98 %, в сравнении с контролем — 95 % и 47,2 %, соответственно. Выращивание тилапии и клубники также показывает результаты, превышающие контроль без растений на 10 %. В целом, совместное выращивание рыб и растений положительно сказывается на интенсивности роста, который у клариевого сома и тилапии, была выше на 22 и 15 %, соответственно. При этом лучшие результаты демонстрирует применение растений с коротким вегетационным периодом 40–70 дней. Это салат, петрушка и огурцы.

Дальнейшее увеличение интегрированности за счёт введения в систему культуральной жидкости *Serratia ficaria* рабочей концентрации 109 КОЕ/мл в экспериментах совместного последовательного выращивания гибрида стерлядь × белуга, клариевого сома и гибрида стерлядь × белуга и тилапии с растительными культурами (салат, базилик, клубника) позволяет увеличивать рост рыб в сравнении с контролем у осетровых на 8–10 %, сома и тилапии на 20–28 %. Применение бактериального штамма *Serratia ficaria* при выращивании объектов аквакультуры совместно с растениями приводит, помимо ещё большего повышения интенсивности роста, также к увеличению мышечного индекса, с улучшением качественного состава мышц выращиваемых рыб, в сравнении с контролем (УЗВ). Это указывает на более комфортные условия, создаваемые при применении экосистемного подхода в ИЭУ, при выращивании объектов аквакультуры, что подтверждает и их физиологическое состояние в сравнении с рыбами из УЗВ.

## ВЫВОДЫ

1. Анализ научной литературы и наши предварительные исследования эколого-биологических особенностей исследуемых объектов показал, что при формировании искусственной экосистемы в специализированных установка ИЭУ и УЗВ в качестве основного объекта необходимо выращивать гибрид стерлядь × белуга, в качестве дополнительных – клариевого сома, тилляпию и растительные культуры.

2. Толерантность тилляпии и клариевого сома, в сравнении с осетровыми рыбами, к более высоким концентрациям азотистых веществ и более широкому диапазону колебаний содержанию кислорода и рН среды, при близкой к оптимальным, компромиссной температуре воды в пределах 24–25 °С, позволяет их последовательное культивирование (осетровые, тилляпия, клариевый сом, растения) в ИЭУ и УЗВ.

3. Показано, что основные гидрохимические показатели при совместном последовательном выращивании гибрида стерлядь × белуга, тилляпии и клариевого сома в основном соответствовали нормативным. Температура воды в течение всего периода эксперимента изменялась в пределах от 23,9 до 25,7 °С, рН от 6,58,0 ед, кислород от 7,5 до 9,3 мг/л. Содержание в воде нитритов изменялось в пределах от 0,011 до 0,032 мг/дм<sup>3</sup>, нитратов - от 11,05 г/дм<sup>3</sup> до 65,54. Небольшое превышение нормы содержания нитритов и нитратов в бассейнах с клариевым сомом не оказывало негативного воздействия.

4. Введение в систему специализированных установок (ИЭУ и УЗВ) блока аквапоники и добавление бактериального штамма позволило снизить верхние пределы показателей нитратов и нитритов возвратной воды, соответственно до 0,09, 15,7 и 0,97 мг/ дм<sup>3</sup>, фосфатов до 1,56 мг/ дм<sup>3</sup>, что ниже рекомендуемых технологических норм.

5. Введение бактериального штамма *Serrasia ficaria*, при выращивании рыб совместно с растениями позволило увеличить массу гибрида стерлядь × белуга на 8 %, а клариевого сома — на 24 % в сравнении с контролем (УЗВ), при более высокой скорости роста и коэффициента накопления массы в опытном

варианте соответственно для гибрида — 3,47; 3,45 и 0,14; 0,13, для клариевого сома — 5,24; 4,47 и 0,23; 0,20. Отмечено увеличение мышечного индекса и качественного состава мышц выращиваемых объектов. Введенный штамм бактерий оказывал стимулирующее действие на развитие растений, увеличивая их биомассу на 20–28 %, при снижении уровня нитратов от 4 до 10 раз в сравнении с контролем.

6. Увеличение интегрированности системы при последовательном выращивании нескольких объектов и растительных культур позволило улучшить рыбоводные результаты и получить дополнительный прирост с единицы площади. Выращивание клариевого сома на сбросной воде из бассейнов с осетровыми рыбами, выявило увеличение его массы через 30 дней выращивания на 18 %, в сравнении с выращиванием одного вида в УЗВ. Аналогичные результаты были получены при последовательном выращивании осетровых и тилляпии, при этом отмечен высокий рост и выживаемость объектов.

7. Культивирование клариевого сома совместно с салатом выявило не только интенсивный его рост при приросте массы 57,7 г, но и высокую выживаемость 98 %, в сравнении с контролем — 95 % и 47,2, соответственно. Выращивание тилляпии и клубники также показало результаты превышающие контроль без растительных культур на 10 %.

8. Эксперименты совместного последовательного выращивания гибрида стерлядь × белуга с клариевым сомом и гибрида стерлядь × белуга с тилляпией при добавлении блока с растительными культурами (салат, базилик, клубника) и обработке культуральной жидкостью *Serratia ficaria* рабочей концентрации 10<sup>9</sup> КОЕ/мл показали увеличение роста рыб в сравнении с контролем у осетровых на 8–10 %, сома и тилляпии на 20–28 %.

9. Физиологическое состояние объектов аквакультуры выращиваемых в интегрированной этажной установке (искусственной экосистеме) находились не только в пределах физиологической нормы, но и в ряде случаев имели динамику их улучшения, что указывало на более комфортные условия выращивания

исследуемых рыб в ИЭУ, в сравнении со стандартными методами выращивания в УЗВ.

10. Расчет экономической целесообразности выращивания рыбы и растительных культур в интегральной этажной установке, в основе которой заложен экологический подход получения экологически чистой продукции, позволяет увеличить эффективность производства в 5,5 раза, повысить ассортимент и получать дополнительную продукцию круглогодично.

## ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Автором разработаны рекомендации использования технологических методов последовательного выращивания объектов в единой искусственно созданной экосистеме. Для предприятий аквакультуры и фермерских хозяйств рекомендуется:

– проводить выращивание рыб в поликультуре совместно с растениями с подбором объектов, у которых условия содержания совпадают, одним из вариантов которого является последовательное выращивание в одной системе гибрида стерлядь × белуга, клариевого сома и тилапии и растений с коротким циклом развития, при введении в систему культуральной жидкости *Serrasia ficaria* с рабочей концентрацией 109 КОЕ/мл;

– при совместном выращивании гибрида стерлядь × белуга, клариевый сом, тилапия с растительными культурами необходимо поддерживать компромиссно-оптимальные показатели гидрохимического режима водной среды для объектов выращивания в используемой системе – температура 24–25 °С, содержание кислорода не менее 70–85 % насыщения, рН 7,1–7,8 единиц;

- для повышения эффективности выращивания объектов в единой экосистеме рекомендуется ведение блока аквапоники;

– из растительных культур следует выбирать растения с коротким вегетационным периодом, от 40 до 60 суток, для исключения накопления азотистых веществ;

– во время всего периода выращивания объектов необходимо вести мониторинг показателей водной среды, особенно нитратов и нитритов;

- для снижения нагрузки на систему фильтрации необходимо дополнительно вводить культуру бактериального штамма *Serrasia ficaria*;

– при введении бактериального штамма в систему выращивания, использовать методику строгой дозировки и введения в корневую систему растений;

- устанавливать блок аквапоники следует после цепочки последовательного выращивания рыб;

- для аквапоники следует выбирать растительные культуры с коротким циклом, такие как салат, петрушка, клубника и др.;

- выстраивание блоков последовательного выращивания объектов необходимо проводить в следующем порядке: осетровые рыбы, тилапия, клариевый сом.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Перспективность данного направления исследований очевидна, использование экосистемного подхода в повышении эффективности индустриальной технологии получения экологически чистой продукции в аквакультуре проявляется не только более высокими темпами роста и выживаемостью гидробионтов, но лучшими качеством получаемой продукции, в сравнении с традиционными технологиями. Введение в производство таких технологических методов позволяет увеличить эффективность производства в 5,5 раза, повысить ассортимент, получать круглогодично дополнительно продукцию растениеводства.

