

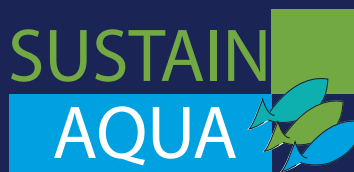
Справочник по
**устойчивой
аквакультуре**



Project N°: COLL-CT-2006-030384



Sixth Framework Programme



Интегрированный подход к устойчивой и
здоровой пресноводной аквакультуре



Список сокращений, используемых в справочнике	4
Предисловие	5
1. SustainAqua – Введение	7
2. Устойчивость в аквакультуре	10
3. Технологии и продукция важнейших пресноводных аквакультурных систем Европы	16
3.1. <i>Прудовое рыбоводство</i>	16
3.2. <i>Проточные системы аквакультуры</i>	17
3.3. <i>Установки замкнутого водоснабжения</i>	18
3.4. <i>Садковое рыбоводство в пресноводных озерах и реках</i>	18
4. Система регуляции европейской пресноводной аквакультуры и ее управление	19
4.1. <i>Общая рыбохозяйственная политика (CFP) и связанные с ней документы</i>	20
4.2. <i>Экологические стратегии, имеющие большое значение для развития аквакультуры</i>	24
5. Качество и диверсификация продукции – Рыночные возможности реализации рыбных продуктов и побочных продуктов, производимых рыбоводами	27
5.1. <i>Качество продукции – пример Польши</i>	27
5.2. <i>Растения водно-болотных угодий для биоэнергетической индустрии – пример Венгрии</i>	28
5.3. <i>Растения, выращиваемые в гидрокультуре и тропические фрукты для косметической промышленности – пример Швейцарии</i>	29
6. Очистка воды интенсивных аквакультурных систем с помощью водно-болотных угодий и экстенсивных рыбоводных прудов – Примеры из Венгрии	32
6.1. <i>Искусственные водно-болотные угодья как устойчивый метод очистки сбросных вод аквакультуры и производства ценных культур («Система с африканскими сомами»)</i>	32
6.2. <i>От примера до рыбного хозяйства: Как очистить сточную воду сомового хозяйства?</i>	38
6.3. <i>Комбинация интенсивной и экстенсивной аквакультуры для устойчивого использования воды и питательных веществ (Интенсивно-экстенсивная система)</i>	43
6.4. <i>От примера до рыбного хозяйства: Проектирование теоретической комбинированной системы</i>	48
7. Улучшенная естественная продукция в экстенсивных рыбоводных прудах – Пример Польши	52
7.1. <i>Новые виды и методы в прудовом рыбоводстве: Модуль «ПОЛИКУЛЬТУРА»</i>	52
7.2. <i>Практические рекомендации и выводы из зарыбления поликультурных прудов веслоносом</i>	59
7.3. <i>Использование сельскохозяйственных отходов в прудовом рыбоводстве в качестве питательных веществ: Модуль «КАСКАД» в Польше</i>	62
7.4. <i>От примера до рыбного хозяйства: Проектирование каскадного модуля</i>	68
8. Новые методы в форелеводстве для уменьшения количества сточных вод на хозяйствах – Пример Дании	72
8.1. <i>Введение – Общее описание приведенного примера</i>	72
8.2. <i>Корма и кормление – Воздействие опытных форелевых хозяйств на окружающую среду</i>	74
8.3. <i>Расход энергии на опытных форелевых хозяйствах</i>	77
8.4. <i>Выращивание прудовых растений в водоочистных прудах опытных хозяйств</i>	79
8.5. <i>Выращивание альтернативных видов рыб в водоочистных прудах опытных хозяйств</i>	81
8.6. <i>Итоги – Факторы успеха и ограничивающие факторы</i>	82
8.7. <i>От примера до рыбного хозяйства: Как управлять опытным форелевым хозяйством, производящим 500 т рыбы в год (Опытное форелевое хозяйство «Айstrupхольм»)</i>	83
9. Выращивание тилляпии в установках замкнутого водоснабжения (УЗВ) – Пример Нидерландов	85
9.1. <i>Модуль «Реактор для денитрификации навоза» (УЗВ)</i>	85
9.2. <i>От примера до рыбного хозяйства: Интеграция денитрифицирующего USB-MDR в УЗВ мощностью 100 т для выращивания тилляпии</i>	89

9.3.	Модуль «Перифитонный фильтр» (PTS)	108
9.4.	От примера до рыбного хозяйства: Как управлять опытным рыбоводным прудом, производящим 5 тонн рыбы в год, с модулем PTS	109
10.	Производство тропических растений и рыб в поликультуре согласно интегрированной концепции «Тропенхаус» - Пример Швейцарии	111
10.1.	Введение – Общая концепция «Тропенхаус» в Швейцарии	111
10.2.	Интеграция ракообразных в производство тилляпии и рыбные корма из тропических растений	112
10.3.	Тепловодный гидропонический фильтр в системе «тропической» поликультуры	114
10.4.	От примера до рыбного хозяйства: Проектирование тепловодной системы с гидропоническим фильтром в «Тропенхаус Вольхузен»	118
	Использованная и рекомендуемая литература	122
	Информация о проекте «SustainAqua»	122
	Устойчивость в аквакультуре	122
	Рекомендуемая литература об искусственных водно-болотных угодьях и интегрированных экстенсивно-интенсивных системах	123
	Рекомендуемая литература о прудовой поликультуре и каскадных системах	123
	Рекомендуемая литература об опытных форелевых хозяйствах	123
	Рекомендуемая литература о новых методах в УЗВ	124
	Рекомендуемая литература о проекте «Тропенхаус»	124
	Авторы справочника	126
	Благодарности	127

Список сокращений, используемых в справочнике

БПК₅: Биохимическое потребление кислорода за 5 суток (легкоокисляющиеся органические вещества)

БЭ: Безазотный экстракт (углеводы)

ВГЗ: Время гидравлического задержания [час]

ВКП: Видимый коэффициент усвояемости (соотношение переваренного питательного вещества и его потребленного количества)

КК: Кормовой коэффициент (килограмм потребления корма на килограмм прироста массы тела)

СВ: сухое вещество

УСР: Удельная скорость роста (% прироста массы тела в сутки)

ХПК: Химическое потребление кислорода, включая БПК₅ (все органические вещества)

СВА: Анализ эффективности (Cost-Benefit Analysis), используемый для экономической оценки инвестиций

СО₂: Углекислый газ

N: Азот

NO₂⁻: Нитрит

NO₃⁻: Нитрат

O₂: Кислород

P: Фосфор

q: проточность [м³/час, м³/сут., л/с]

Предисловие

Мировая аквакультура развивается быстрыми темпами вследствие совокупности двух факторов: большого и постоянно растущего спроса на морепродукты и истощения рыбных запасов в мировом океане. Чтобы избежать ошибок, совершенных европейскими секторами сельского хозяйства и рыболовства, рыбоводы в нынешнем и будущем развитии своей отрасли не должны упускать из виду одинаковую важность и взаимозависимость экологически безопасного, экономически жизнеспособного и социально приемлемого развития – т.е. принципов устойчивости.

В конечном счете, всех рыбоводов, независимо от того, выращивают они рыбу в УЗВ или прудах, занимают одни и те же вопросы: как использовать более эффективно питательные вещества, чтобы сэкономить затраты на корма, достичь более высоких объемов продукции и меньших концентраций питательных веществ в сточных водах? как улучшить очистку сточных вод и уменьшить их количество, чтобы снизить сумму штрафов за загрязнение воды, выплачиваемых властям? как соответствовать всем нормативным требованиям и ограничениям, убедить потребителей, что производимая ими продукция имеет наилучшее качество и производится без вреда для окружающей среды, и притом получить доход, достаточный для обеспечения средств к существованию для рыбовода и занятости для его работников?

Целью проекта ЕС «SustainAqua» было ответить на ряд этих вопросов. Проект, направленный на достижение большей устойчивости европейской отрасли пресноводной аквакультуры путем улучшения производственных методов, исследования возможного рыночного внедрения научных разработок и улучшения качества продукции, проанализировал пять конкретных европейских примеров, представляющих наиболее релевантные методы и объекты пресноводной аквакультуры. Был протестирован ряд практических техник для укрепления различных аквакультурных хозяйств Европы устойчивыми способами – от экстенсивных и полунтенсивных прудовых систем, преобладающих в Центральной и Восточной Европе, до интенсивных установок замкнутого водоснабжения, использующихся в Северо-Западной Европе. Основные результаты описаны в настоящем Справочнике «SustainAqua».

В качестве отправной точки мы обсудим «устойчивость» и ее возможное значение для аквакультуры. Мы представим показатели устойчивости, разработанные для оценки конкретных примеров «SustainAqua». Для лучшей систематизации последующих модулей будут кратко представлены технологии сектора – прудовое рыбоводство, проточные системы и УЗВ. Как общеизвестно, на труд рыбоводов и будущее развитие их хозяйств оказывают значительное влияние различные национальные и европейские нормативные документы, относящиеся к сектору. Поэтому дается краткое описание законодательно-нормативных основ аквакультуры в Европе. Для того чтобы выдержать растущую рыночную конкуренцию, важнейшими условиями являются отличное и доказанное качество рыбной продукции и инновативное использование побочных продуктов аквакультуры. В одной из глав справочника представлено влияние различных производственных систем на качество продукции, а также возможное рыночное применение побочных продуктов аквакультуры.

Основную часть настоящего справочника составляет описание отдельных модулей, исследованных в качестве пяти примеров «SustainAqua». Традиционно используемые в Центральной Европе прудовые хозяйства представлены примерами из Венгрии и Польши. В Венгрии эффективность очистки воды интенсивной проточной рыбоводной системы была улучшена с помощью использования искусственных водно-болотных угодий в качестве биофильтра. Кроме того, представлены выгоды от комбинации интенсивной и экстенсивной аквакультуры для более эффективного использования воды и питательных веществ. В польском примере «каскадной» системы прудов аквакультура интегрируется с требованиями современного сельскохозяйственного хозяйства, используя навоз для производства планктона в качестве корма для поликультуры карповых. Отвечая на общее снижение спроса на карпа в Восточной Европе, в традиционную поликультуру как новый объект аквакультуры был введен веслонос с целью диверсификации продукции, более эффективного использования питательных веществ и увеличения прибыльности карповых хозяйств.

В Дании и Нидерландах были протестированы техники открытых и закрытых рециркуляционных систем. В то время как в Дании рассматривается выращивание радужной форели на так называемых «опытных хозяйствах» с целью оптимизации управления кормлением, а также снижения экологических воздействий и затрат на энергию, в голландском примере анализируется интенсивное производство тилапии в УЗВ с использованием двух различных модулей, снабженных реактором для денитрификации навоза и перифитонным фильтром, уменьшающих расход воды, потребление энергии и выпуск питательных веществ в окружающую среду. Проект завершается швейцарским примером, уникальным для Европы, в котором тилапия и тропические фрукты выращиваются в

поликультурной тепличной системе, использующей бесплатное отходящее тепло, доказывая этим, что «отходы» могут использоваться как многофункциональные ресурсы для производства экономически и экологически жизнеспособной рыбной и сопутствующей продукции.

С целью передачи наших научных результатов рыбоводам имеющаяся информация по внедрению отдельных модулей представлена в разделах «От примера до рыбного хозяйства». Перед каждым таким разделом приводятся общее описание и принципы данного модуля, оценка показателей «SustainAqua», факторы успеха и ограничивающие факторы, а также основные выгоды.

Пресноводная аквакультура Европы стоит перед сложным периодом, но может рассчитывать на светлое будущее, если мы - как ученые, разрабатывающие методы и технологии для устойчивой аквакультуры, так и промышленность, претворяющая их в жизнь, - и в дальнейшем будем объединять наши силы, работая для устойчивого европейского общества.

Дипл. инж. Александра Обердик
Бремерхафен, Германия, июнь 2009 г.
Координатор «SustainAqua»

Проф. д-р Йохан Веррет
Вагенинген, Нидерланды, июнь 2009 г.
Научный директор «SustainAqua»

1. SustainAqua – Введение

Пресноводные рыбоводы Европы ведут борьбу на два фронта. С одной стороны, с расширением глобализации они во все большей степени подвергаются конкуренции со стороны производителей тех стран, в которых себестоимость продукции существенно ниже. С другой стороны, они должны соответствовать жестким требованиям европейского и национальных законодательств по качеству продукции, охране окружающей среды и здравоохранению. Кроме того, существуют нормативные ограничения на сброс и добычу воды, использование химикатов и генетические модификации. Успех сектора пресноводной аквакультуры в Европе в значительной мере зависит от способности рыбоводов преодолеть эти препятствия.

Концепция «SustainAqua»

«SustainAqua» является трехлетним совместным научно-исследовательским проектом, частично финансируемым Европейским Союзом в рамках Шестой рамочной программы, общая цель которого – достижение большей устойчивости отрасли пресноводной аквакультуры в Европе и, вследствие этого, большей глобальной конкурентоспособности рыбоводов. Общей целью проекта является расширение базы знаний европейских пресноводных рыбоводов путем их обучения:

- Как улучшить методы производства, эффективность процессов и рентабельность;
- Как исследовать возможные рыночные применения различных побочных продуктов аквакультуры в альтернативных отраслях, таких как энергетика и косметическая промышленность;
- Как повысить качество продукции (вкус, питательную ценность), что может стать средством маркетинга, повышающим приемлемость выращиваемой пресноводной рыбы для потребителей и, таким образом, улучшающим имидж отрасли.

В рамках проекта представлен широкий спектр технологических возможностей, а также информация о возможностях модернизации традиционных систем аквакультуры. От новых технологий ожидается, что их применение значительно снизит расходы строительства, технического обслуживания и эксплуатации по сравнению с традиционными системами, особенно в случае очистки сточных вод.

Обсуждение конкретных примеров – прикладные исследования

Для достижения общих целей консорциум «SustainAqua» проанализировал пять различных примеров из Венгрии, Польши, Нидерландов, Дании и Швейцарии. Каждый пример представляет одну из важнейших форм пресноводной аквакультуры в Европе, а также основные выращиваемые виды, такие как форель, карп, тиляпия и сом. В каждом приведенном примере разрабатываются и исследуются различные возможности для оптимизации производственных процессов, улучшения качества и разнообразия продукции. В частности, проектный консорциум исследовал:

- Различные техники для оптимизации управления питательными веществами, водными и энергетическими ресурсами через:
 - Снижение затрат на энергию путем улучшения эффективности ее использования;
 - Снижение затрат на очистку сточных вод путем уменьшения их объемов и загрязненности;
 - Снижение затрат на корма для рыб путем повышения эффективности использования питательных веществ;
 - Снижение трудовых затрат на единицу производимой продукции;
- Вкусовую и питательную ценность рыбы, выращиваемой в различных системах производства;
- Состав и экономическую ценность различных потенциальных побочных продуктов аквакультуры.

Консорциум намерен преобразовать эффективные принципы контроля питательных веществ в природных системах в конкурентоспособные системы аквакультуры. Примером этого является эффективное управление питательными веществами: кроме производства рыбы органические вещества используются, по мере возможности, также для производства рыночной продукции (такой как водные беспозвоночные, водоросли или растения) для других отраслей промышленности. Эта оптимизированная пищевая цепь снижает количество отходов, избегает использования дорогостоящей очистки сточной воды и технологий фильтрации и уменьшает расходы. Данные принципы протестированы в экстенсивных, полунтенсивных и интенсивных системах аквакультуры.

Кроме того, поскольку «здоровье» и «вкус» являются важными требованиями потребителей, консорциум путем профессиональных органолептических и аналитических тестов доказывает, влияют ли ожидаемые меры по оптимизации на качество рыбных продуктов.

Краткое введение к пяти представленным примерам

В венгерском примере рассматривается производство африканского и европейского сома в бассейнах и садках, расположенных в рыбоводных прудах, а также очистка сточных вод в последовательно соединенных прудах, в которых производятся различные карповые виды и типичные растения водно-болотных угодий, такие как ива и тростник. Последние выращиваются как побочные продукты, но действуют также как экономные и эффективные системы биологической очистки сточных вод. Кроме того, исследуется их потенциал в качестве возобновляемых ресурсов для отрасли биоэнергетики.

В Швейцарии тилапия выращивается в гидрокультурной системе совместно с тропическими фруктами, такими как бананы, манго и гуаява в качестве побочных продуктов. Система выращивания «Тропенхаус Русвиль» является поликультурной системой тепличного типа площадью 1 500 м², использующей в качестве источника энергии отходящее тепло станции для сжатия природного газа. Данный пример показывает, что «отходы» могут использоваться в поликультурных системах как многофункциональный ресурс для производства экономически и экологически жизнеспособной рыбы и побочных продуктов.