Полученные результаты исследований экологического подхода в повышении эффективности индустриальной технологии показывают, что развитие такой технологии имеет большие перспективы, при создании аквапонических комплексов вблизи крупных городов и мегаполисов и в северных районах Российской Федерации. При этом модульная технология, опробованная в работе, позволяет конструировать аквапонические системы различной сложности и разнообразных сочетаниях, что позволяет использовать её как индивидуальными предпринимателями, так и крупными предприятиями нацеленными на большой выход конечной продукции как по аквакультуре, так и по растениеводству. Так как формирование искусственных экосистем, лежащей в основе аквапоники, имитирует природную среду, в которой развиваются объекты аквакультуры и растениеводства, полученная продукция является экологически чистой, на которую уже в настоящее время имеется большой спрос с перспективой его повышения.

Дальнейшая перспектива и углубление исследований возможна в двух направлениях:

– подбор и различное сочетание других объектов аквакультуры, аквапоники и гидропоники с выявлением оптимальных параметров водной среды для выбранных объектов;

– увеличение интегрированности искусственной экосистемы путём включения дополнительных объектов выращивания, повышающий её уровень сбалансированности.

Для перехода к экологически чистому агро- и аква- хозяйству необходимо использовать интегрированные специализированные системы для выращивания различных объектов и растительных культур, что обеспечит наибольший эффект, даст возможность выращивать в единой системе разный ассортимент продукции и получать ее в течении всего года, осетровых можно вырастить до товарной массы за 12 месяцев, сом и тилапия могут дать продукцию 2 раза в год, а растительные культуры до 5-6 раз в год при соблюдении нормативов и технологии выращивания объектов в единой системе.



**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Алабастер, Д. Критерии качества воды для пресноводных рыб / Д. Алабастер, Р. Ллойд. — М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. — 344 с.
2. Аминова, В.А. Физиология рыб / В.А. Аминова, А.А. Яржомбек. — М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. — 200 с.
3. Апостол, П.А. Совместное выращивание овощей и рыбы / П.А. Апостол, Ю.И. Есавкин, В.В. Лавровский, В.Н. Апостол, В.П. Панов, Т.П. Карепина // Избранные труды ВНИИПРХ. — Дмитров, 2002. — Книга 2. Т. 3–4. — С. 106.
4. Артименко, Д.В. Выращивание клариевого сома (*Clarias gariepinus*) на комбиокормах с добавками пробиотика субтилина в условиях УЗВ: автореф. дис. ... канд. биол. наук : 06.04.01 / защищена 01.11.2013. : утв. 02.12.2013. / Д.В. Артименко. — Москв, 2013. — С. 23.
5. Артюхин, Е.Н. К вопросу о таксономическом ранге осетра р. Риони (бассейн Черного моря) / Е.Н. Артюхин, З.Г. Заркуа // Вопросы ихтиологии. — 1986. — Т. 26. Вып. 1. — С. 61-67.
6. Базылев, М.В. Органическое сельское хозяйство, как способ производства безопасных, экологически чистых продуктов / М.В. Базылев, И.А. Николайчик // Животноводство и ветеринарная медицина. — 2010. — № 1. — С. 15–18.
7. Балыкин, П.А. Методика оценки степени оптимального использования запасов промысловых рыб на основе информации о биологическом составе уловов. Препринт-рекомендация / П.А. Балыкин, Л.А. Зыков. — Ростов н/Д.: Изд-во ЮНЦ РАН, 2013. — 36 с.
8. Берг, Л.С. Рыбы пресных вод СССР и сопредельных стран / Л.С. Берг. — Т.1. — М.-Л.: АН СССР, 1948. — 446 с.
9. Богерук, А.К. Почвенно-климатические основы рыбоводства в России. Серия «Аквакультура» / А.К. Богерук, Н.И. Маслова. М.: ВНИЭРХ, 1998. — 45 с.
10. Богущкая, Н.Г. Каталог бесчелюстных и рыб пресных и солоноватых вод России с номенклатурными и таксономическими комментариями / Н.Г.

Богущая, А.М. Насека. — М.: Товарищество научных изданий КМК, 2004. — С. 22–27.

11. Брайнбалле, Я. Руководство по аквакультуре в установках замкнутого водоснабжения. Введение в новые экологические и высокопродуктивные замкнутые рыбоводные системы / Я. Брайнбалле. — Копенгаген: Еврофиш, 2010. — 70 с.

12. Брэй, У. Ацтеки. Быт, религия, культура / У. Брей. — М.: Центрполиграф, 2005. — 40 с.

13. Бретт, Д. Факторы среды и рост рыб / Д. Бретт // Биоэнергетика и рост рыб. — 1983. — М.: Легкая и пищевая промышленность. — С.275–345.

14. Букреева, Т.Н. Об опыте организации исследовательской работы с использованием элементов технологии парного обучения на базе аквапонной системы / Т.Н. Букреева, Л.Б. Нургалиева. // Современные образовательные технологии в системе образования: Материалы II Международной научно-практической конференции / Научный ред. В.Е. Приходько. — 2017. — С. 9–12.

15. Бурлаченко, И.В. Способ клинической оценки состояния осетровых рыб при их культивировании в установках с замкнутым циклом водообеспечения / И.В. Бурлаченко, Л.И. Бычкова // Рыбное хозяйство. — 2005. — № 6. — С. 70–72.

16. Быкова, О.М. Аквапоника — технология будущего / О.М. Быкова, в сборнике: Фундаментальные и прикладные проблемы получения новых материалов: исследования, инновации и технологии: Материалы научных трудов XII Международной научно-практической конференции. Конференция, посвященная памяти Алыкова Наримана Мирзаевича / Под общей редакцией Джигола Л.А. — 2018. — С. 258–261.

17. Быстраков, Ю.И. Экономика и экология / Ю.И. Быстраков, А.В. Колосов. — М.: Агропромиздат, 1988. — 204 с.

18. Быховская-Павловская, И.Е., Быховский Б.Е. Паразитофауна рыб Ахтарских лиманов / И.Е. Быховская-Павловская, Б.Е. Быховский // Паразитол. сб. зоол. ин-та АН СССР. — 1940. — № 8. — С. 21–23.

19. Васильев, В.П. Эволюционная кариология рыб/В.П. Васильев. – М.: Наука, 1985. – 300 с.
20. Васильева, Л.М. Технологии и нормативы по товарному осетроводству в V рыболовной зоне / Л.М. Васильева, А.П. Яковлева, Т.Г. Щербатова, Т.Н. Петрушка, В.В. Тяпугин, А.А. Китанов, В.В. Архангельская, Н.В. Судакова, С.С. Астафьева, Е.А. Федосеева / Под ред. Н.В. Судаковой. — М.: Изд-во ВНИРО, 2006. — 100 с.
21. Викулова, А.С. Аквапоника как новое развитие агропромышленного комплекса / А.С. Викулова. — Закономерности развития региональных агропродовольственных систем. — 2015. — № 1. — С. 50–52.
22. Винберг, Г.Г. Интенсивность обмена и пищевые потребности рыб / Г.Г. Винберг. — Минск: Белгосуниверситет, 1956. — 250 с.
23. Винберг, Г.Г. Методы определения продукции водных животных. - Минск: Высшая школа, 1968. - С. 9-19.
24. Винберг, Г.Г. Скорость роста и интенсивность обмена у животных / Г.Г. Винберг // Успехи современной биологии. — 1966. — №2. — С. 274–293.
25. Власенко, Д.Ф. Пресноводные рыбы Европы /Д.Ф. Власенко, А.В. Павлов, Л.И. Соколов, В.П. Васильев. — Аула-Ферлаг Висбаден, Т. 1, Ч. II, 1989. — 469 с. — 294–344 с. — 345–366 с.
26. Власов, В.А. Клариевый (африканский) сом : биология, размножение, выращивание : монография / В.А. Власов. —LAP LAMBERT Acad. Publ., 2019. — 116 с. — ISBN 978-613-9-44379-6. — Текст : электронный. — URL: <https://znanium.com/catalog/product/1073153> (дата обращения: 13.01.2021).
27. Власов, В.А. Результаты выращивания африканского сома при различных условиях кормления и содержания / В.А. Власов, А.П. Завьялов, Ю.И. Есавкин. — Известия ТСХА. — М.: Вып. 3, 2009. — 136–146 с.
28. Воинов, И.М. Выращивание годовиков карпа в УЗВ / И.М. Воинов // Молодые исследователи агропромышленного и лесного комплексов — регионам: Материалы III Международной молодежной научно-практической конференции. — 2018. — С. 212–218.

29. Воинов, И.М. Рост и развитие годовиков карпа (*Cyprinus carpio L.*) при выращивании методом аквапоники / И.М. Воинов, Д.И. Березина // Состояние и пути развития аквакультуры в Российской Федерации в свете импортозамещения и обеспечения продовольственной безопасности страны: Материалы III национальной научно-практической конференции. Под редакцией А.А. Васильева. — 2018. — С. 43–49.

30. Воронина, М.В. Использование методов гидропоники в сельском хозяйстве / М.В. Воронина // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: Сборник статей по материалам XII Всероссийской конференции молодых ученых. Отв. за вып. А.Г. Коцаев. — 2019. — С. 219–220.

31. Гамаюн, Е.П. Очистка воды растениями в рыбоводстве (опыт ФРГ) / Е.П. Гамаюн // Рыбное хозяйство. Серия Рыбохоз. использование внутр. водоемов: Экспресс-информация. Зарубежный опыт. — М.: ВНИЭРХ, 1989. — Вып. 5. — С. 1–9.

32. Голованов, В.К. Температурный оптимум и верхняя граница жизнедеятельности осетровых видов рыб / В.К. Голованов, И.Л. Голованова // Вестник АГТУ. Сер.: Рыбное хозяйство. — 2015. — № 3. — С 110–118.

33. Головина Н.А., Ихтиопатология. Учебник для студентов высших и средних профессиональных учебных заведений. Издание 2-е, переработанное и дополненное / Н.А. Головина, Ю.А. Стрелков, В.Н. Воронин, П.П. Головин, Е.Б. Евдокимова, Л.Н. Юхименко. — М.: Колос, 2010. — 512 с.

34. Горленко, М.В. Положение грибов в системе органического мира // Эволюция и систематика грибов. Теоретические и прикладные аспекты. — Л.: Наука, 1981. — С. 5–9.

35. ГОСТ 12038-84 Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести (с Изменениями №1,2, с поправкой). Семена сельскохозяйственных культур. Методы анализа: Сб. ГОСТов. — М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. — С. 18.

36. Гриневич, Е.А. Система контроля питательных веществ в замкнутой водной среде / Е.А. Гриневич, А.А. Голубович, Е.В. Кот // Сахаровские чтения

2019 года: экологические проблемы XXI века: Материалы 19-й Международной научной конференции. — 2019. — С. 301–304.

37. Гусева, Н.В. Инфекция молоди осетровых рыб, вызванная *Flavobacterium jonsonae*-подобными бактериями / Н.В. Гусева, П.П. Головин, Н.А. Головина // Рыбное хозяйство. Сер. Болезни гидробионтов в аквакультуре. — М.: ВНИЭРХ, 1998. — Вып. 2. — С.1–7.

38. Данилова, А.А. Аквапоника, как перспективное направление сельского хозяйства / А. А. Данилова, Н.А. Юрина, Д.А. Юрин, Е.А. Максим // Современное состояние, проблемы и перспективы развития аграрной науки, Материалы IV Международной научно-практической конференции. Научный редактор В.С. Паштецкий. — 2019. — С. 36–37.

39. Данилова, А.А. Аквапоника, как способ интенсификации сельского хозяйства / А.А. Данилова, Н.А. Юрина, Д.А. Юрин, Е.А. Максим // Новости науки в АПК. — 2019. — № 3 (12). — С. 28–30.

40. Державин, А.Н. Севрюга *Acipenser Stellatus*: биологический очерк // Изв. Бакинской ихтиологической лаборатории. — 1922. — Т. 1. — 393 с.

41. Детлаф, Т.А. Влияние температуры среды в период созревания ооцитов и овуляции на рыбоводное качество икры осетровых рыб (к вопросу о температурном режиме выдерживания производителей в период получения икры) // Труды ЦНИОРХа. — Т. II. Осетровые СССР и их воспроизводство. — М.: Пищевая промышленность, 1970. — С. 112–126.

42. Дончуков Р.А., Лефанова И.В., Антонович О.А. Разработка системы автоматического управления и регулирования микроклимата в рамках проекта «Аквапоника»/ Р.А. Дончуков, И.В. Лефанов, О.А. Антонович // Сахаровские чтения 2019 года: экологические проблемы XXI века: Материалы 19-й Международной научной конференции. — 2019. — С. 307–311.

43. Евграфова, Е.М. Перспектива использования линя и австралийского рака суперэффективных систем аквапонике / Е.М. Евграфова, Л.Ю. Лагуткина, Е.Г. Кузьмина // Рыбоводство и рыбное хозяйство. — 2019. — № 9 (164). — С. 62–71.

44. Егоров, С.Н. Использование системы аквапоники в рамках проектной деятельности обучающихся творческого объединения «Экологический мониторинг» / С.Н. Егоров, Н.А. Князева // Современные модели профессиональной ориентации школьников в системе дополнительного агроэкологического образования: Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. — 2019. — С. 15–17.

45. Ерден, Е.Е. Вертикальные фермы — современное решение вопросы сельского хозяйства / Е.Е. Ерден, Ш.Ж. Суранкулов // Евразийское Научное Объединение. — 2019. — № 11-1 (57). — С. 40–42.

46. Жигин, А.В. Замкнутые системы в аквакультуре. / А.В. Жигин. — М.: Изд-во РГАУ — МСХА им. К.А.Тимирязева, 2011. — 665 с.

47. Жизнь растений: в 6-ти томах / Под редакцией А. Л. Тахтаджяна. Главный редактор чл.-кор. АН СССР, проф. А.А. Федоров. — М.: Просвещение, 1974.

48. Звонарев, Н.М. Капуста, салат, щавель, шпинат. Сажаем, выращиваем, заготавливаем, лечимся / Н.М. Звонарев. — М.: Центрполиграф, 2011. — 123 с.

49. Зыков, Л.А. Промысловый возврат каспийской белуги *Huso huso L.* от молоди искусственного воспроизводства / Л.А. Зыков, Ф.В. Климов // В сб.: Некот. аспекты гидроэкол. Пробл. Казахстана. — Алматы, 2011. — С. 135–151.

50. Иванов, А.П. Рыбоводство в естественных водоёмах / А.П. Иванов. — М., 1988. — 367 с.

51. Иванов, И.В. Высокотехнологичные предприятия в эпоху глобализации: инновации, инвестиции производство, финансирование / И.В. Иванов, В.В. Баранов, Г.И. Лысак, О.В. Кирсанов. — М.: Альбина Паблшер, 2003. — 416 с.

52. Иванова, Т.В. Общая биология / Т.В. Иванова, Г.С. Калинова, А.Н. Мягкова. — М.: Просвещение, 2000. — 189 с.

53. Иванова, М.А. Аквапоника промбио: здоровая рыба, зеленая энергетика и стартовые корма на основе гаприна / М.А. Иванова, В.А. Нестеров // Рыбоводство и рыбное хозяйство. — 2019. — № 1 (156). — С. 52–64.

54. Казаков, М.Г. Авторский подход к вопросу о региональном кластере / М.Г. Казаков // Современный этап социально-экономического развития: проблемы и мнения: Межвуз. сб. науч. тр. - Иваново: Иван. гос. ун-т, 2006. — С. 101–111.

55. Киреева, И.Ю. Использование ресурсосберегающих технологий в рыбохозяйственных водоёмах // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2009.– Т.11, № 1-2 . С.73-76.

56. Киселёв, А.Ю. Агрогидроэкосистема: безотходное производство сельскохозяйственной рыбной продукции / А.Ю. Киселёв, В.Н. Коваленко, В.А. Борщев и др. // Рыбоводство. — 1997. — №2. — С. 13.

57. Коваленко, В.Ф. Влияние собственных экзометаболитов на газообмен у карпа / В.Ф. Коваленко // Актуальные вопросы водной экологии: Материалы Всесоюзной конференции молодых ученых. — Киев, 22–24 ноября 1989 г. — Киев, 1990. — С. 70–72.

58. Коваленко, М.В. Оптимизация методов выращивания осетровых рыб в управляемых условиях водной среды: автореферат дисс. ... канд. биол. наук : 03.00.10 : защищена 29.01.2008 : утв. 21.02.2008 / М.В. Коваленко. — Астрахань, 2007. — 27 с.

59. Ковалёв, К.В. Экологический и физиологический контроль при выращивании клариевого сома в искусственных условиях / К.В. Ковалев, А.М. Наумова // Проблемы иммунологии, патологии и охраны здоровья рыб: Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. — М., 2004. — С. 539–540.

60. Ковригин, А.В. Автоматизированная технология производства экологически чистой продукции растениеводства и аквакультуры в контролируемых условиях помещений / А.В. Ковригин // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2016. № 4 (12). С. 124-129.

61. Ковригин, А.В. Изучение эффективности эксплуатации автоматизированной аквапонной установки в зависимости от режимов ее работы / А.В. Ковригин, А.П. Хохлова, Н.А. Маслова // Вестник КрасГАУ. — 2015. — № 11 (110). — С. 90–96.