В польском примере карп выращивается в двух модулях. Одной целью является производство естественных кормов на основе оборотной сточной воды в «каскадной» прудовой системе, где для выращивания биомассы рыб и растений используются органические сельскохозяйственные отходы. Это позволяет выращивать рыбу, не прибегая к внешним источникам кормов. Кроме того, для повышения диверсификации прудовых хозяйств и улучшения рентабельности карповых хозяйств, в традиционной поликультурной системе использовались новые виды рыб.

В нидерландском примере рассматривается интенсивное производство тилапии в установках замкнутого водоснабжения (УЗВ) с использованием двух различных экспериментальных установок: реактора для денитрификации навоза (Manure Denitrifying Reactor – MDR) и перифитонного фильтра (водорослей и биомассы, способных удалять загрязнители из воды). Целью является снизить использование воды до менее чем 25 л/кг корма, а также уменьшить потребление энергии и выпуск растворенных и взвешенных азота и фосфора, углекислого газа и органических веществ.

В Дании на восьми опытных хозяйствах занимаются изучением радужной форели с целью оптимизации кормления и управления хозяйством, а также снижения экологического воздействия и расходов на энергию. Опытные хозяйства комбинируют технологии интенсивных рециркуляционных рыбных хозяйств с очисткой сточных вод в искусственных водно-болотных угодьях, в результате чего достигается значительный рост объемов рыбной продукции, одновременно со снижением или даже ликвидацией воздействий на окружающую среду.

Важность устойчивости

Устойчивость аквакультуры жизненно важна для того, чтобы развитие отрасли не повторило путь развития рыбопромыслового сектора. Около 75 процентов ценнейших рыбных запасов мира либо достигли предела возможной эксплуатации, либо подвержены перелову. В то же время мировое потребление рыбы выросло с 45 миллионов тонн в 1973 году до более чем 130 миллионов в 2000 году, и, по оценкам ФАО, к 2030 году потребуется еще 40 миллионов тонн морепродуктов только для поддержания нынешних уровней потребления.

Долгосрочное удовлетворение этого растущего спроса требует укрепления устойчивых альтернатив. Наиболее перспективной является отрасль аквакультуры, темп роста которой с 80-х годов составляет ежегодно 8%. Таким образом, она, вероятно, является наиболее быстрорастущей отраслью пищевой промышленности, дающей сегодня почти половину потребляемой в мире рыбы, в то время как в 1980 году эта цифра составляла лишь 9%.

Передача знаний

Проект «SustainAqua» и его модули AQUA+ дают практические указания и обширную информацию о модернизации различных традиционных систем аквакультуры для улучшения рентабельности производственного процесса, экологических показателей, качества и разнообразия продукции. Эти возможности помогут рыбоведам соответствовать нынешним и будущим европейским и национальным нормативам, а также будущим стандартам качества и кодексам поведения, что даст им большое преимущество в их рекламной стратегии. Большинство модулей AQUA+ имеют одновременно несколько функций, таких как очистка сточных вод, эффективное управление питательными веществами и производство экономически выгодных побочных продуктов. Диверсификация продукции поможет рыбоведам стать более гибкими и менее зависеть от колебаний рыночных цен.

Особенности технологий, выявленные при анализе конкретных примеров, будут переданы рыбоведам в ходе 22 обучающих семинаров в Австрии, Венгрии, Германии, Дании, Испании, Польше, Турции и Швеции, а также двух дистанционных обучающих семинаров, проведенных между маем и июлем

2009 г. Обучающая и информационная деятельность включает в себя настоящий учебный справочник, интернет-ресурс «SustainAqua-wiki» и платформу дистанционного обучения, суммирующую выгоды, риски, стоимость и критерии успеха отдельных научно-исследовательских модулей, а также техническую информацию по ним. Восемь национальных точек контакта, координируемые ассоциациями, ответственными за аквакультуру, будут служить и после окончания проекта как индивидуальные консультативные платформы для рыбоводов, что обеспечит фермерам легкий доступ к знаниям, полученным в ходе проекта. Эти ресурсы должны помочь рыбоводам частично или полностью реструктурировать свое производство для того, чтобы сделать его более устойчивым и эффективным, а также получить от него долгосрочные экономические и экологические выгоды.

2. Устойчивость в аквакультуре

Термин «устойчивость» или «устойчивое развитие», часто используемый без всякого содержания, имеет, тем не менее, глубокий смысл. Эта концепция, гарантирующая в долгосрочной перспективе для всех людей окружающую среду, пригодную для жизни, включает в себя как минимум три основных компонента устойчивого развития: сохранение функциональной окружающей среды, экономического благосостояния и социальной справедливости. Соответственно, в аквакультуре, как и в других областях, стремление к устойчивости означает не только достижение экологических целей, но также обеспечение явных и долгосрочных экономических выгод для рыбоводов.

Однако значение термина «устойчивость» часто выхолащивается и ослабляется тем, что политики, предприниматели и простые люди повсеместно пользуются им в самых разных контекстах, часто в неправильном смысле и превратно толкуя, чтобы использовать в своих целях положительные коннотации этого слова (как это произошло в 1990-х гг. со словами «био-» и «эко-»).

Нижеследующий текст, кратко освещая предысторию и первоначальный смысл термина «устойчивость», темы «устойчивость и аквакультура» и ее применения в проекте «SustainAqua», представляет обстановку, в которой разрабатывался и осуществлялся проект.

Введение – История понятия «устойчивость»

Среди важнейших истоков концепции «устойчивости» или «устойчивого развития» необходимо выделить доклад «Наше общее будущее», более известный под названием «Доклад Брундтланд». Его ключевое определение гласит, что устойчивое развитие «удовлетворяет потребности настоящего времени, но не ставит под угрозу способность будущих поколений удовлетворять свои собственные потребности». Такое устойчивое развитие (в секторах сельского, лесного и рыбного хозяйства) сберегает земельные, водные, растительные и животные ресурсы и является экологически безвредным, технически подходящим, экономически жизнеспособным и социально приемлемым.

Устойчивое развитие, будучи не секторным, а интегративным подходом, основано на долгосрочных интересах. Этот термин обычно имеет три аспекта: экологическую, экономическую и социальную устойчивость. Все они одинаково важны и взаимосвязаны и не могут быть отделены друг от друга. От данной модели, состоящей из трех одинаково важных аспектов, сперва ожидалось, что она привлечет внимание к экологическим вопросам. Однако с тех пор, учитывая взаимную зависимость всех этих аспектов, она подверглась критике из-за того, что недостаточно показывает фундаментальную зависимость экономики и общества от природы и природных ресурсов (см. рисунок 1).

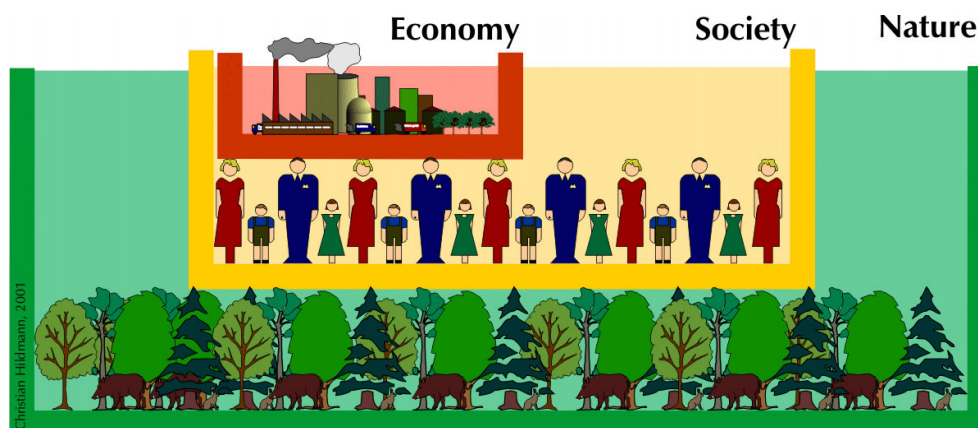


Рисунок 1: Структура устойчивости (Economy - Экономика; Society - Общество; Nature - Природа)

Сегодня, в начале XXI века, необходимо однозначно заявить, что достижение устойчивого развития требует лучшей интеграции этих трех аспектов. В настоящее время в центре внимания находится главным образом экономика, а социальные и экологические цели часто игнорируются. Поэтому сегодня очень важно сбалансировать эти три столпа устойчивости, обращая большее внимание на экологическую и социальную устойчивость, чтобы компенсировать нынешний перевес экономики. Естественно, в данном процессе необходимо принимать во внимание Декларацию Рио-де-Жанейро по окружающей среде и развитию, сформулировавшую, что охрана окружающей среды должна составлять неотъемлемую часть общего процесса развития и не должна рассматриваться отдельно от последнего. Поэтому признается необоснованность любой индустриальной, сельскохозяйственной или аквакультурной деятельности, если они экономически нерентабельны. Нахождение путей для

параллельного достижения всех трех целей устойчивости является задачей политики и общества. Важным средством для достижения данного состояния – «устойчивости» – во всех трех его аспектах являются научные исследования и внедрение инновационных или оптимизированных технологий. Это и было целью «SustainAqua» в сфере пресноводной аквакультуры.

Устойчивость и аквакультура

Аквакультуре, как и всем другим отраслям пищевого производства и промышленности, предстоит решить проблему устойчивого развития. За последние 50 лет рост аквакультуры был экспоненциальным, от объема продукции менее 1 миллиона тонн в 1950-е годы до 51,7 миллиона тонн в 2006 году. В то время как продукция промыслового рыболовства в течение ряда лет остается на одном и том же уровне или даже снижается, аквакультура продолжает расти быстрее, чем любой другой сектор, производящий пищевые продукты животного происхождения. Аквакультура должна и в будущем играть большую и постоянно растущую роль в мировом производстве рыбы для удовлетворения растущего мирового спроса на рыбные продукты.

Поэтому необходимо постоянно искать пути и средства для того, чтобы сделать производственные методы аквакультуры более устойчивыми, эффективными и экономными, например, путем улучшения человеческого потенциала, эксплуатации ресурсов и экологического контроля. «SustainAqua», в частности, может рассматриваться в этом контексте: данный проект сначала исследовал конкретные решения в качестве технических и методологических средств, на основе которых сейчас он предлагает обучающие мероприятия, призванные информировать рыбоводов о комплексных результатах проекта для достижения более устойчивой аквакультуры в Европе.

Однако для достижения единого и принятого всеми заинтересованными сторонами понимания устойчивости в аквакультуре, а также возможностей его достижения на практике, необходима разработка и постоянная актуализация кодексов поведения, показателей устойчивости, систем сертификации и т.д. различными национальными, европейскими, а также всемирными организациями. Некоторые из них перечислены ниже:

- ФАО: «Кодекс ведения ответственного рыбного хозяйства» (1995)
- FEAP: «Кодекс ведения европейской аквакультуры» (Code of Conduct for European Aquaculture, 2000); в настоящее время пересматривается
- EVAD: «Руководство к совместному определению показателей устойчивого развития в аквакультуре» (Guide to the co-construction of sustainable development indicators in aquaculture, 2008)
- Соглашение Глобального альянса аквакультуры (ГАА) и GLOBALGAP о разработке и гармонизации систем сертификации для сектора аквакультуры во всем мире (2009)

Например, европроект «CONSENSUS» («Многостороннее участие в разработке протоколов для устойчивой аквакультуры в Европе», 2005-2008) разработал ряд показателей устойчивости в качестве первичной основы для системы сертификации устойчивой аквакультуры и процесса ее оценки, основанного на низком воздействии на окружающую среду, высокой конкурентоспособности и этической ответственности по отношению к биоразнообразию и физическому благополучию животных. В данной работе принимали участие все важнейшие организации и ассоциации, имеющие отношение к производству аквакультуры.

Проект «SustainAqua» «дополнил» «CONSENSUS», исследуя технологические инновации, направленные на достижение большей устойчивости европейских пресноводных систем аквакультуры (см. главу 1). Поэтому представленное здесь описание устойчивости должно, главным образом, ясно определить направления научных исследований, осуществленных в рамках «SustainAqua» с целью разработки методов и технологий для более устойчивого аквакультурного производства в Европе. Таким образом, «SustainAqua» предвещает будущее, в настоящее время еще только обсуждающиеся, нормативы и системы маркировки и обеспечивает руководство и технические решения для достижения более устойчивой практики аквакультуры.

Пределы системы

Чтобы тема «устойчивость и аквакультура» была управляемой и практически выполнимой, необходимо определить пределы системы, устойчивости которой мы описываем. В случае «SustainAqua», мы можем выявить три уровня системы, представленные на рисунке 2 как три круга:

1. «Уровень хозяйства»: включает в себя факторы, на которые рыбоводы могут непосредственно влиять, например, качество воды, управление питательными веществами и энергетическими ресурсами, здоровье рыб и т.д.
2. «Второй уровень»: содержит факторы, непосредственно связанные с хозяйственными процессами, на которые рыбоводы непосредственно не влияют, но на которые, в случае желаний или необходимости, они потенциально могут оказать воздействие. Например, качество рыбных кормов, их состав/переработка, расстояние их транспортировки, вид используемой рыбоводами энергии (возобновляемая или невозобновляемая), рынки для продукции (дальние – большое расстояние транспортировки, близкие – короткое расстояние транспортировки) и т.д. Рыбоводы могут также «перевести» некоторые факторы со второго уровня на «уровень хозяйства», например, путем производства кормов для рыб на хозяйстве, использования энергии, производимой на хозяйстве, или реализации продукции непосредственно на хозяйстве.

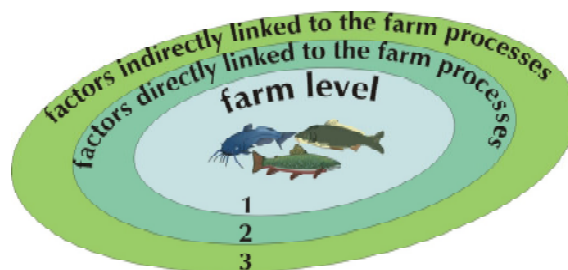


Рисунок 2: Три уровня системы, устойчивость которых определяется в проекте «SustainAqua» (1 - уровень хозяйства; 2 - факторы, непосредственно связанные с хозяйственными процессами; 3 - факторы, косвенно связанные с хозяйственными процессами)

В проекте «SustainAqua» имеют наибольшее значение первые два круга.

3. «Третий уровень»: содержит факторы, косвенно связанные с хозяйственными процессами, но на которые рыбоводы, как правило, не могут оказать влияние. В число таких факторов входят устойчивость упаковочных материалов (производство, материалы и др.), вид топлива, используемого для транспортировки рыбы и т.д.

«SustainAqua» концентрируется на процессе рыбоводства («уровень хозяйства»). Принимаются во внимание также важнейшие факторы второго круга, например, производство кормов для рыб и энергии, необходимая для транспортировки и обеспечения воды определенного качества, а также потенциальные рынки.

Для полноты картины необходимо учитывать также требования «регулирующего уровня», такие как европейские, национальные или региональные законодательно-нормативные документы и т.д. Они в различной мере воздействуют на все уровни, и рыбоводы не могут оказать на них влияние. В «SustainAqua» принимаются во внимание только нормативы, непосредственно влияющие на первый и второй круги.

Показатели устойчивости и сертификация

Ограниченность природных ресурсов и растущие цены на энергию подтверждают необходимость изменений, направленных на большую устойчивость аквакультуры. Аквакультурная отрасль уже работает над этой нелегкой задачей, но ей еще предстоит пройти долгий путь. По сравнению с другими системами животноводства, на аквакультуру оказывается значительно большее давление, чтобы она стала устойчивой, из-за того, что она использует важные природные ресурсы, такие как пресные воды, водно-болотные угодья и прибрежные районы, а также из-за вылова рыб в естественных водоемах в целях производства рыбных кормов или для создания ремонтных стад.

Устойчивость какой-либо деятельности и ее измерение не являются статическими величинами, поскольку, по определению, они содержат экономические, экологические и социальные аспекты (см. Рисунок 3). Любой подход к устойчивости содержит, кроме неизменных фактов, приписываемые к ним общественные ценности, которые со временем могут подвергаться переоценке или изменениям. Это значит, что не всегда возможно однозначно решить, является ли тот или иной процесс устойчивым, или нет. Между неустойчивыми и устойчивыми процессами часто существуют переходные формы.