62. Кожин Н.И. Коэффициент промыслового возврата // Тр. ВНИРО. 1951. – Т. 19. – С. 22-29.
63. Козырь, А.В. Влияние аквапониического модуля на содержание азотистых соединений в тепловодных установках замкнутого водоснабжения при выращивании клариевого сома (*Clarias gariepinus*) / А.В. Козырь, Л.С. Цвирко // Веснік Палескага дзяржа Ўнага універсітэта. Серыя прыродазна Ўчых навук. — 2019. №1. — С. 87–94.
64. Кокоза, А.А. Искусственное воспроизводство каспийских осетровых с элементами его интенсификации / А.А. Кокоза, В.А. Григорьев, О.Н. Загребина. — Астрахань, 2014. — 215 с.
65. Константинов, А.С. Влияние собственных экзометаболитов на рост и биохимический состав молоди золотого карася / А.С. Константинов, В.Н. Парфенова, Б.А. Кенжин // Тез. докл. 6 Всес. конференция по экологии, физиологии и биохимии рыб. — Вильнюс, 1985. — С. 319–321.
66. Конюков, К.А. Очерки производственных типов хозяйств на Кубани / К.А. Конюков. — Краснодар, 1994. — 272 с.
67. Корнеев, А.Н. Агроаквакультура на тёплых водах — совместное выращивание рыбы и сельскохозяйственных растений / А.Н. Корнеев, Л.А. Корнеева, В.Б. Минц, В.Б. Фарберов // Всесоюз. совещ. по новым объектам и новым технологиям рыбоводства на тёплых водах (октябрь 1989 г., п. Рыбное Московской обл.). — М., 1989. — С. 16–18.
68. Коробочкина, З.С. Основные этапы развития промысла осетровых в Каспийском море / З.С. Коробочкина // Тр. ВНИРО. — 1964. — Т. 52. — С. 59–86.
69. Корягина, Н.Ю. Принципы взаимодействия между организмами как основа технологических процессов получения продукция в рыболовстве / Н.Ю. Корягина // Рациональная эксплуатация биоресурсов: проблемы и возможности в контексте Целей Устойчивого Развития ООН: Материалы Всероссийской научно-практической конференции. — 2018. — С. 210–214.



70. Косарев, А.И. Заражение рыб аэромонадами в лабораторных условиях / А.И. Косарев, М.В. Голованов // Сб. науч. Тр. ВНИИПРХ. — М., 2005. — Вып. 25. — С. 27–33.
71. Костюкевич, Д.В. Оценка и организация кластерных взаимодействий предпринимательских структур : автореф. ... канд. эконом. наук. — Санкт-Петербург, 2009. — 25 с.
72. Коцарь, Н.И. Влияние температуры на общий обмен у карпов / Н.И. Коцарь // Тезисы докладов 6 Всесоюзной конф. по экологии, физиологии и биохимии рыб. — 1985. — Вильнюс. — С. 100–101.
73. Кузов, А.А. Подбор растений для выращивания беспочвенным методом в симбиозе с рыбой / А.А. Кузов // Международная научная конференция научно-педагогических работников Астраханского государственного технического университета, посвященная 85-летию со дня основания ВУЗа (59-ая НПП) (Астрахань, 20–25 апреля 2015 г.). — Изд-во АГТУ, 2015 (Электронный ресурс).
74. Купинский, С.В. Радужная форель — предварительные параметры стандартной модели массонакопления: / С.В. Купинский, С.А. Баранов, В.Ф. Резников // Индустриальное рыбоводство в замкнутых системах // Сб. науч. тр. ВНИИПРХ. — 1985. — Вып. 46. — С. 109–115.
75. Куранова, И.И. Промысловая ихтиология и сырьевая база рыбной промышленности / И.И. Куранова, П.А. Моисеев. — М.: Пищевая промышленность, 1973. — 152 с.
76. Кушаковский, М.С. Клинические формы повреждения гемоглобина / М.С. Кушаковский. — Л.: Медицина, 1968. — 325 с.
77. Лабораторный практикум по болезням рыб / Под ред. В.А. Мусселиус. — М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. — 296 с.
78. Лавровский, В.В. Рост и изменчивость карпа в замкнутой системе “овощи — рыба” / В.В. Лавровский // Тез. докл. Всес. совещания по рыбоводству в замкнутых системах (25–27 фев.). — М., 1986. — С. 11–12.

79. Лакин, Г.Ф. Биометрия / Г.Ф. Лакин, Учеб. пособие для биол. спец. Вузов. — М.: Высшая школа, 1990. — 352 с.

80. Лапин, А.А. Биохимические исследование листового салата, выращенного в условиях аквапоники / А.А. Лапин, С.Д. Борисова, М.К. Калайда, В.Н. Зеленков // Бутлеровские сообщения. — 2019. — Т. 59. — № 8. — С. 132–139.

81. Лапина, О.В. Экономическая целесообразная дополнения УЗВ-установки оборудованием мини-аквапоника для совместного выращивания рыб и растений / О.В. Лапина // Вопросы управления и экономики: Современное состояние актуальные проблемы: Сборник статей по материалам XXV Международной научно-практической конференции. — 2019. — С. 67–71.

82. Ларцева, Л.В. Гигиеническая оценка гидробионтов Волго-Каспийского бассейна по микробиологическим показателям / Л.В. Ларцева, И.А. Лисицкая, А.В. Менькова // Естественные науки. — 2009. — № 2. — С. 26–30.

83. Ларцева, Л.В. Роль аэромонад в санитарно-гигиеническом мониторинге гидроэкосистемы Волго-Каспийского региона / Л.В. Ларцева, О.В. Обухова, И.А. Лисицкая // Гигиена и санитария. — 2011. — № 3. — С. 15–17.

84. Лиманский, В.В. Инструкция по физиолого-биологическим анализам рыбы / В.В. Лиманский, А.А. Яржомбек, Е.Н. Бекина, С.Б. Андронников. — М.: Изд-во ВНИИРХ, 1984. — 60 с.

85. Лобкова, Е.Е. Из опыта применения аквапоники в Германии / Е.Е. Лобкова, Л.Н. Румянцева. // Актуальные вопросы развития науки и технологий: Сборник статей Международной научно-практической конференции молодых учёных. Костромская государственная сельскохозяйственная академия. — 2017. — С. 253–256.

86. Лукин, А.В. Биологический анализ уловов осетра в среднем течении р. Волги (Татарская республика) / А.В. Лукин. — Изв. АН СССР. Сер. Биол. — 1937. — № 1. — 211–220 с.

87. Лукманова, Д.Н. Инновация в образовании: аквапоника / Д.Н. Лукманова // Взаимодействие науки и общества: проблемы и перспективы:

Сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции. — 2018. — С. 70-72.

88. Лукьяненко, В.И. Южно-каспийский осетр — самостоятельный вид рода *Acipenser* / В.И. Лукьяненко, Ж.Г. Умеров, Б.Б. Каратаева. — Изв. АН СССР.: Сер. биол. — 1974. — № 5. — 736–739 с.

89. Лукьяненко В.И., Гераскин П.П. Количественная характеристика гемоглобина крови у осетровых в морской и речной периоды жизни // Тезисы докладов на Отчетной сессии Центрально-исследовательского института осетрового хозяйства “ЦНИОРХ” (22–25 февраля 1966 года). — Астрахань: Центрально-исследовательский институт осетрового хозяйства, 1966. — С. 41.

90. Львов, Ю.Б. Использование технологических приемов индустриального рыбоводства для выращивания товарной рыбы на фермерском подворье/ Ю.Б. Львов // Рыбоводство и рыбное хозяйство. — 2016. — № 1 (121). — С. 41–45.

91. Мандель, И.Д. Кластерный анализ / И.Д. Мандель. — М.: Финансы и статистика, 1988. — 176 с.

92. Маслова, Н.И., Серветник Г.Е., Петрушин А.Б. Эколого-биологические основы поликультуры рыбоводства. — М.: ВНИИР, 2002. — 268 с.

93. Маркарьян, О.В. Аквапоника – взаимосвязанный процесс выращивания рыб и растений / О.В. Маркарьян. — <http://biznesvbloge.ru/biznes-ideya-692-akvaronika>.

94. Матишов, Г.Г. Практическая аквакультура: разработки ЮНЦ РАН и ММБИ КНЦ РАН) / Г. Г. Матишов, Е. Н. Пономарёва, Н. Г. Журавлева, В. А. Григорьев, В. А. Лужняк. — Ростов н/Д: Изд-во ЮНЦ РАН, 2011. — 284 с.