Целью кодексов поведения и систем критериев, упомянутых выше, является решение этой проблемы и поддержка устойчивого выращивания продукции аквакультуры. Однако еще не существует законченных и практически выполнимых общеевропейских критериев, показателей и соответствующих систем маркировки, способных достоверно подтвердить статус устойчивости того или иного рыбного продукта. Проект «SustainAqua» направлен на поддержку разработки таких систем, осуществляемой в настоящее время различными организациями (см. выше). Как упоминалось ранее, «SustainAqua» не намеревается соперничать с существующими системами показателей, разработанными в широкой консультации с заинтересованными сторонами, например, в рамках проекта «CONSENSUS». Избранные критерии, представленные ниже, фокусируются на пяти примерах, проанализированных «SustainAqua», и должны дать ясные указания, как повысить

устойчивость на подобных аквакультурных хозяйствах. Они должны, в первую очередь, обеспечить измеримые ориентиры, показывающие степень внедряемости и практичности результатов научных исследований, осуществленных в пяти рассмотренных примерах «SustainAqua», с целью разработки применимых методов и технологий для достижения более устойчивого аквакультурного производства в Европе. Задачей является не оценка того, является ли то или иное пресноводное аквакультурное хозяйство устойчивым или нет, а обеспечение недвусмысленных указаний, что можно сделать в данном конкретном примере или на данном хозяйстве, чтобы повысить устойчивость.

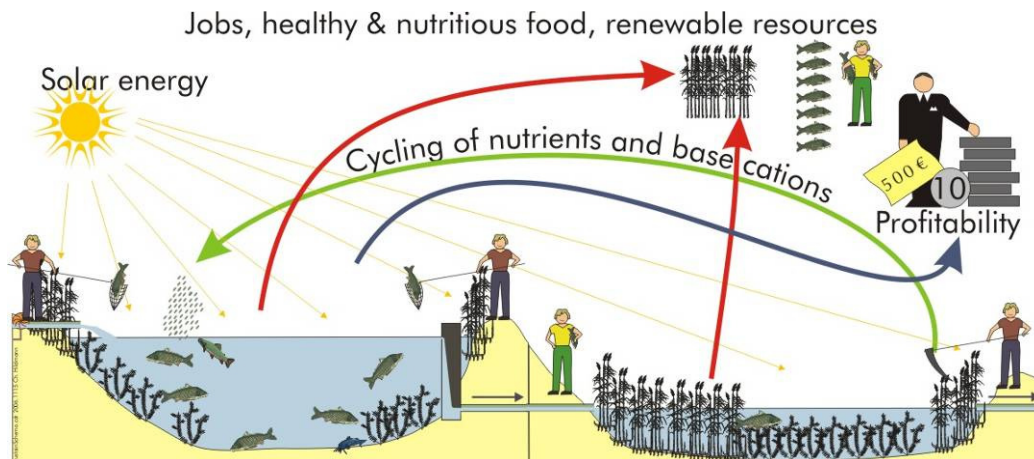


Рисунок 3: Устойчивая пресноводная аквакультура является комбинацией экологических, экономических и социальных аспектов (Solar energy - Солнечная энергия; Jobs, healthy & nutritious food, renewable resources - Занятость, здоровая и питательная пища, возобновляемые ресурсы; Cycling of nutrients and base cations - Круговорот питательных веществ и основных катионов; Profitability - Рентабельность)

Показатели устойчивости «SustainAqua»

В начале проекта консорциум «SustainAqua» разработал 28 показателей для измерения трех аспектов устойчивости: экологической, экономической и социальной. Однако, поскольку проект не мог включить в себя все возможные области исследований по устойчивости и ее повышения на аквакультурных хозяйствах, в конце концов для оценки пяти конкретных примеров проекта были отобраны восемь показателей, представленные в Таблица 1. Они были выбраны на основе следующих четырех критериев:

- **Ориентация на действия:** Показатель должен быть чувствительным к изменениям управления в соответствии с целью и должен показывать, осуществляются ли действия, направленные на достижение данной цели, или нет.
- **Убедительность:** Показатель должен быть понятным для действующего лица.
- **Измеримость:** Показатель должен быть измеримым.
- **Осуществимость:** Измерение и регистрация данного показателя должны быть осуществимы, учитывая ожидаемые ресурсы проекта (бюджет, время)

В главах, представляющих конкретные примеры, мы будем часто ссылаться на эти показатели, так как они составляют основу оценки научно-исследовательской работы в пяти рассмотренных примерах «SustainAqua» и практического внедрения их результатов.

Остальные 20 показателей не измерялись, и их детальная оценка не проводилась, поскольку их анализ выходил за рамки данного проекта. Среди них были такие показатели, как «Вода и климат: Поддержка стабилизации местного климата путем увеличения эвапотранспирации через расширение искусственных водно-болотных угодий/открытых водных площадей», а также все показатели, характеризующие социальный аспект устойчивости, такие как «Поддержка создания новых мест работы» или «Поддержка развития села». Дополнительную информацию по этому вопросу можно найти на интернет-ресурсе «SustainAqua wiki» на сайте www.sustainaqua.org.

Применение принципов устойчивости в аквакультуре

В последующих подразделах детально представлены принципы каждой сферы устойчивости. Также даются общие предложения, как сделать аквакультуру более устойчивой, принимая во внимание эти принципы. Практические примеры применения данных теоретических принципов можно будет увидеть на конкретных примерах «SustainAqua», представленных в настоящем справочнике.

Экологический аспект			
	Специфическая цель/критерий	Показатель	Единица измерения
Энергия	Эффективность использования энергии: Уменьшение необходимого потребления энергии, насколько это возможно	Потребление энергии / производимая продукция (рыбы, биомасса)	кВт.ч/кВт.ч продукции (определяется отдельно для каждого продукта)
	Потребление: Снижение ввода пресной воды извне системы (возможно большее повторное использование воды)	Снабжение водой / производимая продукция (рыбы, биомасса)	л/кг продукции
Вода	Выпуск: Снижение объемов сточной воды (качественные аспекты см. в пункте «Питательные вещества/выпуск»)	Объем вытекающей воды / производимая продукция (рыбы, биомасса) – без эвапотранспирации и инфильтрации, но включая осадки	л/кг продукции
	Эффективность использования: Как можно более эффективное использование внесенных питательных веществ (производство как можно большего количества высококачественной товарной продукции из единицы внесенных питательных веществ)	Эффективность задержания питательных веществ (ЭЗПВ) – задержание питательных веществ в производимой продукции (рыбе, биомассе) / кг питательных веществ, внесенных в систему	кг питательных веществ (N, P, ХПК), задержанных в продукте/ кг внесенных питательных веществ [%] (ОПК, рассчитанное из ХПК и N)
Питательные вещества	Выпуск (см. также в пункте «Вода»): Снижение объемов сточной воды (потерь питательных и органических веществ, а также минералов)	Количество питательных веществ/качество сточной воды	Выпуск N, P, ХПК, удельной электропроводимости / кг производимой продукции
	Повторное использование питательных веществ для производства ценной вторичной продукции на рыбном хозяйстве	Задержание повторно использованных питательных веществ N/P в ценных вторичных продуктах	кг питательных веществ, задержанных во вторичных продуктах / кг питательных веществ, внесенных в систему в целом [%]
Экономический аспект			
	Специфическая цель/критерий	Показатель	Единица измерения
Себестоимость продукции	Увеличение продуктивности на единицу вложенного труда	Рабочее время, использованное для производства продукта в условиях коммерческого хозяйства (предположение, основанное на модели)	час/кг продукта
	Улучшение безопасности продукта/здоровья рыб: Уменьшение риска вспышек болезней	Курсы лечения/производственный цикл	курсы лечения/производственный цикл

Таблица 1: Показатели устойчивости для оценки 5 примеров «SustainAqua»

Повышение экологической устойчивости

Ключевыми факторами, связанными с экологической устойчивостью аквакультурных хозяйств, являются вода, питательные вещества, используемые хозяйством земельные площади и энергия. В отношении воды, важными аспектами являются как требуемые объемы, так и качество. Пресная вода может добываться из поверхностных источников, таких как озера или реки, или из-под земли (из водоносных слоев) через скважины. Одной из важных целей является снижение потребности в пресной воде для уменьшения нагрузки на естественные экосистемы. Не менее важным является снижение объемов сточных вод и оптимизация их очистки, поскольку, в большинстве случаев, вода, вытекающая из аквакультурных систем, содержит много питательных веществ, способных привести к эвтрофикации естественных систем. Лучшая практика управления, естественно, зависит от системы аквакультуры. Например, в традиционных карповых прудах вода требуется только для компенсации испарения и инфильтрации и выпускается из системы только в период облова. Другим примером значительного снижения потребности в воде являются установки замкнутого водоснабжения, как, например, датские опытные форелевые хозяйства. В последних для удаления питательных веществ из вытекающей воды используются, например, пруды с растениями (см. главу «Дания»).

Достижение экологической устойчивости также требует эффективного использования нужных питательных веществ. Первым шагом к этому является снижение кормовых потерь путем использования эффективного режима кормления и выбора подходящих кормов. Дополнительная утилизация оставшихся питательных веществ также зависит от местных условий. Одной возможностью может стать использование перифитона, как показано в венгерском примере. Поликультура, т.е. выращивание нескольких видов рыб в одном пруду, может повысить эффективность использования кормовых ресурсов благодаря различным экологическим нишам, занимаемым различными видами, как показано, например, в польском примере. Однако в этом

случае следует избегать использования экзотических и не встречающихся в данной местности видов. Если в распоряжении имеется достаточная земельная площадь, дальнейшими возможностями лучшего использования питательных веществ могут стать использование возобновляемых ресурсов, таких как тростник или ива (как показано в венгерском примере), или садовых растений (как в Дании).

Происхождение используемых кормов также может сыграть роль в достижении экологической устойчивости, например, в случае, если используется только рыбная мука, происходящая из прилова устойчивого рыбного промысла (например, имеющая сертификат Морского попечительского совета – Marine Stewardship Council, MSC).

Любые утверждения относительно земельных площадей, используемых аквакультурными хозяйствами, сильно зависят от местных условий. Как правило, для производства не только пищевых продуктов, но и возобновляемых ресурсов требуются дополнительные земельные площади. Уменьшение используемой площади на единицу объема производимой рыбы в некоторых установках замкнутого водоснабжения повышает устойчивость. С другой стороны, прудовые площади аквакультурных хозяйств могут также содействовать стабилизации местного климата путем большей эвапотранспирации. Они также создают местности, отличающиеся высокой экологической ценностью.

Потребление энергии является значительной проблемой, особенно в установках замкнутого водоснабжения, например, в Нидерландах (см. главу «Нидерланды»). В других системах аквакультуры также возможно и важно уменьшить потребление энергии путем увеличения эффективности ее использования, например, с помощью лучших насосов. Целью является производство, как минимум, того же количества рыбы с использованием меньшего количества энергии, или большего количества рыбы с использованием неизменного количества энергии.

Повышение экономической устойчивости

Система аквакультуры экономически устойчива и жизнеспособна, если хозяйство является рентабельным, доходы – надежными, а система производства и продукция – приемлемыми для потребителей. Во многих случаях повышение экологической устойчивости может одновременно привести к оптимизации экономической устойчивости. Например, более эффективное использование кормов и питательных веществ или уменьшение потребления пресной воды не только влияет положительно на окружающую среду, но и снижает расходы. В зависимости от национального законодательства, уменьшение объемов сточных вод также может содействовать снижению производственных затрат. То же самое относится ко всем энергозависимым процессам. Реализация продукции на более близких местных или региональных рынках помогает снизить транспортные расходы, которые, отчасти, также являются затратами на энергию. Диверсификация аквакультуры может уменьшить зависимость от колебаний рыночных цен. В примерах, проанализированных в рамках проекта «SustainAqua», показано применение поликультуры или дополнительного производства возобновляемых ресурсов, садовых растений или рыбопосадочного материала. Производство прослеживаемых высококачественных продуктов может увеличить как цены реализации, так и доверие потребителей. И наконец, но не в последнюю очередь, активная поддержка устойчивости (вместо отношения к ней как к неприятной обязанности) может стать важным аргументом, повышающим приемлемость аквакультуры для потребителей.

Однако все эти аспекты требуют абсолютно индивидуальной оценки, так как доступность всех ресурсов, необходимых для аквакультуры (воды, земли, питательных веществ, энергии), сильно различается в различных странах и регионах Европы. Например, в окрестностях больших городов индустриальные рециркуляционные системы могут быть максимально устойчивыми, особенно если их отопление может осуществляться за счет отходящего тепла; тогда как в сельских районах, как, например, на обширных пространствах Венгрии, крупные экстенсивные карповые хозяйства могут быть экономически намного более устойчивыми, так как земельные и водные ресурсы здесь относительно недороги и доступны.

Повышение социальной устойчивости

Вопрос социальной устойчивости также является довольно сложным. В него входят возможности занятости в секторе, условия работы на аквакультурных хозяйствах (гигиена, безопасность, обучение), а также темы, касающиеся широкой общественности, такие как вопросы рекреации, здравоохранения и продовольствия. Важными аспектами являются также привлекательность аквакультуры для молодого поколения или роль аквакультуры в сохранении культуры и традиций, как, например, в случае восточноевропейского прудового рыбоводства. Данные вопросы не находились в центре внимания проекта «SustainAqua», который концентрировался скорее на технических решениях, непосредственно повышающих экономическую и экологическую устойчивость, достижение которых, однако, содействует также социальной устойчивости (обеспечению занятости и функциональной окружающей среды для целей рекреации, содействию качественному и здоровому питанию, и т.д.).

3. Технологии и продукция важнейших пресноводных аквакультурных систем Европы

Существует много возможностей классификации и описания сильно различающихся между собой систем производства пресноводной аквакультуры. Но с точки зрения устойчивости наиболее логичной основой для их описания могут быть методы производства. Несмотря на то, что между различными пресноводными рыбоводными системами есть много частичных совпадений и переходных форм, можно различить следующие основные методы:

- Прудовое рыбоводство
- Проточные системы
- Установки замкнутого водоснабжения
- Садковые системы

3.1. Прудовое рыбоводство

Производство пресноводных рыб в искусственных прудах нередко считается древнейшей формой рыбоводной деятельности в Европе, восходящей к временам Средневековья. Пруды строились в местах, где имелась вода, а почва была неподходящей для сельского хозяйства. Хорошим примером этого являются водно-болотные угодья Центральной и Восточной Европы. Суммарная продукция прудового рыбоводства в Европе равна приблизительно 475 000 тоннам. Около половины этой продукции составляют карповые рыбы, такие как карп, белый и пестрый толстолобики. Главными производителями являются Российская Федерация, Польша, Чехия, Германия, Украина и Венгрия.



Прудовое рыбное хозяйство в Венгрии (Фотография: НАКИ)

Типичные рыбоводные пруды являются одамбованными водоемами с земляным дном, в которых рыбы живут в среде, близкой к естественной, питаются естественными кормовыми организмами, растущими без человеческого вмешательства, за счет солнечного света и питательных веществ, имеющихся в прудовой воде. В настоящее время рыбоводы также вносят в пруды питательные вещества (органические удобрения) и добавочную подкормку (зерно). Это дополняется зарыблением прудов сеголетками. Однако в большинстве стран прудовое рыбоводство остается «экстенсивным» или «полуинтенсивным» (с добавочной подкормкой). В таких прудах химикаты и медикаменты обычно не используются. Поэтому главной экологической проблемой здесь является использование органических удобрений, которые могут привести к эвтрофикации прилегающих естественных

водоемов. Использование органических удобрений регулируется на национальном уровне. Экстенсивные рыбоводные пруды обычно окружены тростниковыми зарослями и естественной растительностью, что обеспечивает важные места обитания для флоры и фауны. Они играют все большую роль в сельском туризме. Многие прудовые рыбные хозяйства были преобразованы в многофункциональные рыбные хозяйства, предлагающие различные дополнительные услуги в сферах рекреации, поддержания биоразнообразия и улучшения управления водными ресурсами.

3.2. Проточные системы аквакультуры

В традиционных проточных системах аквакультуры вода протекает через рыбоводную систему только один раз, после чего выпускается обратно в окружающую среду. Течение воды через аквакультурную систему снабжает рыбу кислородом и уносит из системы растворенные и взвешенные отходы. Наиболее широко распространенной формой проточной аквакультуры в Европе является форелеводство. Вода берется из реки, протекает через хозяйство и очищается перед выпуском в реку ниже хозяйства. Вся вода на хозяйстве обновляется как минимум раз в день. Если на одной и той же реке существует несколько хозяйств, все они заинтересованы в том, чтобы качество воды, вытекающей с каждого хозяйства, было хорошим, так как та же вода потом поступает на следующие хозяйства. Форелеводство распространено по всей Европе, свежую форель можно купить везде. В европейском форелеводстве абсолютно доминантное место (около 95% всей продукции) занимает радужная форель (*Oncorhynchus mykiss*) из-за ее производственных характеристик и скорости роста. В большинстве государств-членов ЕС форелевые хозяйства располагаются рядом с реками и используют бетонные бассейны или пруды. В некоторых местах используются также садки, расположенные в озерах. В Европе ежегодно производится и реализуется около 220 000 тонн форели порционного размера. 85% этого количества происходит из ЕС, где крупнейшими производителями являются Италия и Франция, за которыми следуют Дания, Германия и Испания. Единственным крупным производителем порционной форели вне ЕС является Турция.