95. Матишов, Г.Г. Опыт выращивания осетровых рыб в устновке замкнутой системе водообеспечения для фермерских хозяйств / Г.Г. Матишов, Д.Г. Матишов, Е.Н. Пономарева, В.А. Лужняк, В.Г. Чипинов, М.В. Коваленко, А.В. Казарникова. — Ростов-на-Дону: Изд-во, ЮНЦ РАН, 2006. — 72 с.

96. Матюхина, З.П. Основы физиологии питания, гигиены и санитарии / З.П. Матюхина. — М., 1981. — 186 с.

97. Медведев С.С., Осмоловская Н.Г., Батов А.Ю., Разумова Н.А., Шлычков В.С. Выращивание экологически чистой растительной продукции без почвы в многоярусных гидропонных установках / С.С. Медведев, Н.Г. Осмоловская, А.Ю. Батов, Н.А. Разумова, В.С. Шлычков. — Санкт-Петербург: ТОО ТК Петрополис, 1996. — 68 с.

98. Меньшиков В.В. Клиническая лабораторная аналитика / В.В. Меньшиков. — М.: Агат-Мед, Том I, 2002. — 860 с.

99. Металлов, Г.Ф. Физиолого-биохимические показатели русского осетра при современном состоянии экосистемы Волго-Каспия / Г.Ф. Металлов, П.П. Гераскин, В.П. Аксенов, А.В. Шигапова, Т.А. Синицина, Г.Ш. Исакова // Естественные науки. — Астрахань, 2005. — №2(11). — 48–51 с.

100. Методы химических исследований океана / Под ред. О.К. Бордовского, В.Н. Иваненкова. — М.: Наука, 1978. — 270 с.

101. Микодина, Е.В. Биологические основы и биотехника аквакультуры африканского сомика *Clarias gariepinus* / Е.В. Микодина, Е.Н. Широкова. — Информационные материалы ВНИЭРХ. Сер. Аквакультура. — 1997. Вып. 2. — 44 с.

102. Микряков, В.Р. Реакция иммунной системы карпа при низких значениях рН воды / В.Р. Микряков, Н.И. Силкина // Профилактика и диагностика инфекционных болезней рыб: Всес. совещание 5 Всес. симпозиума по инфекционным болезням рыб. — М., 1986. — С. 66–67.

103. Михкеева, В.С. Токсическое действие соли аммония на уровень циклического аденозинмонфосфата и активность лизосомальных протеиназ карпа / В.С. Михкеева, Н.Н. Немова // Тез докл. 5 Всес. конференции по водной токсикологии. — М., 1988. — С. 136.

104. Моисеев, П.А. Морская аквакультура / П.А. Моисеев, А.Ф. Карпевич, О.Д. Романцева. — М.: Агропромиздат, 1985. — 310 с.

105. Никифоров, А.И. Экологические основы рационального использования водоёмов комплексного назначения в агропромышленном

производстве / А.И. Никифоров. — Труды ВНИРО. — 2016. — Т. 161. — С. 162–168.

106. Никифоров, А.И. Особенности морфологии африканского сома *Clarias gariepinus* / А.И. Никифоров, А.В. Маилкова. — Естественные и технические науки, № 2, 2006. — 65–67 с.

107. Никифоров, А.И. Интегрированные системы в мировой аквакультуре / А.И. Никифоров, Д.К. Круглова, Я.С. Савцова // Рыбоводство и рыбное хозяйство. — 2017. — № 8 (139). — С. 65–72.

108. Николаенко, Е.В. Проектирование очисных сооружений канализации. Учебное пособие / Е.В. Николаенко, В.В. Авдин, В.С. Сперанский. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. — 41 с.

109. Николукин, Н.И. Гибридизация белуги со стерлядью / Н.И. Николукин, Н. А. Тимофеева // Доклады АН СССР. — 1953. — Т. 93. — № 5.

110. Никольский, Г.В. Структура вида и закономерности изменчивости рыб / Г.В. Никольский. — М.: Пищевая промышленность, 1980. — 183 с.

111. Овсянников, Ф.В. Об искусственном разведении стерляди / Ф.В. Овсянников // Труды II съезда русских естествоиспытателей. — М. — 1870. — Ч. 1. — С. 191–200.

112. Овчинникова, Т.И. Воздействие аммиака на рыб / Т.И. Овчинникова // Рыбное хозяйство, сер. Рыбохозяйственное использование внутренних водоемов: Экспресс-информация ВНИЭРХ. — М., 1990. — Вып. 11. — С. 31–35.

113. Омиржанова, Н.М. Совместное выращивание клариевого сома (*Clarias Gariepinus*) и клубники в тепличной аквапониической установки / Н.М. Омиржанова, К.Ш. Нургазы, Т.Т. Баракбаев // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси. — 2018. — № 34. — С. 115–122.

114. Определитель паразитов пресноводных рыб / Под ред. О.Н.Бауера. — Л.: Наука, 1984, 1985, 1987. — Т. 1–3.

115. Павлов, А.Д. Изменение морфологических и хозяйственно-полезных признаков у стерляди (*Acipenser ruthenus* L.) при воспроизводстве в

искусственных условиях (УЗВ): автореф. дисс. ... канд. биол. наук : 06.04.01 : защищена 25.12.2012: утв. 31.01.2013 / А.Д. Павлов. — Москва, 2012. — 23 с.

116. Павловская, Р.М. Особенности естественного воспроизводства черноморских кефалей / Р.М. Павловская. — Белгород-Днестровский, 1976. — 320 с.

117. Панчишный, М.А. Технология культивирования длиннопалых раков (*Astacus leptodactylus*) в системах с замкнутым циклом водообмена / М.А. Панчишный // Животноводство и ветеринарная медицина. — 2019. — № 1. — С. 20–23.

118. Парфенова, В.М. Влияние видоспецифичных экзометаболитов на рост и биохимический состав молоди карпа / В.М. Парфенова // Проблемы химической коммуникации животных: АН СССР ИЭМЭЖ. — М., 1991. — С. 304–311.

119. Погребной-Александров, А.Н. «Занимательная этимология, и/или... — эти мол, логические размышления», кои есть, в причинно видимых изысканиях не токмо словесности русской и иноземноставшей, а и соседствующей с нашей — по городам и весям оным / А.Н. Погребной-Александров. — 2015. — Т. 1. — 246–247 с.

120. Подзорова, А.А. Санитарно-эпизоотическое состояние донских осетровых заводов / А.А. Подзорова, Т.В. Стрижакова, Е.В. Шестаковская, А.В. Казарникова. — М.: Ветеринария, 2009. — № 9. — С.41–43.

121. Помазунова, Т.Н. Аквапоника, как устойчивая система производства продуктов питания / Т. Н. Помазунова, А.А. Кузов, И.А. Маркин // Исследование молодых ученых — вклад в инновационное развитие России: Доклады молодых ученых в рамках программы «Участник молодежного научно-инновационного конкурса» («У.М.Н.И.К.»). Составитель М. В. Лозовская. — 2014. — С. 257–258.

122. Пономарев, С.В. Осетроводство на интенсивной основе / С.В. Пономарев, Д.И. Иванов. — М.: Изд-во “Колос”, 2009. — 312 с.

123. Пономарева, Е.Н. Аквапоника в биотехнологии в модульной установке замкнутого водоснабжения / Пономарева Е.Н., Ильина Л.П., Соколова Т.А. Польшина Т.Н. // Сборник трудов конференции «Окружающая среда и человек.

Современные проблемы генетики, селекции и биотехнологии» — Ростов-на-Дону, 2016. — С. 443–446.

124. Пономарёва, Е.Н. Динамика функционального состояния молоди гибрида русско-ленского осетра при моделировании условий выращивания в установках замкнутого водоснабжения / Е.Н. Пономарева, Г.Ф. Металлов, В.А. Григорьев, А.В. Ковалёва, С.В. Пономарёв, О.А. Левина // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. — 2012. — № 5. — С.72–76.

125. Попова, В.П. Особенности биологии размножения черноморской камбалы-калкана *Scophthalmus maeoticus maeoticus* (Pallas) / В.П. Попова // Вопросы ихтиологии, 1972. — Т. 12. — Вып. 6. — С. 1957–1963.

126. Породы и одомашненные формы осетровых рыб. — М.: ООО «Столичная типография, 2008. — 152 с.

127. Порошина, Е.А. Характеристика естественного воспроизводства судака в кубанских лиманах в современный период / Е.А. Порошина // Вопросы рыболовства, 2011. — Т. 12. — №1. — С. 127–137.

128. Привезенцев, Ю.А. Выращивание рыб в малых водоемах. Руководство для рыбоводов-любителей / Ю.А. Привезенцев. — М.: Колос, 2000. — 128 с.

129. Привезенцев, Ю.А. Методические рекомендации по воспроизводству и выращиванию тиляпий рода *Oreochromis* / Ю.А. Привезенцев, О.И. Боронецкая, Т.Х. Плиева, А.К. Богерук. — М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2006. — 23 с.

130. Прозоркина, Н.В. Основы микробиологии, вирусологии и иммунологии / Н.В. Прозоркина, П.А. Рубашкина. — Москва: Из-во Феникс, 2002. — 378.

131. Пырников, А.С. Рост и рыбоводно-физиологические показатели тиляпии при выращивании на комбикормах с добавкой метаболит плюс: автореф. дисс. ... сельскохозяйственных наук : 06.04.01 : защищена 17.11.2017: утв. 12.12.2017/ А.Д. Павлов. — Москва, 2012. — 23 с.

132. Ракоши Д.Э. Десять принципов работы с системами аквапоники / Д.Э. Ракоши. — 2007. — <http://aquavitro.org/2014/02/28/desyat-principov-raboty-s-sistemami-akvaproniki>.

133. Ракоши Э.Д. Циркуляционные системы аквакультуры / Э.Д. Ракоши, М.П. Массер, Т.М. Лосордо. — <http://aquavitro.org/2012/03/27/akvaponika>.
134. Ратушный А.С. Технология продукции общественного питания. — М.: Мир, 2003. — 351 с.
135. Рисовые террасы Хунхэ-Хани включены в Список Всемирного наследия ЮНЕСКО (Электронный ресурс). — Режим доступа: <http://bigpicture.ru/?p=407865>.
136. Романенко, В.Д., Крот Ю.Г., Сиренко Л.А. Соломатина В.Д.: Биотехнология культивирования гидробионтов / В.Д. Романенко, Ю.Г. Крот, Л.А. Сиренко, В.Д. Соломатина // Институт гидробиологии НАН Украины. — Киев, 1999. — 264 с.
137. Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоёмов и перспективных для промысла районов мирового океана. — М.: Изд-во ВНИРО, 2003. — 202 с.
138. Руткин, Н.М. Урбанизированное агропроизводство (сити-фермерство), как перспективное направление развития мирового агропроизводства и способ повышения производительной безопасности городов / Н.М. Руткин, Л.Ю. Лагуткина, О.Ю. Лагуткин // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. — 2017. — № 4. — С. 95–108.
139. Савцова, Я.С. Мировой опыт создания интегрированных систем в аквакультуре / Я.С. Савцова, А.Н. Никифоров // Интегрированные технологии аквакультуры в фермерских хозяйствах: Материалы Международной научно-практической конференции. — 2016. — С. 130–137.
140. Сборник технологических инструкций по обработке рыбы, Т. 1. — М.: Колос, 1992. — 15 с.
141. Световидов А.Н. Рыбы Черного моря. — М.–Л.: Наука, 1964. — 551 с.
142. Семененко, Л.И. Таксономический статус калкана *Scophtalmus maeoticus torosus* (Rathke, 1937) Азовского моря / Л.И. Семененко, А.И. Смирнов // Вопросы ихтиологии. — 1980. — Т. 20. — Вып. 3. — С. 431–436.



143. Силкина, Н.И. Состав липидных тканей карпа в условиях влияния ионов аммония / Н.И. Силкина, Г.А. Виноградов, В.Р. Микряков // Тез. докл. 5 Всес. конференции по водной токсикологии. Одесса, 18–22 апр. 1988. — М., 1988. — С. 102.

144. Ситников, А.Н. Аквапоника / А.Н.Ситников. — <http://www.group-global.org/page/view/176>.

145. Статкевич С.В. Плодовитость гигантской креветки *Macrobrachium rosenbergii* в условиях аквакультуры / С.В. Статкевич // Рыбне господарство України. — Керч, 2009. — №5(64). — С. 35–36.

146. Статкевич С.В., Шишова В.В. Определение чувствительности патогенной микрофлоры личинок гигантской креветки *Macrobrachium rosenbergii* к антибиотикам / С.В. Статкевич, В.В. Шишова // Заповедники Крыма: Материалы VI Международной научно-практической конференции. — Симферополь, 2011. — С. 353–356.

147. Смирнов, А.А. Подходы к разработке технологии управляемого выращивания овощей в закрытых искусственных агроэкосистемах / А.А. Смирнов, И.М. Довлатов, Ю.А. Прошкин, А.А. Гришин, А.П. Гришин // Агротехника и энергообеспечение. — 2019. — № 4 (25). — С. 61–70.

148. Спотт, С. Содержание рыбы в замкнутых системах / С. Спотт. — М.: Легкая и пищевая промышленность. — 1983. — 192 с.

149. Справочник по физиологии рыб / Под ред. А.А. Яржомбека. — М.: Агропромиздат, 1986. — 192 с.

150. Стеффенс, В. Индустриальные методы выращивания рыб / В. Стеффенс. - М.: Агропромиздат, 1985. - 386 с.

151. Ступка, З. Экскреция аммиачного азота (TAN) у молоди севрюги (*A. stellatus*) и стерляди (*A. ruthenus*) при различных температурах во время интенсивного выращивания / З. Ступка, Я. Коуржил, О. Валентова и др. // Аквакультура осетровых рыб: Материалы 4-ой Междунар. науч.-практ. конф., Астрахань. — М.: ВНИРО, 2006. — С. 55–57.

152. Сыздыков, К.Н. Изучение роста и развития некоторых видов рыб при выращивании в условиях аквапоники / К.Н. Сыздыков, Ж.Б. Куржикаев., С.Н. Нарбаев, Ж.Б. Куанчалеев, Э.Б. Марленов, Д.Ж. Бекен // В сборнике: Сельскохозяйственные науки: вопросы и тенденции развития: Сборник научных трудов по итогам Международной научно-практической конференции. — 2015. — С. 25–27.

153. Суслов, А.Э. Установка для термоподготовки воды на предприятиях аквакультуры: патент на полезную модель (РФ) / А.Э. Суслов, Е.И. Хрусталева, Ю.А. Фатыхов и др. — 2011109814/06. № 107847 RU. МПК F 25B 29/00. Заявлено 15.03.2011. Бюл. № 24. Приоритет 15.03.11. Опубл. 27.08.2011.

154. Томеди, Э.М. Клариевый сом перспективный объект аквакультуры / Э.М. Томеди, А.М. Тихомиров // Рыбоводство и рыболовство. — М., 2000. — Вып. 4. — 14 с.

155. Трифилова, А.А. Управление инновационным развитием предприятия / А.А. Трифилова. — М.: Финансы и статистика, 2003. — 126 с.

156. Турчинович, А.Д. Автоматизированная система для полива растений в аквапонике / А.Д. Турчинович, Т.В. Смирнова // Сахаровские чтения 2019 года: экологические проблемы XXI века: Материалы 19-й Международной научной конференции. — 2019. — С. 340–344.

157. Умпелев, В.Л. Опыт использования гидропоники на рыбоводной установке с рециркуляцией воды / В.Л. Умпелев, Е.Н. Мухаметшина, Э.И. Попов // Тез. докл. Всес. совещания по рыбоводству в замкнутых системах (25–27 фев.). — М., 1986. — С. 27–28.

158. Федорова, З.В. Выращивание морских и пресноводных рыб в системах с замкнутым циклом водообеспечения / З.В. Федорова // Рыбное хоз-во; инф. пакет, серия: Аквакультура. — М., 1997. — Вып. 3. — С. 27.

159. Филиппович, Ю.Б. Практикум по общей биохимии / Ю.Б. Филиппович, Т.А. Егорова, Г.А. Севастьянова. — М.: Просвещение, 1975. — 318 с.