После многих лет медленного, но неуклонного роста, продукция порционной форели несколько уменьшилась в период 2000–2005 гг. (около -0,6% в год), но ее рыночная цена остается высокой.

В число других источников воды входят родниковые и подземные воды, добываемые путем бурения и выкачивания. В некоторых странах для производства рыбы в проточных системах также используется подогретая вода из промышленных источников (например, электростанций). Геотермальные источники также обеспечивают естественно подогретую воду, позволяющую выращивать новые пресноводные объекты (особенно африканского сома, угря, осетровых, окуня и тилапию).



Традиционное форелевое хозяйство в Дании (Фотография: DTU-Aqua)

3.3. Установки замкнутого водоснабжения

Установки замкнутого водоснабжения (УЗВ) являются наземными системами, в которых вода после механической и биологической очистки используется повторно для уменьшения выпуска питательных веществ в окружающую среду и потребности в воде и энергии. Они имеют ряд преимуществ, такие как экономия воды, строгий контроль за ее качеством, низкий уровень воздействия на окружающую среду, высокая степень биологической безопасности и больший контроль за производством отходов, чем в других производственных системах. Главными недостатками являются высокие капитальные и эксплуатационные расходы, необходимость аккуратного управления (и, соответственно, потребность в высококвалифицированной рабочей силе) и проблемы с лечением заболеваний. УЗВ все еще дают лишь небольшую часть аквакультурной продукции Европы и имеют наибольшее значение в Нидерландах и Дании. Важнейшими пресноводными видами, производимыми в УЗВ, являются сом и угорь, но с использованием данной технологии выращиваются и другие виды. Объемы продукции угря в Европе до 2001 года составляли ежегодно около 11 000 тонн, потом, с 2002 года, они снизились приблизительно до 8 500 тонн в год и, в целом, стабилизировались на этом уровне. Но за этой цифрой скрываются значительные изменения, затронувшие главных производителей; продукция Италии (прежде крупнейшего производителя ЕС) с конца 1990-х годов постоянно уменьшается и продукция Дании также снизилась после 2001 года. Эти потери были отчасти скомпенсированы некоторым ростом голландской продукции. Однако, из-за ненадежности снабжения посадочным материалом, некоторые производители угря переходят на другие виды или просто покидают сектор.



Интенсивное производство тляпии в УЗВ (Фотография: FISHION AQUACULTURE B.V.)

3.4. Садковое рыбоводство в пресноводных озерах и реках

Хорошо спланированные и аккуратно управляемые садковые хозяйства представляют ограниченную, но важную альтернативу для пресноводной аквакультуры. В некоторых водоемах экстенсивное или интенсивное садковое производство рыбы может отвечать требованиям устойчивой эксплуатации природных ресурсов. Например, в Швеции разведение арктического гольца (*Salvelinus alpinus*) сегодня является небольшим, но успешным сектором, который, как ожидается, в следующие годы должен значительно вырасти. Данные хозяйства размещены в большей частью неэксплуатируемых зарегулированных озерах и водохранилищах гидроэлектростанций, расположенных на запруженных реках северной части страны. Эти воды изначально бедны питательными веществами, но после регуляции уровень последних еще больше снизился, так что сейчас условия здесь почти стерильны. Рыбоводство в данных водах является мелиоративным мероприятием, поскольку повышенное содержание питательных веществ должно вернуть водную среду в состояние, близкое к природному. Увеличение нынешнего уровня фосфора, 3 мкг/л, до предполагаемого «первоначального уровня», равного 10 мкг/л, требует ежегодного производства не менее 5 000 тонн арктического гольца.

4. Система регуляции европейской пресноводной аквакультуры и ее управление

Известно, что аквакультура является одной из наиболее урегулированных отраслей промышленности в Европейском Союзе. Производство рыбной продукции, эксплуатирующее крайне ограниченные природные ресурсы прибрежных зон и пресноводных водоемов, остается в центре общественного внимания. Неудивительно, что заинтересованные стороны, такие как ЕС и национальные правительственные органы, неправительственные организации, а также сама отрасль рыбного хозяйства, все хотят контролировать аквакультурную промышленность. С другой стороны, это привело к такому количеству нормативов, документов и других материалов, что рыбаки, желающим просто производить здоровую рыбу, не принося вреда природным ресурсам, очень трудно разобраться в них.

В рамках проекта «SustainAqua» были изучены конкретные примеры с целью показать пресноводным рыбакам, как они могут развивать свое хозяйство, одновременно сохраняя свой наиболее важный ресурс - чистую пресную воду. Целью настоящей главы является ознакомление рыбаков с важнейшими документами ЕС, НПО и других организаций, имеющими отношение к пресноводной аквакультуре. Данная тема изложена более подробно в обзоре «SustainAqua», доступном на интернет-сайте проекта (www.sustainaqua.org).

В государствах-членах ЕС наибольшее влияние на аквакультурное законодательство имеют, несомненно, различные правовые документы Европейского Сообщества. Отличный обзор различных типов законодательных документов был подготовлен Федерацией европейских аквакультурных производителей (источник: www.profetpolicy.info):

Зеленая книга (Green Paper): «Зеленые книги» являются документами, опубликованными Европейским Сообществом с целью поощрения дискуссий по тем или иным темам на европейском уровне. Они побуждают заинтересованные стороны (органы или лица) принять участие в процессе консультаций и дебатов на основе выдвинутых ими предложений. «Зеленые книги» могут положить начало разработке законодательных документов, впоследствии представленных в «Белых книгах».

Белая книга (White Paper): «Белая книга Комиссии» является документом, содержащим предложения относительно действий Сообщества в какой-либо конкретной области. В некоторых случаях она является продолжением «Зеленой книги», изданной с целью начать консультационный процесс на европейском уровне. Одобрение «Белой книги» Европейским Советом может привести к составлению Программы действий Евросоюза (Action Programme) в данной области.

Документ «COM» (COM Document): содержит предложенный правовой документ, другие документы, направленные Комиссией Совету и/или другим учреждениям, и их подготовительную документацию.

Документ «SEC» (SEC Document): представляет собой внутренний документ, имеющий отношение к процессу принятия решений и общему функционированию департаментов Комиссии.

Решение (Decision): Решения ЕС обязательны для лиц, компаний или государств-членов, упомянутых в них. В отличие от постановлений, они не обязательны для всего Евросоюза.

Директива (Directive): Директивы должны быть включены в национальные законодательства парламентами и правительствами государств-членов в течение 18 месяцев от их вступления в силу. За прошедшие годы Суд ЕС неоднократно решал о многих директивах, что они должны применяться непосредственно, и даже обязывал страны платить компенсацию, если они в положенное время не начинали применять ту или иную директиву. Директивы, как правило, преобразовываются в национальные правовые нормы национальными парламентами или, чаще всего, правительствами путем правительственных постановлений.

Рекомендация (Recommendation): Необязательное решение, соблюдение которого лишь рекомендуется государствам-членам. За его несоблюдение члены не могут быть оштрафованы.

Постановление (Resolution): Решение ЕС, имеющее непосредственную обязательную силу для всех государств-членов и граждан всего Евросоюза. В то время как директивы «преобразовываются» в национальные правовые нормы, постановления применяются непосредственно. Поэтому изменение постановлений ЕС при их включении в национальное законодательство запрещено.

Резолюция (Resolution): Резолюции являются бюллетенями необязательного характера, определяющими цели и содержащими политические заявления. Резолюции Европейского Совета намечают направление будущих политических инициатив. Суд ЕС может пользоваться резолюциями при интерпретации законов. Они расцениваются как одна из форм так называемого «мягкого права».

Договор (Treaty):

1. Формальное соглашение между двумя или несколькими государствами о мире, союзе, торговле или других международных отношениях.
2. Официальный документ, закрепляющий такое международное соглашение.

Данные документы являются средствами, поддерживающими осуществление политики ЕС, которая составляет первый «столп» ЕС. Существует ряд стратегических документов, оказывающих влияние на пресноводную аквакультуру, но важнейшими, по всей вероятности, являются следующие:

- Общая рыбохозяйственная политика
- Стратегические документы по вопросам окружающей среды, главным образом, по воде

4.1. Общая рыбохозяйственная политика (CFP) и связанные с ней документы

Общая рыбохозяйственная политика (Common Fisheries Policy, CFP) является стратегией Европейского Союза по управлению рыболовством и аквакультурой. Она была создана для управления общими ресурсами и выполнения обязательств, сформулированных в оригинальных договорах Европейского Сообщества.

Общая рыбохозяйственная политика обеспечивает эксплуатацию водных биоресурсов, гарантирующую устойчивые экономические, экологические и социальные условия. Для этой цели Европейское Сообщество применяет предосторожный подход в своих мерах, направленных на защиту и сохранение водных биоресурсов, обеспечение их устойчивой эксплуатации и сведение к минимуму воздействия рыбопромысловой деятельности на морские экосистемы. Однако ее главной целью является последовательное применение экосистемного подхода в управлении рыбным хозяйством. Она также способствует экономической жизнеспособности и конкурентоспособности отрасли аквакультуры, учитывая, среди прочего, интересы потребителей.

Решения о совместных мерах были приняты в следующих основных областях:

- **Охрана природы** и ограничение экологических эффектов рыбного промысла – защита рыбных запасов через регулирование объемов вылавливаемой из морей рыбы, обеспечение возможности размножения для молодых рыб и контроль за соблюдением данных мер.
- **Структуры** и управление рыболовными флотилиями – помощь отраслям рыболовства и аквакультуры в приспособлении их оборудования и организационной структуры к рыночным ограничениям, а также ограничениям из-за недостаточности ресурсов; кроме того, принятие мер по созданию равновесия между промысловым усилием и существующими рыбными запасами;
- **Рынки** – поддержание единой организационной структуры рынка рыбной продукции и согласование предложения и спроса на пользу как производителей, так и потребителей;
- **Взаимоотношения с внешним миром** – соглашения о партнерстве в области рыбного хозяйства и международные переговоры с региональными и международными рыбохозяйственными организациями об общих природоохранных мерах в океаническом промысле.

Начиная с 2007 года, CFP осуществляется параллельно с Интегрированной морской политикой Европейского Союза. Название ответственного Генерального директората было изменено на Генеральный директорат по вопросам рыболовства и морской политики (DG MARE).

Необходимо отметить, что в центре внимания CFP находится морской рыбный промысел. Аквакультура приобрела важное значение только в последние годы. Вопросы, касающиеся аквакультуры, на сегодня стали важной частью упомянутых выше общих сфер действий. Генеральный директорат по вопросам рыболовства и морской политики, как главный исполнительный орган CFP, в 2002 году подготовил документ COM о **стратегии устойчивого развития европейской аквакультуры** (COM (2002) 511). В 2007 году DG MARE начал общую дискуссию с отраслью аквакультуры об актуализации данной стратегии.

4.1.1. Стратегия Европейской Комиссии по устойчивому развитию аквакультурной отрасли в Европе

Стратегия Европейской Комиссии по устойчивому развитию аквакультурной отрасли в Европе направлена на:

- Обеспечение надежной долгосрочной занятости, особенно в районах, зависящих от рыбного промысла;
- Обеспечение доступа потребителей к здоровым, безопасным и качественным продуктам, а также пропаганда высоких стандартов здоровья и физического благополучия животных;
- Обеспечение экологически приемлемого ведения аквакультурного производства.

Стратегия отмечает важность разработки свода законодательных документов и/или добровольных соглашений для предотвращения экологической деградации, что должно уменьшить отрицательные экологические воздействия аквакультуры. С другой стороны, необходимо признавать и поддерживать, в частности, через общественную финансовую поддержку, положительное воздействие определенных форм аквакультурной деятельности на окружающую среду.

В отношении конфликтов между аквакультурой и окружающей средой, стратегия определила следующие сферы действий:

- Уменьшение воздействия отходов на окружающую среду
- Контроль спроса на дикую рыбу для ее последующего нагула
- Разработка мер по снижению экологического вреда от рыб-беглецов, экзотических видов и ГМО
- Интегрированное предупреждение и контроль загрязнений
- Специальные критерии и руководства для экологической экспертизы в области аквакультуры
- Признание и поддержка позитивных эффектов экстенсивной аквакультуры и пополнения запасов
- Поиск решений для снижения убытков от диких видов, находящихся под защитой

Как правило, видение будущего и цели стратегии 2002 года по-прежнему полностью поддерживаются и считаются действительными, но был также озвучен ряд аргументов в поддержку необходимости ее пересмотра. Комиссия начала процесс консультаций по актуализации стратегии по аквакультуре в 2007 г. Согласно рабочей и опорной документации данной консультации, можно ожидать, что в новой стратегии получат большее значение следующие темы, связанные с пресноводной аквакультурой:

1. Экологически приемлемый рост аквакультуры: ЕС максимально поддерживает охрану окружающей среды. Законодательство Европейского Сообщества основано на принципе предосторожности. Технологии очистки воды путем удаления отходов и загрязнителей имеются в наличии, и ожидается, что развитие новых технологий для снижения выпуска воды в следующие годы также будет значительным. Соответствие нормативам Европейского Сообщества по воде также имеет ключевую важность в обеспечении подходящего качества воды для производства качественной и безопасной пищевой продукции.
2. Доместикация животных: Оптимальные условия выращивания, хорошее здоровье и подходящие корма, приспособленные к физиологическим потребностям выращиваемых животных, являются жизненно важными для достижения оптимального роста и продукции. Обеспечение физического благополучия выращиваемых рыб также способствует улучшению имиджа сектора аквакультуры.
3. Равноправное соперничество за пространство: Растущая конкуренция за пространство с сельским хозяйством, индустрией и туризмом представляет собой важную проблему, которую необходимо решить для дальнейшего развития, или даже поддержания, пресноводного рыбоводства и аквакультурного производства в прибрежных районах. Выбор местности имеет определяющее значение. Территориальное планирование играет ключевую роль в обеспечении рекомендаций и достоверных данных о выборе места для экономической деятельности.
4. Снижение административной нагрузки: Снижение административной нагрузки, особенно в отношении малых и средних предприятий, является жизненно важным для содействия развитию.
5. Поддержка способности аквакультурного сектора к удовлетворению рыночного спроса: Аквакультурная промышленность должна быть способна к удовлетворению потребительского спроса, уметь приспосабливаться к меняющимся потребностям рынка и взаимодействовать на равных условиях с другими участниками торговой сети. Соответственно, в рамках будущей реформы рыночной политики по продуктам рыболовства и аквакультуры, требуется оценка и удовлетворение потребностей сектора аквакультуры, особенно в отношении ассоциаций производителей, межпрофессиональных организаций, средств предоставления информации для потребителей и маркетинга, как, например, маркировки водных пищевых продуктов.

4.1.2. Европейский рыбохозяйственный фонд

До 2006 года главным финансовым средством, поддерживающим достижение Общей рыбохозяйственной политики, был Финансовый инструмент по управлению рыбным хозяйством (Financial Instrument for Fisheries Guidance, FIFG). В финансовый период 2007-2013 г. ЕС будет пользоваться новым финансовым инструментом, так называемым «Европейским рыбохозяйственным фондом» (European Fisheries Fund, EFF).

В ходе разработки EFF, обсуждения проекта, составленного Комиссией, с государствами-членами и заинтересованными сторонами привели к ряду изменений. Например, в первоначальном проекте поддержка могла предоставляться только малым и микропредприятиям в секторах аквакультуры, переработки и маркетинга. Сейчас средние и некоторые крупные предприятия также могут получить

поддержку в форме грантов, но малым и микропредприятиям будет отдаваться предпочтение. Кроме того, рыбоводы, чьи хозяйства располагаются на охраняемых природных территориях «NATURA 2000», смогут получать новые формы компенсации. Станет также возможной поддержка рыболовства во внутренних водоемах, организаций производителей и покупки некоторых рыболовных снастей молодыми рыболовами.

EFF будет длиться семь лет, его суммарный бюджет составит около 3,8 миллиарда евро. Финансирование будет доступно для всех секторов отрасли – морского и пресноводного рыбного промысла, аквакультурных хозяйств, организаций производителей и секторов переработки и маркетинга – и всех промысловых районов. Государства-члены сами решают, как распределить финансы между различными приоритетными областями, но они должны подготовить Национальный стратегический план (National Strategic Plan), который послужит основой для разработки Оперативной программы (Operational Program).

Содержание НСП:

- Общее описание сектора
- SWOT-анализ сектора и его развития
- Цели и приоритеты государств-членов в отношении устойчивости
- Развитие рыболовства и аквакультуры, включая их отношение к CFP
- Представление ресурсов, мобилизуемых для осуществления национальной стратегии
- Процедура разработки, осуществления и мониторинга НСП

Финансовая поддержка рыбоводов

Естественно, стратегии и спланированные меры должны находиться в соответствии с Постановлением Европейского Совета о Европейском рыбохозяйственном фонде. Данный документ определяет следующие 5 «приоритетных осей»:

1. Меры по адаптации рыболовного флота Европейского Сообщества
2. Аквакультура, рыболовство во внутренних водоемах, переработка и маркетинг продукции рыболовства и аквакультуры
3. Меры, представляющие общий интерес
4. Устойчивое развитие промысловых районов
5. Техническая поддержка

Для рыбоводов, работающих на пресных водах, важнейшие меры изложены в осях 2 и 3.

Ось 2 - Аквакультура, рыболовство во внутренних водоемах, переработка и маркетинг продукции рыболовства и аквакультуры

В рамках Оси 2, сектор аквакультуры может получить финансирование на следующие мероприятия:

Эффективные инвестиции в аквакультуру: EFF может поддерживать инвестиции в строительство, расширение, оборудование и модернизацию производственных мощностей, в частности, для улучшения условий труда, гигиены, здоровья людей или животных, качества продукции, уменьшения отрицательных и увеличения положительных воздействий на окружающую среду. Инвестиции должны содействовать одной или нескольким из следующих целей:

- a. Диверсификация с использованием новых видов и производство объектов с хорошим рыночным потенциалом;
- b. Внедрение методов, значительно снижающих отрицательные или увеличивающих положительные экологические воздействия аквакультуры по сравнению с общепринятой практикой;
- c. Поддержка традиционной аквакультурной деятельности, важной для сохранения и развития экономических и социальных основ аквакультуры и окружающей среды;
- d. Поддержка приобретения средств, направленных на защиту хозяйств от диких рыбацких видов;
- e. Улучшение условий работы и безопасности рабочих, занятых в аквакультуре.

Аквакультурно-экологические меры: EFF может поддерживать обеспечение компенсации за использование методов аквакультурного производства, содействующих охране и улучшению окружающей среды и сохранению ценностей.

Например, эти меры могут поддерживать формы аквакультуры, включающие в себя охрану и улучшение окружающей среды, природных ресурсов, генетического разнообразия и ландшафта. Для обеспечения поддержки необходимо доказать экологическую пользу данного вмешательства путем предварительной экспертизы, проведенной компетентным органом, определенным заранее.

Комиссия также поощряет участие рыбоводов в Схеме экологического менеджмента и аудита Европейского Сообщества, учрежденной Постановлением Европейского Парламента и Совета (ЕС) № 761/2001 от 19 марта 2001 г., позволяющем добровольное участие организаций в Схеме экологического менеджмента и аудита Сообщества (Eco-Management and Audit Scheme, EMAS).

Тем не менее, в отрасли до сих пор спорят о данном вопросе. Возможна также поддержка экологической аквакультуры, в смысле, определенном в Постановлении Европейского Совета (ЕЕС) № 2092/91 от 24 июня 1991 г. об экологическом производстве сельскохозяйственных продуктов.

Из-за чрезвычайной строгости норм по экологической аквакультуре, приводящей к повышению цен на ее продукцию, очень важно, чтобы «устойчивая аквакультура» также могла получать компенсацию за создание экологических ценностей. В данном случае термин «устойчивая аквакультура» означает, что данная аквакультурная деятельность совместима с особыми экологическими ограничениями, следующими из создания территорий «NATURA 2000» в соответствии с Директивой Европейского Совета 92/43/ЕЕС от 21 мая 1992 г. о защите природных местообитаний и дикой фауны и флоры.

Чтобы получить компенсацию согласно данной статье, получатели обязуются в течение не менее пяти лет соблюдать аквакультурно-экологические требования, которые являются значительно более строгими, чем простое соблюдение обычной передовой аквакультурной практики.

Меры по здравоохранению: Эти меры относятся главным образом к моллюсководам и защищают их от экономических последствий цветения воды, вызванного вредными водорослями.

Меры по здоровью животных: EFF может оказать финансовую поддержку для контроля и искоренения болезней в аквакультуре, согласно Решению Европейского Совета 90/424/ЕЕС от 26 июня 1990 г. о затратах в области ветеринарной медицины.

Ось 2 содержит и другие меры, непосредственно не затрагивающие рыбоводов, но, в некоторых случаях, представляющие для них потенциальный интерес.

Рыболовство во внутренних водоемах: Поддерживаемыми мерами являются:

- Поддержка рыболовства во внутренних водоемах и подледного рыболовства, согласно соответствующим положениям в актуальном FIFG
- Поддержка переоборудования судов внутреннего промысла для выполнения других функций
- Временное прекращение промысла, предусмотренное в одном правовом документе Сообщества

Переработка и маркетинг: Поддерживаемыми мерами являются:

- Улучшение условий труда, здоровья, гигиены и качества продукции
- Снижение отрицательных воздействий на окружающую среду
- Улучшение использования малоиспользуемых видов, побочных продуктов и отходов
- Внедрение новых технологий, развитие инновационных методов производства
- Маркетинг продукции (главным образом, происходящей из местных уловов и аквакультуры)
- Обучение на протяжении всей жизни

Ось 3 - Меры, представляющие общий интерес

В рамках Оси 3 EFF может поддерживать меры, представляющие общий интерес, но обычно не финансируемые частным сектором, если они содействуют достижению целей Общей рыбохозяйственной политики. Данные меры могут осуществляться частными предприятиями, организациями, представляющими производителей, или другими признанными организациями, при условии, что их действия представляют общий интерес. Поддерживаемыми мерами являются:

- Совместные действия
- Защита и развитие водной фауны и флоры
- Рыбные порты, убежища и места выгрузки рыбы
- Развитие новых рынков и рекламные кампании
- Экспериментальные проекты, осуществляемые экономическим предприятием, признанной отраслевой ассоциацией или другим компетентным органом, назначенным соответствующим государством-членом, в партнерстве с каким-либо научно-техническим органом
- Переоборудование рыболовных судов для выполнения других функций

Совместными действиями, связанными с аквакультурой, могут быть, например:

- Улучшение условий труда и безопасности
- Прозрачность рынков
- Улучшение качества и безопасности продовольственных продуктов

- Развитие, реорганизация или улучшение аквакультурных хозяйств
- Разработка новых методов обучения
- Поддержка партнерства между учеными и рыбоводами
- Поддержка равных возможностей
- Создание и реорганизация организаций производителей и осуществление их планов
- Анализы осуществимости, касающиеся партнерских отношений с третьими странами

4.2. Экологические стратегии, имеющие большое значение для развития аквакультуры

Экологическая политика ЕС не является чем-либо новым. Нынешняя программа действий ЕС по окружающей среде, действительная до 2012 г., является шестой по порядку. Она опирается на 30-летнюю деятельность, которая уже привела к ряду выгодных изменений — в том числе, более чистым воздуху и воде, расширению защищенных природных местообитаний, лучшему управлению отходами, лучшей предварительной оценке экологических последствий решений по планировке и экологически более приемлемым продуктам. Однако по-прежнему существуют большие проблемы.

В Шестой программе действий ЕС по окружающей среде намечены четыре приоритетные области:

- Изменение климата
- Природа и биологическое разнообразие
- Окружающая среда, здоровье и качество жизни
- Природные ресурсы и отходы

С точки зрения рыбоводов, наиболее важными являются действия по защите природы и природных ресурсов (как, например, воды).

4.2.1. Природоохранная политика: Директивы по местообитаниям и птицам, Natura 2000

Политика ЕС в области охраны природы основана на двух основных законодательных документах – Директиве по птицам (Bird Directive) и Директиве по местообитаниям (Habitat Directive). Ее приоритетами являются создание Европейской экологической сети (особых природоохранных территорий) по имени «NATURA 2000» и включение требований по охране природы в другие стратегии ЕС, например, по сельскому хозяйству, региональному развитию и транспорту.

Сеть «Natura 2000» является частью ответа Европы на необходимость сохранения глобального биоразнообразия, в соответствии с международными обязательствами, принятыми согласно Конвенции о биологическом разнообразии.

Целью Сети «Natura 2000» является защита и контроль уязвимых видов и мест обитания в пределах всего их ареала в Европе, независимо от национальных или политических границ. Однако «Natura 2000» не является просто системой строго охраняемых природных заповедников, откуда систематически исключается любая человеческая деятельность. Она придерживается другого подхода – признает, что человек является неотъемлемой частью природы, и они могут достичь успехов только в сотрудничестве друг с другом. В самом деле, многие территории «Natura 2000» имеют ценность именно благодаря тому, как на них велось хозяйствование до сих пор, поэтому важно позаботиться о том, чтобы данные формы деятельности (как, например, экстенсивное рыбоводство) продолжались и в будущем.

Путем активного привлечения землепользователей к управлению территориями «Natura 2000», возможно обеспечить сохранение уязвимых полуестественных мест обитания и видов, зависящих от позитивного управления.

Недавняя реформа Единой сельскохозяйственной политики отменила зависимость размера выплачиваемых субсидий от объемов продукции и заменила их субсидиями для отдельных хозяйств, зависящими от их подходящего сельскохозяйственного и экологического состояния. «Natura 2000» была также включена в Общую рыбохозяйственную политику, которая будет оказывать поддержку соблюдению рыбоводами требований по управлению территориями «Natura 2000».

Сеть «Natura 2000» состоит из особых природоохранных территорий (Special Area of Conservation, SAC), созданных для защиты одного или нескольких из 231 типов местообитаний и 900 видов, находящихся под угрозой исчезновения, перечисленных в приложениях Директивы по местообитаниям. Она также включает особо охраняемые природные территории (Special Protection Area, SPA), созданные в соответствии с Директивой по птицам для защиты приблизительно 200 находящихся под угрозой видов птиц и водно-болотных угодий международного значения.

Выбор территорий происходит в трех этапах.

1. Первый этап включает научную экспертизу на национальном уровне. Все государства-члены определяют места, имеющие значение для сохранения видов и мест обитания, находящихся на их территории, пользуясь едиными научными критериями. Потом эти национальные списки официально направляются в Европейскую Комиссию.
2. Во второй этап входит выбор территорий, имеющих значение для всего Европейского Сообщества, из национальных списков, согласно семи биогеографическим регионам Европы. Это осуществляется Европейской Комиссией в соответствии с руководствами «Natura 2000» и согласно принципам устойчивого развития. Целью является не полное прекращение экономической деятельности, а, скорее, определение параметров, при соблюдении которых такая деятельность возможна, при этом обеспечивая сотрудничество Европы с государствами-членами и научными экспертами по вопросам биоразнообразия.
3. Третий этап: Вследствие выбора территорий во втором этапе, они становятся частью Сети «Natura 2000». После этого государства-члены должны, в течение не более чем 6 лет, объявить их особыми природоохранными территориями (SAC) и, в случае необходимости, принять меры по позитивному управлению для сохранения видов и мест обитания и восстановления их подходящего природоохранного статуса.

Директива требует, чтобы в пределах территорий «Natura 2000» избегалась любая деятельность, способная причинить значительное беспокойство видам или принести вред местообитаниям, для защиты которых данная территория предназначена.

Она утверждает, что, в случае необходимости, должны приниматься позитивные меры для поддержания и восстановления «благоприятного природоохранного статуса» данных мест обитания и видов в пределах их природного ареала.

Государства-члены могут сами решить, как они желают обеспечить защиту данной территории:

- Законодательным путем (например, путем создания природного заповедника),
- Договорным путем (например, подписав соглашение с владельцем земли о пользовании ею), или
- Административным путем (предоставляя необходимые финансы для управления территорией).

4.2.2. Рамочная директива по водной среде и пресноводная аквакультура

23 октября 2000 г. была, наконец, принята «Директива Европейского Парламента и Совета 2000/60/ЕС, которой устанавливаются рамки действий Сообщества относительно политики в сфере водного хозяйства» или, короче, Рамочная директива ЕС по водной среде (EU Water Framework Directive, либо, еще короче, WFD). Рамочная директива по водной среде (WFD) распространила сферу действия защиты воды на все воды и наметила ясную цель – достижения к 2015 г. «хорошего состояния» всех европейских вод и устойчивого водопользования во всей Европе. Эта новая всеобъемлющая система появилась очень вовремя, поскольку в Европе водные ресурсы эксплуатируются все интенсивнее.

Осуществление Рамочной директивы по водной среде потребовало решения ряда общих технических проблем государствами-членами, Комиссией, странами-кандидатами и странами Европейской экономической зоны, а также заинтересованными партнерами и НПО. Кроме того, бассейны многих европейских рек являются международными, их пересекают административные и территориальные границы, поэтому для успешного и эффективного выполнения директивы необходимо выработать взаимопонимание и совместные подходы.

В проекте Рамочной директивы по водной среде Комиссия определила следующие ключевые цели:

- Расширение сферы действия защиты воды на все воды, как поверхностные, так и подземные
- Достижение «хорошего состояния» всех вод к определенному сроку
- Управление водными ресурсами на основе речных бассейнов
- «Комбинированный подход», включающий как значения предельно допустимого выпуска, так и стандарты качества
- Точное определение стоимости
- Больше вовлечение граждан
- Оптимизация законодательства

Лучшей моделью для единой системы управления водными ресурсами является не управление в соответствии с административно-политическими границами, а управление согласно бассейнам рек, т.е. естественным географическим и гидрографическим единицам. Инициативы, предпринятые в

отношении бассейнов рек Маас, Шельды или Рейна соответствующими странами, в частности, сотрудничество и совместное определение целей между государствами-членами, а в случае Рейна, между членами и не-членами ЕС, послужили положительными примерами данного подхода. Хотя некоторые государства-члены уже следуют подходу, основанному на бассейнах рек, это верно не для всех стран. Для каждого бассейна, некоторые из которых простираются за пределы государственных границ, должен быть составлен «план управления речным бассейном» (River Basin Management Plan), обновляемый каждые шесть лет, который послужит основой для координационных действий, указанных выше.

Для совместного и координированного решения возникающих проблем государства-члены, Норвегия и Комиссия приняли Общую стратегию осуществления (Common Implementation Strategy, CIS) Рамочной директивы по водной среде всего через пять месяцев после вступления в силу Директивы.

Государства-члены регулярно обновляют CIS. На период 2007-2009 гг. директора органов по водному хозяйству сочли наиболее важными темы «WFD и сельское хозяйство», «WFD и гидроморфология», «экологические цели, исключения и связанные с ними экономические вопросы», «нехватка воды и засуха» и «биологический и химический мониторинг». Кроме того, конечно, запланированы действия, связанные с изменением климата, концентрирующиеся на альтернативах и возможностях, предусмотренных Политикой ЕС в сфере водного хозяйства для адаптации к последствиям изменения климата. Поэтому для того, чтобы связать воедино и скоординировать работу, связанную с изменением климата, необходимо тесное сотрудничество данной деятельности с другими мероприятиями CIS.

Экологические цели определены в Статье 4 – центральной статье – Рамочной директивы по водной среде (WFD). Целью является долгосрочное устойчивое управление водными ресурсами, основанное на высокой степени защиты водной среды. Статья 4.1 определяет общую цель WFD, которая должна быть достигнута в отношении всех поверхностных и подземных вод (т.е. их хорошее состояние к 2015 г.), и вводит принцип предотвращения любого дальнейшего ухудшения состояния. Далее следует ряд исключений из-под общих целей, разрешающих соблюдение менее строгих требований, продление срока после 2015 г. или осуществление новых проектов, при условии выполнения определенных условий.

Интеркалибрация является ключевым элементом, обеспечивающим согласованность работы по достижению общей экологической цели во всем Евросоюзе. Схема классификации качества воды WFD содержит пять категорий состояния: отличное, хорошее, среднее, неудовлетворительное и плохое. Общей целью WFD является достижение «хорошего состояния» всех поверхностных вод к 2015 г. «Хорошее состояние» означает как «хорошее экологическое состояние», так и «хорошее химическое состояние».