160. Хайдуков, Д.С. Применение кластерного анализа в государственном управлении / Д.С. Хайдуков // *Философия математики: актуальные проблемы*. — М.: МАКС Пресс, 2009. — 287 с.
161. Хмелева, Н.Н. Экология пресноводных креветок / Н.Н. Хмелева. — Минск: Беларуская навука, 1997. — 254 с.
162. Хоул, Дж. Определитель бактерий берджи / Дж. Хоул, Н. Криг, П. Смит, Дж. Стейли, С. Уилльямс. — Москва: Издательство Мир, 1997. — 653 с.
163. Цепкин, Е.А. Русский осетр *Acipenser guldenstadti* Brandt в среднем и позднем голоцене / Е.А. Цепкин, Л.И. Соколов // *Вопр. Ихтиологии*. — Т. 10. Вып. 1. — 1970. — 24–36 с.
164. Чебанов, М.С. Руководство по разведению осетровых рыб / М.С. Чебанов, Е.В. Галич, Ю.Н. Чмырь. — М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2004. — 148 с.
165. Черкесова, Д.Н. Биохимическая индикация состояния рыб в условиях нитритного стресса / Д.Н. Черкесова, А.Б. Шахназарова, А.Р. Исуев // *Нов. технол. в защите биоразнообр. в водн. Экосист.: Междунар. науч. конф.* — 2002. — М. — С. 191.
166. Черфас, Б.И. Рыбоводство в естественных водоемах / Б.И. Черфас. — М.: Пищевая пром-ть, 1950. — 215 с.
167. Юрина, Н.А. Синергия двух отраслей сельского хозяйства / Н.А. Юрина, А.А. Данилова, Д.А. Юрин, Е.А. Максим, Д.В. Осепчук // *Сборник научных трудов Краснодарского научного центра по зоотехнии и ветеринарии*. — 2019. — Т. 8. — № 3. — С. 150–153.
168. Юрьева, Е.В. Гидропоника и аквапоника — современные методы выращивания растений и рыбы / Е.В. Юрьева // *Состояние и пути развития аквакультуры в РФ в свете импортозамещения и обеспечения продовольственной безопасности страны*. — 2016. — С. 145–150.
169. Юхименко, Л.Н. Мониторинг микробиоценоза осетровых рыб / Л.И. Юхименко, Л.И. Бычкова // *Ветеринария*. — 2009. — №4. — С. 25–27.

170. Шевкопляс, В.Н., Ковалев Г.К. О ветеринарном сопровождении проектов по разведению аквакультуры в Российской Федерации / В.Н. Шевкопляс, Г.К. Ковалев // Конференция по вопросам развития аквакультуры в Российской Федерации: Материалы докладов. — М.: Издат-во ВНИРО, 2014. — С. 64–66.

171. Шелехова, О.В. Аквапоника, как устойчивая система выращивания комнатных растений и продуктов питания / О.В. Шелехова, Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине: Сборник научных трудов III Международной научной конференции: в 2 частях. Под редакцией: О.Г. Берестневой, О.М. Гергет, Т.А. Гладковой; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. — 2016. — С. 614–616.

172. Шпагина, Е.В. Место системы аквапоники в решение экологических, экономических и социально значимых проблем Астраханского региона / Е.В. Шпагина, А.К. Болонина // Инновационное развитие регионов: потенциал науки и современного образования: Материалы II Национальной научно-практической конференции. Под общ. ред. Т. В. Золиной. — 2019. — С. 14–17.

173. Boutwelluc, J. Aztecs' aquaponics revamped / J. Boutwelluc, 2007. — 57 с.

174. Brandt, N.V. Corneal cloudiness in transported largemouth bass / N.V. Brandt, R.M. Jones, J.R. Koke // Progressive Fish Culture. — 1996. — N 48. — P.199–201.

175. Carstens E.B. Ratification vote on taxonomic proposals to the International Committee on Taxonomy of Viruses, 2009 / E.B. Carstens // Arch. Virol. — 2010. N 155. — P. 133–146.

176. Castell, J.D. Report of the EIFAC, IUNS and ICES Working Group on the standartization of the methodology in fish nutrition research / J.D. Castell, K. Tiews. — EIFAC Tech. Pap. — Hamburg, 1979. — 1–24 p.

177. Chromy, V. Katikova Olu. Effect of mexidol on the homeostasis and lipid peroxidation V. Chromy, R. Kukla, M. Hornakova, A. Malimankova, J. Belusa. — Diagn. Lab. 11. — 1975. — 231 p.

178. Cromy V. Standardization of hemoglobinometry / V. Cromy, M. Valickova, V. Hule, J.S. Babjuk // Z. med. Laor. — Diagn., 1977. — 106 p.

179. Crossley, P.L. Sub-irrigation in wetland agriculture / P.L. Crossley. — Agriculture and Human Values. — 2004. — Vol. 21. — 191–205 p.

180. Ecological mechanisms underlying the sustainability of the agricultural heritage rice–fish coculture system // PNAS. Published online before print November 14. — 2011. — ... c.

181. Gangenes, S.S.L. Aquaponics NOMA (Nordic Marine) — New Innovations for Sustainable Aquaculture in the Nordic Countries. / S.S.L. Gangenes, H. Liltved, P. Rye Kledal, R. Høgberget, R. Björnsdottir, J.M. Homme, S. Oddsson, H. Paulsen, A. Drengstig, NA. Savidov, R. Seljåsen // Book. Nordic Council of Ministers, Nordic Innovation. — 2015. — ISBN: 978-82-8277-076-7. — 108 p.

182. Wilson, G. Greenhouse aquaponics proves superior to inorganic hydroponics / G. Wilson // Aquaponics Journal. — 2005. — № 39. — P. 14–17.

183. Graber, A. Aquaponic Systems: Nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production / A. Graber, R. Junge // Desalination. — 246 (2009). — Pp. 147–156.

184. Hayes, S.L. Identification by microarray of a common pattern of gene expression in intact intestine and cultured intestinal cells exposed to virulent *Aeromonas hydrophila* isolates / S.L.Hayes, B.R. Lye, D.J. Lye, M.R. Rodgers, G. Stelma, S.J. Vesper, M. Joel, J.M. Malard, A. Vandewalle // Journal of Water Health. — 2006. — V. 04. — PP. 381–388.

185. Huertas, M. Acute exposure of Siberian sturgeon (*Acipenser baeri* Brandt) yearlings to nitrite: Median-lethal concentration (LC50) determination, haematological changes and nitrite accumulation in selected issues / M. Huertas, E. Gisbert, A. Rodriguez, I. Cardona, P. Williot, F. Castello-Orvay // Aquat. Toxicol. — 2002. — 57, №4. — P. 257–266.

186. Noga, E.G. Fish Disease: Diagnosis and Treatment, 2nd Edition / E.G. Noga. — Wiley-Blackwell, 2010. — 536 p.

187. Nichols, M.A. Aquaponics: a Nutrient and Water efficient Production System / M.A. Nichols, N.A. Savidov // *Acta Horticulturae*. 2012. — V. 947. — PP. 129–132.

188. FAO Fisheries Department, Fishery Information, Data and Statistics Unit. FISHSTAT Plus: Universal software for fishery statistics time series. — Version 2.30. — 2006–2009.

189. Fijan, N.N. The survival of *Chondrococcus columnaris* in waters of different quality / N.N. Fijan // *Symposium II de la Commision de l'Office International des Episooties Des Maladies Des Poissons*. — Stockholm, 1968. — 73 p.

190. Fishbach, F. A manual of laboratory diagnostic tests/F. Fishbach, M. Dunning / F. Fishbach. — 7th ed. Lppincott Williams & Wilkins, 2004. — 1291 p.

191. Khiari, Z. Aerobic bioconversion of aquaculture solid waste into liquid fertilizer / Z. Khiari, S. Kaluthota, N.A. Savidov // *Effects of bioprocess parameters on kinetics of nitrogen mineralization Aquaculture/* — V. 500, 1 February/ — 2019/ — PP. 492–499.

192. Knight? J. Chemical basis of the sulfo-phospho-vanillin reaction for estimating total serum lipids / J. Knight, S. Anderson, J. Rawle // *Clin Chem*. — Vol. 18, 1972. — 199–202 p.

193. Kwon, C.S. Life history of the freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii* (De Man) reared in the laboratory / C.S. Kwon // *Collect Breed*. — Vol. 44, № 2. — 1982. — P. 376–381.

194. MacDonald, R. Community analysis of bacterial biofilms in a simulated recirculating cooling-water system by fluorescent in situ hybridization with rRNA-targeted oligonucleotide probes / R. MacDonald // *Water Research*. — 2006. - P. 2439–2446.

195. Malik, E.S. Effect of feeding and water quality on the ammonium-ion content of carp blood / E.S. Malik, J. Olah // *Aquacult. Hung*. —1984. —№ 4. — P. 87–95.

196. Henkel, M. 21st Century Homestead / M. Henkel // *Sustainable Agriculture*. — Lulu.com — 2015. — 394 p.

197. Martinsa, C.I.M. New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability / C.I.M. Martinsa, E.H. Edinga, M.C.J. Verdegema, L.T.N. Heinsbroeka, O. Schneiderc, J.P. Blanchetond, E. Roque d'Orbcasteld, Verreth J.A.J. // *Aquacultural Engineering*. — 2010. — Vol. 43, Issue 3. — P. 83–93.