Были составлены руководства и технические отчеты, помогающие заинтересованным сторонам в осуществлении WFD. Данные руководства дают общие методологические инструкции, но их необходимо адаптировать к специфическим условиям каждого государства-члена в отдельности. Все эти документы, как и другие, подготовленные в процессе составления Общей стратегии осуществления, доступны в библиотеке WFD CIRCA (http://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/iep/index_en.htm).

5. Качество и диверсификация продукции – Рыночные возможности реализации рыбных продуктов и побочных продуктов, производимых рыбоводами

Важнейшим условием, необходимым для того, чтобы выдержать постоянно растущую конкуренцию на рынке рыбной продукции, является отличное качество продуктов, как в отношении качества мяса, так и с точки зрения потребительских предпочтений. Потребители все более интересуются тем, как рыба производилась и какие кормовые ингредиенты использовались при ее выращивании. Законодательство и органы ЕС также обращают все большее внимание на продовольственную безопасность и прослеживаемость продукции «от икры до тарелки». В своих собственных торговых интересах, а также с целью удовлетворить как желания потребителей, так и нормативные требования, большинство цепей супермаркетов ввели очень строгие правила относительно рыбохозяйственной продукции. Для реализации рыбы через этот важный рыночный канал продукты должны удовлетворять очень высоким стандартам качества.

С другой стороны, меняющаяся экономическая и социальная обстановка создает новые рынки для побочных продуктов пресноводной аквакультуры, поэтому рыбоводы должны находить инновационные пути для их более эффективной утилизации. Выходя, кроме основного рынка качественных рыбных продуктов, также на альтернативные и быстрорастущие рынки, европейские рыбоводы могут повысить свою экономическую устойчивость и улучшить свою конкурентоспособность по отношению к международному рынку аквакультуры, особенно импорту дешевой продукции из Азии.

Поэтому одной из важнейших целей «SustainAqua» был анализ влияния различных систем выращивания и режимов кормления на качество рыбы, а также исследование потенциальных рыночных применений различных побочных продуктов аквакультуры для выхода на новые рынки.

В польском примере было исследовано влияние трех различных прудовых рыбоводных систем и режимов кормления на качество карпа. В швейцарском и венгерском примерах анализировался рыночный потенциал побочных продуктов для использования в бурно развивающихся косметической и энергетической индустриях: выращиваемых в гидрокультуре растений и тропических фруктов в швейцарском «Тропенхаус» и различных растений водно-болотных угодий в Венгрии.

5.1. Качество продукции – пример Польши

Понятие «качество рыбы» включает в себя комплексный набор характеристик, на который оказывают влияние многие факторы. В него входят: внешний вид (например, окраска), питательная ценность (состав съедобной части тела – например, жирные кислоты, жир), органолептические свойства (вкус, флейвор, запах, текстура), свежесть и безопасность (содержание токсических компонентов, тяжелых металлов, химикатов, используемых в аквакультуре и их метаболитов, человеческих патогенов).

В рамках «SustainAqua» нашей главной целью было выявление влияния различных систем кормления и выращивания рыб на качество и вкус карпа посредством потребительских тестов, органолептического анализа продукта с помощью панелей экспертов, а также химических анализов протеинов, жиров и жирных кислот. Изучались следующие вопросы:

- Есть ли различие во вкусе и качестве между карпами, содержащимися в поликультуре и монокультуре (различный кормовой спектр и эффективность утилизации)?
- Есть ли различие во вкусе и качестве между карпами, кормленными зерном (кукурузой и пшеницей) и содержащимися на естественной пище?

Главным объектом исследований был карп (*Cyprinus carpio*), как основной вид, выращиваемый в Польше. Были проанализированы следующие пробы рыб:

1. Карп, выращенный в традиционной **монокультуре** – кормленный **зерном**
2. Карп, выращенный в традиционной **поликультуре** – кормившийся **естественной пищей**
3. Карп, выращенный в **монокультуре** – кормившийся **естественной пищей**

Кроме того, велись исследования по пестрому толстолобику (*Hypophthalmichthys nobilis*), также содержащемуся в поликультуре на естественном корме, с целью доказать его хорошее качество и вкус и добиться его большей рыночной приемлемости. В настоящее время среди потребителей бытуют предубеждения относительно плохого вкуса данного вида, результатом чего является его низкая рыночная цена (около 1€/кг).

Результаты показывают, что карпы, содержащиеся на естественной пище, имели намного меньшее содержание жира, чем те, которых кормили зерном. Между ними наблюдаются значительные

различия в содержании и составе жирных кислот. В карпе, содержащемся на естественной пище, доля n-3 и n-6 полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК), считающихся полезными для человеческого здоровья, была выше. Что касается потребительского признания, карп, содержащийся на естественной пище, оценивался намного выше из-за его свежего, нейтрального, не слишком терпкого запаха и мягкого вкуса без привкуса плесени. Ни в одном анализе не обнаружилось значительных различий между карпом из монокультуры или поликультуры.

Можно заключить, что способ кормления имеет большее влияние на органолептические и химические качества, чем система выращивания. Главным фактором, определяющим содержание жира, состав жирных кислот и органолептические свойства, является питание. Видимо, на качество карпа мало влияет, выращивался он в монокультуре или поликультуре.

Кроме того, относительно маркетинга пестрого толстолобика (*Hypophthalmichthys nobilis*), результаты данного исследования показывают его положительную оценку, как в отношении органолептического качества/потребительского признания, так и химического состава. По этим параметрам он получал такие же баллы, как карп.

5.2. Растения водно-болотных угодий для биоэнергетической индустрии – пример Венгрии

Потенциал производства биомассы для бурно развивающегося биоэнергетического сектора огромен. Лигноцеллюлозные побочные продукты аквакультурной деятельности дают широчайшие возможности для производства топливного этанола, тепла или электричества. Комбинация аквакультуры, очистки сточных вод и производства биоэнергии является инновативным подходом в Европейском Союзе. Она служит одновременно двум целям, принося огромные преимущества:

1. Рыбоводы одновременно получают прибыль из двух источников: они экономят расходы очистки сточных вод и продают новую продукцию, получая дополнительный доход.
2. Для удовлетворения ожидаемой огромной потребности ЕС в биомассе, необходимо использовать для ее выращивания все возможные территории, включая аквакультурные хозяйства.



Ива после высадки в залитый водой прудовой блок (Фотография: АКВАПАРК)

Потенциал

В рамках «SustainAqua» особо изучался состав тростника обыкновенного (*Phragmites australis*), рогоза (*Typha latifolia/angustifolia*), тростника гигантского (*Arundo donax*) и ивы корзиночной (*Salix viminalis*) для определения возможности энергетического использования их биомассы, например, производства древесной стружки или топливных таблеток для выработки тепла или электричества, или производства биоэтанола из целлюлозы как биотоплива для транспортных средств (см. Таблица 2).

Содержание воды	- Критический фактор, определяющий количество тепла, получаемого при сжигании - Чем выше содержание воды в растении, тем ниже содержание энергии
Калорийность	- Количество энергии, выделяемой в форме тепла при сжигании 1 кг древесины
Полисахариды клеточных стенок	- Стенки растительных клеток содержат три основных типа полимеров: целлюлозу, гемицеллюлозу и лигнин. - Целлюлоза и гемицеллюлоза содержат длинные цепи сахаров, которые могут быть преобразованы в моторные топлива, как, например, биоэтанол. - Важно знать процент простых сахаров (полисахаридов), чтобы оценить первичный потенциал данных культур для производства биотоплива

Таблица 2: Анализы «SustainAqua» для определения биоэнергетического потенциала растений водно-болотных угодий

Результаты этих анализов однозначно доказывают биоэнергетический потенциал данных растений. Данные о полисахаридах клеточных стенок показывают возможности производства биоэтанола из целлюлозы этих растений, особенно *Arundo donax* и *Phragmites australis*. Значения калорийности являются многообещающими, особенно в рогозе. Другие международные эксперименты доказывают значительный потенциал всех четырех протестированных растений водно-болотных угодий.

Однако не следует забывать, что в аквакультурном хозяйстве первичной целью посадки растений водно-болотных угодий является очистка сточных вод аквакультурной деятельностью. Использование произведенной биомассы, как побочного продукта, для производства биоэнергии является желаемой целью. Однако приоритетной функцией плантации растений водно-болотных угодий будет всегда очистка сточных вод, а не производство биоэнергии. Это может стать причиной следующих ограничивающих факторов, вредных для эффективного и рентабельного производства биоэнергии:

1. Место выращивания растений водно-болотных угодий не обеспечивает оптимальных условий роста для производства биоэнергии.
2. Для лучшего качества сгорания важно время сбора (лучше всего весной).
3. 2-3-летние циклы сбора урожая являются более предпочтительными.

Необходимо детально исследовать, как эффективнее сочетать очистку сточных вод и производство энергетических культур, чтобы найти оптимальные условия для достижения обеих целей.

Рыночные возможности

В настоящее время условия производства биомассы для энергетических целей очень благоприятны. Амбициозные цели Евросоюза, включающие в себя увеличение доли биоэнергии в европейском энергообеспечении, создадут огромный спрос на ресурсы биомассы в следующем десятилетии. Это также представляет уникальный шанс для рыбоводов получить ценную дополнительную прибыль путем утилизации побочных продуктов биомассы своих аквакультурных хозяйств для обеспечения бурно развивающейся биоэнергетической индустрии срочно требуемой биомассой.

Ива корзиночная (*Salix viminalis*) уже используется для производства древесной стружки в целях выработки тепла и электричества, например, в так называемых «энергетических плантациях быстрорастущих культур» (Short Rotation Coppice, SRC). SRC дают ценную информацию по проектированию участков с растениями водно-болотных угодий для применения в аквакультуре. Для рентабельной реализации необходимо, чтобы площадь территории была не менее 1 га, она была доступна для уборочных машин и производила не менее 8-11 т сухой массы на гектар в год.

Что касается трех травянистых растений в венгерском примере, т.е. обыкновенного тростника, рогоза и гигантского тростника, данный сектор только начинает развиваться и набирать обороты. Однако в ближайшем будущем ожидается улучшение ситуации. Поэтому, поскольку по всей Европе происходит технологическо-экономическое развитие функционирующего биомассово- биоэнергетического рынка, которое должно завершиться в следующие 3-5 лет, этим временем необходимо воспользоваться для оптимизации условий производства биомассы, связанного с аквакультурной деятельностью, притом не пренебрегая первичной целью выращивания растений водно-болотных угодий, т.е. очисткой сточных вод и удалением питательных веществ.

5.3. Растения, выращиваемые в гидрокультуре и тропические фрукты для косметической промышленности – пример Швейцарии

Растения, выращиваемые в гидрокультуре, а также тропические фрукты имеют большой потенциал для использования в косметической промышленности в качестве возобновляемого сырья. Шансом для таких побочных продуктов аквакультуры является продажа происхождения данного продукта. Холистическая концепция может стать уникальной возможностью для реализации такой продукции. В

совместной разработке новых продуктов, таких как кремы из папайи или гуаявы, могут быть особо заинтересованы малые и средние предприятия.

Потенциал

В рамках «SustainAqua» изучались ряска (*Lemna sp.*) – которая также могла бы стать значительным побочным продуктом венгерской системы очистки сбросных вод в водно-болотных угодьях или польской каскадной системы – водяной гиацинт (*Eichhornia crassipes*), гуаява (*Psidium sp.*) и папайя (*Carica papaya*). В случае тропических фруктов, главным объектом анализов были фрукты низкого или среднего качества, которые не могут быть проданы на рынках как первоклассный продукт. Поскольку не представлялось возможным искать новые компоненты или изучить полный химический состав всех выбранных растений, изучалась только концентрация наиболее перспективных известных ингредиентов (см. Таблица 3):

Пектин	- Ряска богата пектином, встречающимся только в ней (апиогалактуронан/лемнан) - Уникальные свойства по сравнению с обычным пектином (из яблок) - Может использоваться для лечения симптомов старения и воспалений кожи
Каротиноиды, ликопин	- Гуаява и папайя обе богаты биологически активными веществами - β -каротин и ликопин известны своими положительными воздействиями на человеческое здоровье
Полифенолы	- Гуаява имеет антиоксидантные свойства, приписываемые ее содержанию полифенолов - Водяной гиацинт, благодаря своему содержанию полифенолов, может защитить кожу от вредных воздействий тяжелых металлов и улучшить клеточное дыхание. - Водяной гиацинт пригоден и для фиторемедиации, так как он способен удалять металлы и токсины из сточных вод, чтобы использовать их в своем обмене веществ.

Таблица 3: Анализы «SustainAqua» для определения промышленного потенциала растений, выращиваемых в гидрокультуре, а также тропических фруктов

Результаты анализов показали, что побочные продукты аквакультуры в примере «Тропенхаус» не содержали более высоких концентраций известных активных веществ по сравнению с другими растениями. Однако добавленной ценностью в использовании побочных продуктов аквакультуры в секторе косметики могли бы стать холистические и экологические подходы в производстве, например, в «Тропенхаус» или других устойчивых аквакультурных хозяйствах. Эта уникальная возможность реализации может быть полезной для некоторых отраслей промышленности, в частности, малых и средних предприятий.

Рыночные возможности

Нынешнее развитие косметики, в частности, рынка натуральной косметики, очень благоприятно для использования побочных продуктов аквакультуры:

- *Бурно развивающийся рынок вырос более чем на 20% в секторе натуральной косметики*
Мировые продажи экологической косметики бурно растут, в 2006 году доход от них приблизился к 5 миллиардам евро. Европа, со скоростью роста свыше 20% и продажами, достигающими 1,1 миллиарда евро, является важным мотором данного развития. Безусловно, ведущей страной в этом рыночном сегменте является Германия, где продажи в 2006 году достигли 650 млн евро. За ней следуют Австрия и Швейцария. По ожиданиям, рыночная доля всего косметического рынка должна к 2012 году вырасти с нынешних 6% до 10%. Наиболее быстрорастущими являются французские рынки, скорость роста которых в 2005 году составляла 40%.
- *Преобладание передовых малых и средних предприятий*
В Европе сторона снабжения сильно фрагментирована и в ней преобладают малые и средние предприятия, из которых более чем 400 производят натуральную косметику.
- *Большое значение разработки новых продуктов (New Product Development, NPD); NPD является ключевым элементом*
Косметическую промышленность характеризует инновация и большое значение разработки новых продуктов. Инновация необходима для улучшения характеристик, безопасности и экологических воздействий продукта. Компании экспериментируют с естественными ингредиентами, отходя от синтетических химических веществ.

- *Позиционирование продукта: Успешный маркетинг является результатом четкого выделения данного продукта из остальных конкурирующих продуктов*
Критическим фактором успеха для натуральной косметики является позиционирование продукта. На рынке побеждают те компании, которым удается выделить свои продукты из конкурирующей продукции, как натуральной, так и традиционной.

6. Очистка воды интенсивных аквакультурных систем с помощью водно-болотных угодий и экстенсивных рыбоводных прудов – Примеры из Венгрии

6.1. Искусственные водно-болотные угодья как устойчивый метод очистки сбросных вод аквакультуры и производства ценных культур («Система с африканскими сомами»)

6.1.1. Введение – Общее описание инновации

Достижение и поддержание хорошего качества воды в естественных водоемах является подчеркнутой целью европейского и национальных законодательств и НПО, поскольку качество и количество пресноводных ресурсов является одним из ключевых факторов здорового образа жизни человека. Выпущенные в природу сточные воды причиняют эвтрофикацию и ухудшение качества природных экосистем, в которые они попадают. Кроме того, в Венгрии сборы за загрязнение воды составляют значительные суммы. По этим причинам, производители вынуждены искать эффективные и экономные методы очистки.

В последние десятилетия была повторно открыта эффективность искусственных водно-болотных угодий в очистке сбросных вод. В экосистемах водно-болотных угодий содержание загрязнителей снижается благодаря естественным процессам, пользующимся растениями, очищающими воду. Взвешенные твердые частицы, выпущенные с хозяйства, оседают и преобразуются в растворимые питательные вещества, используемые растениями водно-болотных угодий.

Эффективность удаления питательных веществ может быть улучшена через комбинацию различных типов прудов, таких как пруды-усреднители, рыбоводные пруды и пруды с высшими растениями. Более того, питательные вещества могут быть превращены в побочные продукты, имеющие рыночный потенциал, путем интегрированного использования ценных видов рыб и растений. Если посадить рыбу в один пруд, то определенная часть выпущенных питательных веществ повторно используется в мясе рыб, а наличие необходимого уровня растворенного кислорода обеспечивает подходящие условия для аэробных процессов. В прудах с макрофитами ряд высших растений, выдерживающих данный уровень воды, ассимилирует значительные количества питательных веществ для синтеза биомассы, которая может использоваться для производства биоэнергии.

6.1.2. Принципы системы

«Система с африканскими сомами» (САС) находится в экспериментальной прудовой системе Института рыболовства, аквакультуры и ирригации (НАКИ) в г. Сарваш (Венгрия). Экспериментальные прудовые системы размером 1,1 га (Подсистема «А») и 0,4 га (Подсистема «В»), были построены для очистки сточных вод интенсивного проточного хозяйства, производящего африканского сома.

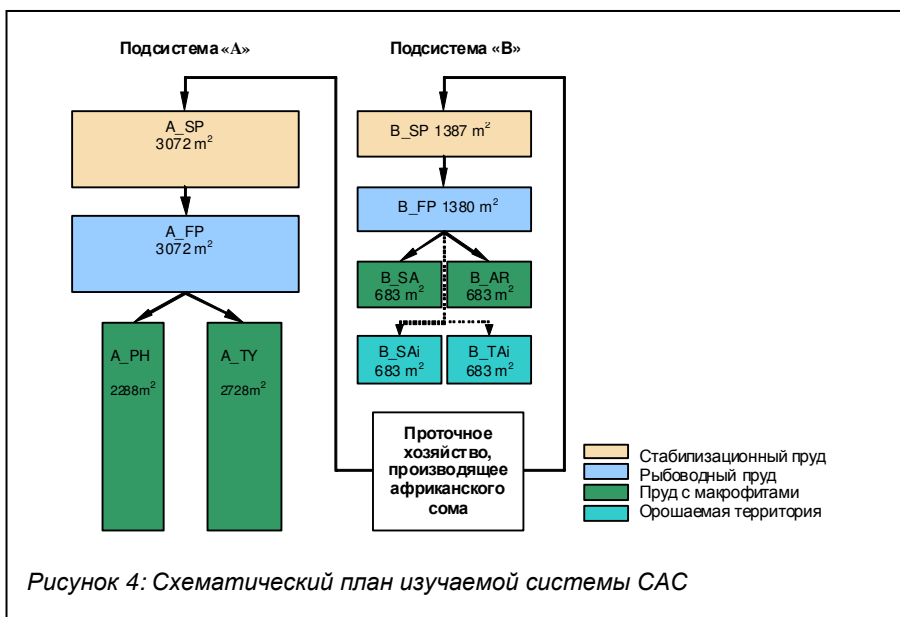
Прудовые подсистемы были построены так, чтобы в них комбинировались стабилизационный пруд, рыбоводный пруд и пруды с высшими растениями. Пруды были наполнены пресной водой из ближней старицы реки Кёрёш в начале периода эксплуатации (в 2007 году – в мае, в 2008 году – в феврале).

Сточная вода с хозяйства, производящего африканского сома, поступала в аэрированный стабилизационный пруд, где работал лопастной аэратор и куда подавалась дополнительная речная вода. Вода из стабилизационного пруда направлялась в рыбоводный пруд, где определенная часть питательных веществ задерживалась в биомассе рыб. Вода, вытекающая из этого блока, поступала в 4 пруда с поверхностным стоком, засаженных различными энергетическими культурами: обыкновенным тростником (*Phragmites australis*), рогозом (*Typha latifolia* и *T. angustifolia*), корзиночной ивой (*Salix viminalis*), гигантским тростником (*Arundo donax*) и тамариском (*Tamarix tetrandra*) (см. также Таблица 4). Схема модуля показана на рисунке 4.

В 2008 г. к подсистеме «В» были добавлены два дополнительных орошаемых поля, где уровень воды удерживался ниже поверхности, и изучалась способность ивы и тамариска к удалению натрия.

Применялись следующие принципы:

- **Время задержания:** Рассчитанное время гидравлического задержания составляло 18 суток в каждом блоке системы.
- **Глубина воды:** Средняя глубина составляла 1,2 м в стабилизационных и рыбоводных прудах, и 0,5 м в прудах с высшими растениями.
- **Рыбы:** Пруды зарыблялись в апреле и мае в поликультуре с плотностью посадки 900 кг/га: 35% карпа (*Cyprinus carpio*), 60% белого толстолобика (*Hypophthalmichthys molitrix*) и 5% белого амура (*Stenopharyngodon idella*). Этот видовой состав был выбран для достижения целей очистки воды и наиболее эффективной утилизации естественных кормовых ресурсов.
- **Кормление:** Рыба в прудах искусственно не кормилась.
- **Облов:** Рыбоводные пруды облавливались в ноябре; вода спускалась, и дно оставалось сухим в течение зимы (от ноября до февраля)



Блок	Площадь	Глубина воды	Виды	Замечания
A_SP	3 072 м ²	1,2 м	Ряска (<i>Lemna sp.</i>)	Регулярно удаляется
A_FP	3 072 м ²	1,2 м	Поликультура карповых	Зарыбление в апреле Облов в ноябре
A_PH	2 288 м ²	0,5 м	Тростник обыкновенный (<i>Phragmites australis</i>), ряска	Облов в ноябре
A_TY	2 728 м ²	0,5 м	Рогоз (<i>Typha latifolia</i> , <i>T. angustifolia</i>)	Облов в ноябре
B_SP	1 387 м ²	1,2 м	Ряска (<i>Lemna sp.</i>)	Регулярно удаляется
B_FP	1 380 м ²	1,2 м	Поликультура карповых	Зарыбление в апреле Облов в ноябре
B_SA	683 м ²	0,5 м	Ива (<i>Salix viminalis</i>), рогоз (<i>Typha sp.</i>)	Посадка в 2006 г., недостаточный рост ивы, зарастание рогозом
B_AR	683 м ²	0,5 м	Тростник гигантский (<i>Arundo donax</i>), рогоз (<i>Typha sp.</i>)	Посадка в 2006 г., недостаточный рост гигантского тростника, зарастание рогозом
B_SAi	683 м ²	неприменимо	Ива (<i>Salix viminalis</i>)	Посадка в 2007 г., ирригация водой из рыбоводного пруда (B_FP)
B_TAi	683 м ²	неприменимо	Тамариск (<i>Tamarix tetrandra</i>)	Посадка в 2007 г., ирригация водой из рыбоводного пруда (B_FP)

Таблица 4: Основные параметры экспериментальных блоков

6.1.3. Оценка избранных показателей устойчивости «SustainAqua»

Поступление и выпуск воды

Вода поступала в экспериментальную систему из двух источников:

- Очищаемая сточная вода с хозяйства, производящего африканского сома и
- Пресная вода из реки Кёрёш для наполнения прудов и снабжения стабилизационных прудов кислородом и водорослями в течение эксплуатации.

Пруды сначала были заполнены пресной водой из ближнего рукава реки Кёрёш. Большая часть речной воды использовалась для наполнения прудов (13 829 м³ в 2007 году; 11 173 м³ в 2008 году); еще 10 037 м³ в 2007 году и 17 089 м³ в 2008 году добавлялись в стабилизационные пруды во время эксплуатации. Суточное потребление воды в 2007 и 2008 годах составляло в среднем 65,6 и 69,5 м³, соответственно. Суточный объем был рассчитан теоретически, поскольку добавочная вода вносилась не регулярно, только в случае неблагоприятного кислородного режима. Удельное потребление добавочной воды было рассчитано в отношении всей системы и показало, что очистка 1 м³ сточной воды из аквакультуры требовала в течение эксплуатации использования 0,159-0,274 м³ речной воды, а всего (вместе с начальным заполнением прудов) 0,279-0,453 м³.

Вода вытекала через водоспуски прудов содержащих высшие растения. За время пребывания в пруде объем внесенной воды уменьшался вследствие испарения, эвапотранспирации и инфильтрации. Поэтому объем вытекающей воды был на 55-57% ниже объема втекающей воды.

Эффективность использования питательных веществ

Согласно результатам, в 2007 году за время эксплуатации общий выпуск N составил 162 кг, т.е., в отношении всей системы, 1,05 кг в сутки. В вытекающей воде содержание N составляло менее чем 10% от его уровня во втекающей воде. Общий выпуск P был равен 44,9 кг, а суточный – 0,29 кг, в вытекающей воде содержалось 27% от концентрации P в поступающей воде. Содержание C в пробах воды было рассчитано как половина от содержания летучих взвешенных веществ: общий выпуск C за время эксплуатации составил 3 262 кг, что соответствует суточному выпуску 21,1 кг. В вытекающей воде было найдено менее чем 8% общего органического C, поступающего в систему (Таблица 5).

Блок	N			P			C		
	Ввод кг	Выпуск кг	Удаление %	Ввод кг	Выпуск кг	Удаление %	Ввод кг	Выпуск кг	Удаление %
A_ST	1 167	722	38,1	117	95,1	18,7	1 930	1 307	32,2
A_FI	722	404	27,2 (44,0)	95,1	69,0	22,3 (27,4)	1 307	1 022	14,8 (21,9)
A_PH	207	77,4	11,1 (62,6)	35,6	20,5	12,9 (42,4)	526	325	10,4 (38,2)
A_TY	196	46,5	12,8 (76,3)	33,4	15,1	15,6 (54,8)	495	279	11,2 (43,6)
Всего A_	1 167	124	89,4	117	35,6	69,6	1 930	605	68,7
B_ST	512	235	54,1	50,0	31,9	36,2	813	561	31,0
B_FI	235	114	23,6 (51,5)	31,9	18,8	26,1 (41,0)	561	374	23,0 (33,4)
B_SA	56,4	21,1	6,90 (62,6)	9,30	5,13	8,36 (44,9)	188	108	9,82 (42,5)
B_AR	58,1	17,0	8,03 (70,8)	9,55	4,13	10,8 (56,7)	186	79,4	13,1 (57,3)
Всего B_	512	38,1	92,6	50,0	9,26	81,5	813	187	77,0
Итого	1 679	162	90,3	167	44,9	73,1	2 743	792	71,1

Таблица 5: Ввод, выпуск и удаление питательных веществ в прудах САС в 2007 году (в скобках: удаление по отношению к количеству, введенному в данный пруд)

В 2007 г. общий выпуск N за период эксплуатации составил 116 кг, что, в отношении всей водоочистной системы, соответствует 0,48 кг в сутки. В вытекающей воде содержание N составляло меньше чем 6% от его уровня во втекающей воде. Общий выпуск P был равен 37,1 кг, а суточный – 0,15 кг, в вытекающей воде содержалось 16% от концентрации P в поступающей воде. Общий выпуск C за время эксплуатации составил 4 812 кг, что соответствует суточному выпуску 19,7 кг. В вытекающей воде было найдено менее чем 5% общего органического C, поступающего в систему (Таблица 5б). Выпуск N и P в 2008 г. был значительно ниже, чем в 2007 г., особенно в отношении суточных выпусков, которые в 2008 г. были почти на 50% ниже. Согласно суточным данным, выпуск органического C был схожим в обоих годах.

Блок	N			P			C		
	Ввод	Выпуск	Удаление	Ввод	Выпуск	Удаление	Ввод	Выпуск	Удаление
	кг	кг	%	кг	кг	%	кг	кг	%
A_ST	1 352	865	36,0	152	95,9	37,0	2 646	1 304	50,7
A_FI	865	376	36,1 (56,5)	95,9	48,0	31,5 (49,9)	1 304	1 143	6,07 (12,3)
A_PH	184	41,9	10,5 (77,3)	23,7	15,5	5,36 (34,4)	562	161	15,2 (71,4)
A_TY	198	37,1	11,9 (81,2)	23,3	14,7	5,66 (36,9)	522	166	13,4 (68,1)
Всего A_	1 352	79,0	94,2	152	30,2	80,1	2 646	327	87,6
B_ST	717	361	49,6	78,9	40,4	48,7	1 351	554	59,0
B_FI	361	184	24,7 (49,0)	40,4	19,3	26,7 (52,2)	554	503	3,78 (9,22)
B_SA	88,3	17,3	9,90 (80,4)	9,21	2,96	7,93 (67,9)	238	68,3	12,5 (71,3)
B_AR	99,0	19,5	11,1 (80,3)	9,78	3,97	7,36 (59,4)	257	80,1	13,1 (68,8)
Всего B_	717	36,8	94,9	78,9	6,93	91,2	1 351	148	89,0
Итого	2 069	116	94,4	231	37,1	83,9	3 997	475	88,1

Таблица 6: Ввод, выпуск и удаление питательных веществ в прудах САС в 2008 году (в скобках: удаление по отношению к количеству, введенному в данный пруд)

Часть питательных веществ в модуле САС была преобразована в рыбу и энергетические растения, т.е. ценные побочные продукты. В биомассу рыб и растений в обоих годах была преобразована приблизительно равная доля введенных питательных веществ: в выловленной рыбе были задержаны 1,0%, 1,8%, и 2,3-3,5% азота, фосфора и органического углерода, соответственно. В энергетических растениях осталось 3,7-4,0% попавшего в систему азота и 8,5-9,2% фосфора (Таблица 7).

Питательные вещества	Единица измерения	2007			2008			
		N	P	C	N	P	C	
Ввод	кг	1 679	167	2 743	2 069	231	3 997	
Выпуск	Вода	%	9,7	27	29	5,6	16	4,3
	Вода при облове	%	10	17	20	5,9	9,2	7,5
	Рыба	%	1,0	1,8	3,5	0,99	1,7	2,3
	Растения	%	4,0	9,2	н.р.*	3,7	8,5	н.р.*

*не рассчитано

Таблица 7: Выпуск питательных веществ и их задержание во вторичных продуктах

Эффективность использования энергии

Во время эксплуатации экспериментальной системы САС электрическая энергия использовалась для подачи сточной воды в стабилизационные пруды (один насос мощностью 3,1 кВт), а также перемешивания и аэрации воды прудов с помощью аэраторов (2 шт. мощностью 0,75 кВт). Потребление энергии электрическими насосами и аэраторами в 2007 и 2008 годах составляло 16 221 и 16 997 кВт.ч, соответственно. Если поступление сточной воды в водоочистную систему осуществимо самотеком, расход энергии насосов можно сэкономить. Удельный расход энергии, рассчитанный на единицу объема очищенной сточной воды аквакультурного хозяйства, составил 0,257 кВт.ч/м³ в 2007 году и 0,273 кВт.ч/м³ в 2008 году. Для облова и сбора биомассы, а также ее транспортировки, использовалось около 48 л топлива, т.е. 487 кВт.ч.

Общая калорийность собранной биомассы составила в 2007 году 81 728 МДж, т.е. 22 702 кВт.ч, а в 2008 году – 359 207 МДж, т.е. 99 780 кВт.ч. Согласно расчету энергетического баланса экспериментальной системы, в 2007 году за период эксплуатации энергии было произведено на 6 000 кВт.ч, а в 2008 году – на 82 296 кВт.ч больше, чем потреблено (Таблица 8).

В системе для очистки сточной воды энергетические культуры выращивались как ценные побочные продукты, поскольку их использование в качестве топлива обеспечивает значительный источник возобновляемой энергии. Сбор урожая на прудах с высшими растениями происходил в декабре 2007 года, общий вес биомассы составил 8 320 кг.

Произведенная биомасса высших растений в 2008 году оценивалась в 40 900 кг. Скорость роста была наибольшей у рогоза, а наименьшей – у ивы. В прудах с гигантским тростником и ивой наблюдалось сильное спонтанное зарастание рогозом, который подавлял развитие посаженных растений. Наибольшей была калорийность обыкновенного тростника, со средней величиной 11 372 Дж/г. Для

ивы данный показатель составлял 9 699 Дж/г. Калорийность рогоза и гигантского тростника была относительно низкой, 9 214 Дж/г и 8 611 Дж/г, соответственно.

	2007		2008	
	кВт.ч	МДж	кВт.ч	МДж
Расход электрической энергии	16 221	58 396	16 997	61 189
Подача сточной воды	10 714	38 570	9 077	32 677
Аэрация	5 508	19 829	7,920	28 512
Расход топлива	487	1 754	487	1 754
Эффективная калорийность растений	22 702	81 728	99 780	359 207
Баланс	5 994	21 578	82 296	296 263

Таблица 8: Энергетический баланс САС

Осенью, зимой и весной калорийность у тростника увеличилась почти вдвое, у рогоза – на 45%, тогда как их содержание воды уменьшилось. Эти результаты показывают, что, для получения наибольшей калорийности, лучшим временем года для сбора растений водно-болотных угодий является период от марта до апреля, так как в это время содержание воды ниже всего, а калорийность, соответственно, относительно высока.