198. Mayano, F.J. El amoniaco en los peces. Aspectos toxicos / F.J. Mayano, J. Cardenete // *Ars.pharm.: Rev. Fac. farm.* — 1988. — Vol. 29, № 2. — P. 145–152.

199. McMurtry, M.R. Aqua-Vegeticulture Systems / M.R. McMurtry, P.V. Nelson, D.C. Sanders. — *International Ag-Sieve*. — 1988. — Vol. 1. — 157 p.

200. Myrtry, M.R. Effects of biofilter (Cultured tank volume ration on productivity of a recirculating fish) vegetable co-culture system / M.R. Myrtry, D.C. Sanders, J.D. Cure, R.J. Hodson // *Fish. Farm. Int.* — 1994. — 22, № 13. — P. 21–23.

201. Konstantinov A.S., Zdanovich V.V., Pushkar' V.Ia., Rechinskii V.V., Kostoeva T.N. Rost i energetika molodi sterliadi *Acipenser ruthenus* v optimal'nom stacionarnom termorezhime i v termogradientnom prostranstve v zavisimosti ot nakormlenosti (Growth and energy of juvenile of sterlet *Acipenser ruthenus* at optimal stationary thermomode and while swimming in thermogradient area depending on fish saturation) / A.S. Konstantinov, V.V. Zdanovich, V.Ia. Pushkar', V.V. Rechinskii, T.N. Kostoeva // *Voprosy ikhtiologii*. — 2005. — Vol. 45, N. 6. — PP. 831–836.

202. Tomita-Yokotani, K. Space agriculture for habitation on mars and sustainable civilization on earth / K. Tomita-Yokotani, S. Anilir, N. Katayama, H. Hashimoto, M. Yamashita // *Recent Advances in Space Technologies*. — 2009. — C. 68–69.

203. Pandian, T.J. Yolk utilisation and hatching time in the Canadian lobster *Homarus americanus* / T.J. Pandian // *Mar. Biol.* — 1970. — 7. № 3. — P. 249–254.

204. Savidov, N.A. Fish and plant production in a recirculating aquaponics system: A new approach to sustainable agriculture in Canada / N.A. Savidov, E. Hutchings, J.E. Rakocy // *Acta Hort.* — 2007. — Vol. 742. — PP. 209–221.

205. Somerville, C. Small-scale aquaponic food production. Integrated fish and plant farming. FAO Paper / C. Somerville, M. Cohen, E. Pantanella, A. Stankus, A.

Lovatelli. — Rome: Fisheries and Aquaculture Technical FAO, 2014: — № 589. — 262 pp.

206. Alcorn, S.W. Effects of rearing temperature on immune functions in sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) / S.W. Alcorn, A.L. Murray, R.J. Pascho // *Fish & Shellfish Immunology*. — 2002. — Vol. 12, Issue 4. — P. 303–334.

207. Stickney, R.R. Principles of Warmwater Aquaculture / R.R. Stickney. — New York: John Wiley & Sons, 1979. — 375 p.

208. Trinder, P. Determination of glucose in blood using glucose oxidase with an alternative oxygen acceptor / P. Trinder. — *Ann. Clin. Biochem.* — 1969. — Vol. 6, — 24–27 p.

209. Van Kampen E.J. Standardization of hemoglobinometry. The hemoglobincyanide method / E.J. Van Kampen, W.G. Zijlstra. — *Clin. Chim. Acta.* — 1961. — Vol. 6. — 538–545 p.

210. Ponomareva, E. Features of the reproductive system development in the installations of closed water supply system / E. Ponomareva, P. Geraskin, M. Sorokina et al. // *E3S Web Conf. XIII International Scientific and Practical Conference “State and Prospects for the Development of Agribusiness. — INTERAGROMASH 2020”*. — 2020. — V.175. — P. 8.

211. Crossley, P.L. Sub-irrigation in wetland agriculture / P.L. Crossley // *Agriculture and Human Values*. — 2004. — Vol. 21. — Vol. 2/3. — P. 191–205.

212. Peeler, E.J. Assessment of exotic fish disease introduction and establishment in the United Kingdom via live fish transporters / E.J. Peeler, M.A. Thrush // *Disease of Aquatic Organisms*. — 2009. — Vol. 83. — P. 85–95.

213. Rakocy, J.E. & Bailey, Donald & Shultz, R.C. & Danaher, J.J. Preliminary evaluation of organic waste from two aquaculture systems as a source of inorganic nutrients for hydroponics / J.E. Rakocy, D. Bailey, R.C. Shultz, J.J. Danaher // *Acta Horticulturae*. — 2007. — Vol. 742. 201-208. 10.17660/ActaHortic.2007.742.27

214. Rakocy, J. Aquaponics-Integrating Fish and Plant Culture / Rakocy, J. — (2012). 10.1002/9781118250105.ch14.



215. Rudd, M.A. National values for regional aquatic species at risk in Canada / M.A. Rudd // DAO. — 2009. — P. 239–249.

216. Zolner, N. Uber die quantitave Bestimmung von Lipoiden (micromethode mittels die vieles naturlischen Lipoiden allen Bekannten plasmolipoiden) gemeinsamen sulfophosphovanilin-reaction / N. Zolner, K.Z. Kirch. — Zeitschrift fur die gesamte experimentelle Medicin. — 1962. — Vol. 135, № 6. — 545–561 p.

217. Watanabe, T., Kitajima C., Fujita S. Nutritional values of live organisms used in Japan for mass propagation of fish: a review / T. Watanabe, C. Kitajima, S. Fujita / Aquaculture, 1983. — V. 34. — № 1/2. — Pp. 115–143.

218. Watten, B.I. Tropical production of tilapia (*Sarotherodon aurea*) and tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) in a small - scale recirculating water system / B.I. Watten, R.L. Busch // Aquaculture. — 1984. — Vol.41, № 3. — P. 271–283.

219. Wu, C. Устойчивость осетровых гибридов к изменениям окружающей среды / C. Wu, A. Zhu, X. Zhao // Shuichan Kexue. Fish. Sci. — 2005. — Vol. 24, № 9. — P. 1–4.

220. [bibliotekar.ru/spravochnik-144-inzhenernoeoborudovanie/28.htm](http://bibliotekar.ru/spravochnik-144-inzhenernoeoborudovanie/28.htm).

221. [http://ru.wikipedia.org/wiki/ %D0 %90 %D0 %BA %D0 %B2 %D0 %B0 %D0 %BF %D0 %BE %D0 %BD %D0 %B8 %D0 %BA %D0 %B0](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BA%D0%B2%D0%B0%D0%BF%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0).

222. [http://traditio.org/wiki/ %D0 %90 %D0 %BA %D0 %B2 %D0 %B0 %D0 %BF %D0 %BE %D0 %BD %D0 %B8 %D0 %BA %D0 %B0](http://traditio.org/wiki/%D0%90%D0%BA%D0%B2%D0%B0%D0%BF%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0).

223. <http://www.aqualogo-engineering.ru/construction/akvakultura/>.

224. <http://aquavitro.org/2013/01/29/obzor-tipovyx-processov-v-sisteme-zamknutogo-vodosnabzheniya/>.

225. [http://www.equipnet.ru/org-biz/other/other\\_105.html](http://www.equipnet.ru/org-biz/other/other_105.html).

226. [http:// www.promgidroponica.ru/node/10](http://www.promgidroponica.ru/node/10).

227. [http://trifonfishfarm.ucoz.ru/publ/vidy\\_vyrashhivaemoj\\_ryby/somy/somy/](http://trifonfishfarm.ucoz.ru/publ/vidy_vyrashhivaemoj_ryby/somy/somy/).

228. <http://eco-boom.com/rybno-rastitelnyj-simbioz-ili-neskolko-slovakvaponike>.

229. <http://чудосад.com/item/akvaponika-i-gidroponika.html>.

230. <http://gidroponika.com/content/view/860/483/> .

231. <http://aquavitro.org>.
232. <http://artikyl.ru/catalog/vegetables/petrushka-mooskrauze-2>.
233. <http://istok-vesna.ru/vegetable-seeds-berries/ogurcy/ogurets-zyatek-gavrish-vistok.html>.
234. <http://g-global-expo.org>.
235. <http://oko-planet.su>.
236. <http://traditio-ru.org>.
237. <http://hydroponeast.com>.
238. [http://www.equipnet.ru/org-biz/other/other\\_105.html](http://www.equipnet.ru/org-biz/other/other_105.html).
239. [www.billund-aqua.dk](http://www.billund-aqua.dk).
240. [www.uzv.su/ru/building/technology](http://www.uzv.su/ru/building/technology).
241. [www.fish1.ru](http://www.fish1.ru).