Производительность труда

Посадка растений, ежедневное обслуживание системы, сбор растений и облов рыбы требовали, соответственно, около 64, 176, 216 и 32 человеко-часов. Итак, общее количество труда, затраченного на процесс очистки, составило 488 часов, т.е. для очистки воды в САС потребовалось 0,00778 человеко-часов/м³ сточной воды.

6.1.4. Факторы успеха и ограничивающие факторы

«Система с африканскими сомами» дала значительные экологические и экономические результаты:

- **Повторное использование и задержание питательных веществ:** Использование данной водоочистной системы снизило выпуск питательных веществ с интенсивного хозяйства на 1 300 кг N/га, 130 кг P/га и 7 500 кг ХПК/га за период эксплуатации с февраля по ноябрь 2008 г.
- **Производство рыбы:** В рыбоводных прудах на естественной пище производилось в среднем 1 458 кг/га биомассы рыб.
- **Производство биомассы:** Было произведено 40 900 кг растительной биомассы – потенциального возобновляемого источника энергии. Она может заменить сжигание ископаемого газа, благодаря чему можно уменьшить годовой выброс CO₂ на 11 250 кг.
- **Положительный энергетический баланс:** При эксплуатации искусственных водно-болотных угодий расход энергии был ниже, чем количество энергии, произведенной в форме биомассы.
- Удаление питательных веществ из сбросной воды приводит к уменьшению **сборов за загрязнение воды** и помогает избежать штрафов за ущерб, нанесенный окружающей среде.
- **Меньшие расходы**, чем при использовании промышленных технологий очистки сбросных вод.
- Производство побочных продуктов с рыночным потенциалом приносит **дополнительные доходы**

Однако использование данного метода очистки имеет также свои границы:

- Климатические условия Центральной и Восточной Европы ограничивают возможность постоянной эксплуатации искусственных водно-болотных угодий с неизменными уровнями нагрузки в течение зимы. При низких температурах (ниже 15°C), рекомендуется уменьшить ввод питательных веществ путем уменьшения их концентрации (фильтрация взвешенных твердых частиц) или объемов используемой воды (хранение).
- Поверхностный сток (с постоянным снабжением воды) в прудах обеспечивал благоприятные условия для обыкновенного тростника и рогоза. Однако свободная водная поверхность и относительно тонкий слой почвы не были оптимальны для роста ивы и гигантского тростника. Для роста этих видов благоприятными являются влажные почвы с глубоким плодородным слоем.
- Постройка и успешная эксплуатация требуют детального проектирования и постоянного контроля качества воды в блоках системы, а также уровня растворенного кислорода в рыбоводных прудах, поскольку чрезмерная нагрузка системы может привести к серьезным нарушениям природного равновесия в прудах, функционирующих как искусственные экосистемы.

6.1.5. Выгоды от использования системы

Экологическое законодательство вынуждает аквакультурных производителей свести к минимуму выпуск питательных и загрязняющих веществ и использовать устойчивые методы очистки. Комбинированная прудовая система обеспечивает подходящий метод очистки, соответствующий экологическим стандартам. Стоимость строительства и эксплуатации данной системы является более низкой, чем у искусственных водоочистных технологий. Беря за основу средние параметры качества воды во время экспериментов, хозяйство, производящее африканского сома, может сэкономить 34 500 евро за счет снижения сборов за загрязнение воды. Данная система также может обеспечить дополнительную прибыль в размере 15 000 евро от производства рогоза и рыбы, тогда как общие эксплуатационные расходы составляют меньше чем 17 000 евро.

Рыбоводные пруды подходят для дополнительного производства рыбы; например, выращивание декоративных рыб или видов, использующих природные кормовые ресурсы, обеспечивает прибыльные возможности для утилизации неиспользованных питательных веществ.

Естественные методы очистки требуют мало невозобновляемой энергии, но большую площадь. На основе результатов, полученных за годы эксперимента, и учитывая климатические и экономические аспекты, прудовая система площадью 12 га может очистить 100% сточных вод проточного хозяйства, выращивающего африканского сома, мощностью 300 т рыбы в год.

6.2. От примера до рыбного хозяйства: Как очистить сточную воду сомового хозяйства?

6.2.1. Описание интенсивного рыбного хозяйства

Результаты примера САС экстраполированы на существующее проточное рыбное хозяйство с общей мощностью 300 тонн рыбы в год, где в бассейнах под открытым небом в геотермальной воде интенсивно выращивается африканский сом (*Clarias gariepinus*). Общий объем воды бассейнов составляет 1 200 м³ на площади 3 690 м². Средний кормовой коэффициент товарной рыбы равен 1,2 кг корма/кг рыбы. Итак, при выращивании 1 т африканского сома в биомассу рыб преобразовывается 24 кг азота (N) и 3,9 кг фосфора (P); 52 кг N и 9,8 кг P уходят со сточной водой, попадающей в старицу, где выпущенные питательные вещества причиняют эвтрофикацию и ухудшение состояния природной экосистемы. Согласно недавно принятому экологическому законодательству, сборы за загрязнение воды рассчитываются на основе чистой массы выпуска питательных веществ, и производители должны применять устойчивую технологию очистки воды.

6.2.2. Механизм очистки воды в водно-болотных угодьях

В экосистемах водно-болотных угодий содержание загрязнителей снижаются за счёт естественных процессов. Искусственные водно-болотные угодья являются устойчивой технологией, поскольку:

- Они эффективно удаляют загрязняющие вещества;
- Потребность в ископаемой энергии и химикатах минимальна;
- Стоимость строительства ниже, стоимость эксплуатации и технического обслуживания – значительно ниже, чем в искусственных водоочистных системах;
- Они хорошо вписываются в естественную среду и, в результате их значительной эстетической ценности, они более приемлемы для общественности;
- Создание водно-болотных угодий помогает сохранить редкие виды, типичные для таких местообитаний, и вносит свой вклад в биологическое разнообразие.

Путем комбинации различных прудов, таких как стабилизационные, рыбоводные пруды и пруды с высшими растениями, может быть повышена эффективность удаления питательных веществ; кроме того, если использовать ценные виды, то питательные вещества преобразовываются в побочные продукты, имеющие рыночный потенциал. При использовании водно-болотных угодий с поверхностным стоком необходимо учесть следующие факторы:

- Потребность в площади является значительной,
- Климатические условия влияют на эффективность очистки.

6.2.3. Проектные параметры

Характеристики сточной воды

Сточная вода хозяйства, производящего африканского сома, отличается высоким общим количеством растворенных твердых веществ, происходящих из использованной геотермальной воды, и высоким химическим потреблением кислорода (ХПК). Общее содержание азота состоит приблизительно на 60% из аммонийного азота (Total Ammonium Nitrogen, TAN) и на 40% из органического азота, остальные формы N встречались в незначительном количестве. В общем содержании фосфора около 50% составлял ортофосфатный P, тогда как летучие взвешенные вещества (Volatile Suspended Solids, VSS) составляли 90% взвешенных веществ. На основе средних концентраций общий годовой выпуск азота был равен 13 т, масса фосфора равнялась 1,3 т, а годовой выпуск ХПК – 87 т (Таблица 9).

Задержание питательных веществ

На основе данных эксперимента по определению зависимости нагрузки от температуры, проведенного в 2008 году, способность к задержанию питательных веществ была рассчитана с температурным интервалом 5°C. Удаление N было наиболее чувствительным к температуре, но удаление ХПК также улучшалось с ростом температуры. Задержание P и удаление VSS становилось более эффективным только в наиболее высоком температурном интервале (Таблица 10). При проектировании системы должна приниматься во внимание наиболее низкая эффективность удаления, а при определении размеров различных типов водно-болотных угодий рекомендуется проектировать систему с параллельными блоками прудов, которые, по мере необходимости, можно подключать к системе или отсоединять от нее.

Возможность введения добавочной воды во время эксплуатации, особенно в случае стабилизационных и рыбоводных прудов, является важным фактором в процессе очистки воды. Каналы для водоснабжения и водоотвода должны проектироваться таким образом, чтобы, по мере необходимости, сделать возможным независимое заполнение и спуск отдельных блоков.

Показатель	Сток	STD	Выпуск
	мг/л		кг/сут.
Растворенные твердые вещества	714	62,5	857
Химическое потребление кислорода	200	89,0	239
Аммонийный N	18,7	5,84	22,4
Общий органический N	11,6	11,8	13,9
Общий N	29,7	11,4	35,6
Ортофосфатный P	1,37	1,07	1,64
Общий P	2,90	0,92	3,48
Летучие взвешенные вещества	114	57,6	137

Таблица 9: Средние величины гидрохимических показателей и рассчитанный суточный выпуск питательных веществ со сбросной водой (n=38) (STD - стандартное отклонение)

Температурный интервал воды	Удаление N	Удаление P	Удаление VSS	Удаление ХПК
	кг/га/сут.			
10-15 °C	2.96	0.36	19.48	18.99
15-20 °C	5.71	0.37	18.68	30.92
20-25 °C	7.41	0.75	37.66	44.46

Таблица 10: Удельное удаление питательных веществ в системе искусственных прудов при различных температурах

Зарыбление

В рыбоводных прудах использовалась поликультура карповых для лучшей утилизации рыбами части неиспользованных питательных веществ, непосредственно или через пищевую цепь прудов. Карп, как рыба, питающаяся на дне, взмучивает донные отложения, откуда питательные и органические вещества попадают в воду, улучшая первичную продукцию и увеличивая доступную кормовую базу для фильтраторов. Белый толстолобик переносит более высокие плотности посадки и может потреблять большую часть фитопланктона и зоопланктона. Наблюдения показывают, что он может отфильтровывать остатки кормов из сточной воды интенсивных хозяйств. Белый амур как вид, питающийся высшими растениями, контролирует рост ряски в прудах. В эвтрофных/гипертрофных прудах виды ряски растут сами по себе и в небольших прудах могут полностью покрывать водную поверхность, препятствуя первичной продукции водорослей. Зарыбление молодью карпа может также воспрепятствовать чрезмерному размножению зоопланктона.

В течение экспериментов были опробованы различные плотности посадки. Лучший чистый выход как карпа, так и толстолобика, был получен при общей плотности посадки 1 000 кг/га и видовом составе 35:50:15 (с добавлением белого амура). Индивидуальный вес при посадке, т.е. возраст высаживаемой рыбы, также влияет на выход, поскольку рост годовиков более интенсивен; с другой стороны, карпы-двухлетки более эффективно взмучивают донные отложения.

6.2.4. Критические факторы функционирования

Климатические условия: Естественные системы очистки воды функционируют подходящим образом при температурах воды 15-30°C, т.е., в Центральной и Восточной Европе, от апреля до октября. Однако рыбные хозяйства работают круглый год. Для искусственных водно-болотных угодий с поверхностным стоком зимой характерно более низкое удаление питательных веществ, особенно азота. Поэтому при более низких температурах потенциальная нагрузка уменьшается и, для необходимого удаления питательных веществ, требуется большая площадь. Механическая фильтрация также может уменьшить поступление растворенных питательных веществ в систему.

Рыбы: В прудовых системах зарыбленные виды и естественно встречающиеся организмы требуют подходящих мер управления. Рыбы чувствительны к низким уровням кислорода (<1,5-2,0 мг/л) и повышенным концентрациям неионизированного аммиака (>0,3-0,4 мг/л). Когда облачная, дождливая погода надолго блокирует солнечный свет, фотосинтетическое производство O₂ может снизиться и,

таким образом, концентрация растворенного в воде O_2 также уменьшается. Причиной более высоких уровней аммиака может стать чрезмерная нагрузка на пруды, особенно при более низких температурах и когда деятельность нитрифицирующих бактерий подавлена. Если уровень растворенного O_2 ниже желаемого, возмещение дефицита возможно путем аэрации или введения добавочной воды. Это может также помочь в снижении уровня неионизированного аммиака. Регулярный (ежедневный) мониторинг концентраций O_2 и аммиака и принятие во внимание погодных условий может предотвратить фатальное ухудшение качества воды.

Градации планктона: В начале вегетационного периода в прудах возможно массовое развитие зоопланктона. Отфильтровывая взвешенные твердые частицы и фитопланктон, они производят значительное количество биомассы; с другой стороны, градации зоопланктона снижают концентрацию кислорода в воде. Удаление биомассы зоопланктона для предотвращения его нежелательного размножения возможно путем фильтрации или зарыбления прудов мальками. В блоках для очистки воды не наблюдалось чрезмерного размножения цианобактерий.

Ряска: Различные виды ряски могут появляться и, при наличии оптимальных условий, массово размножаться в стоячей воде. Ряска, покрывая водную поверхность, препятствует росту и жизнедеятельности фитопланктона, что приводит к анаэробным условиям в толще воды. Поскольку в системах для очистки воды предпочтение отдается аэробным системам, рекомендуется удаление ряски из всех прудов. Лучшим решением для контроля ряски в рыбоводных прудах является зарыбление белым амуром, который может питаться ряской и, таким образом, преобразовывать ее в рыбную биомассу. В прудах с высшими растениями также рекомендуется ручное удаление ряски для увеличения открытой водной поверхности.

Заиление: На местах, где сточная вода поступала с аквакультурного хозяйства в стабилизационные пруды наблюдалась умеренная аккумуляция ила. После долгой эксплуатации (15-20 лет) может возникнуть необходимость в удалении накопившегося ила.

6.2.5. Проектирование предложенной системы

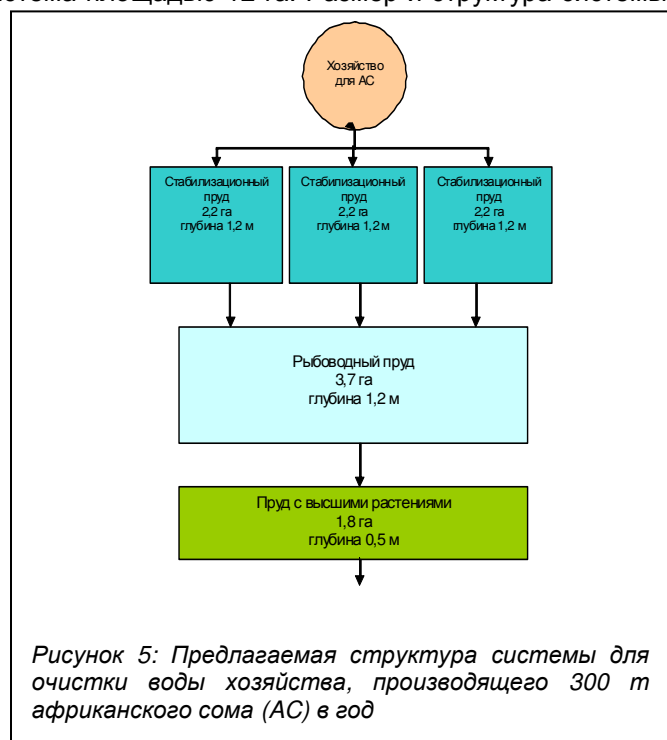
На основе имеющихся результатов и рассчитанной суточной нагрузки, поступающей с рыбного хозяйства мощностью 300 т/год, предлагается система площадью 12 га. Размер и структура системы спроектированы таким образом, чтобы обеспечить надежную очистку в зимний период и улучшить качество вытекающей воды. Постройка параллельных блоков может увеличить гибкость системы, так как для того, чтобы соответствовать максимально допустимым концентрациям выпуска, зимой необходима большая площадь, чем летом (см. рисунок 5).

На основе изучения относительной роли различных типов прудов в удалении питательных веществ, предлагается следующая пропорция: стабилизационные: рыбоводные пруды: пруды с высшими растениями = 3,5:2:1. Таким образом, в предлагаемую систему входят:

- Три стабилизационных пруда площадью 2,2 га каждый,
- Один рыбоводный пруд площадью 3,7 га и
- Один пруд с высшими растениями площадью 1,8 га.

Рыбоводные пруды предлагается зарыблять карповыми в поликультуре. Предпочтительный состав посадочного материала является следующим: карп (2 года): белый толстолобик (1 год): белый амур = 35:50:15 при плотности посадки 1 000 кг/га и индивидуальном весе 50-300 г. Возможно также зарыбление другими карповыми видами, например, декоративными рыбами, с похожими плотностями посадки.

В начале эксплуатации пруды наполняются речной водой (т.е. незагрязненной поверхностной или подземной водой). Используя параллельные стабилизационные пруды, спуск и наполнение могут осуществляться альтернативно. По нашему предложению, один стабилизационный пруд не должен использоваться в течение теплых месяцев года (с апреля по сентябрь); его наполнение может быть



начато перед спуском и наполнением других стабилизационных прудов или параллельно с ними. Во время спуска и наполнения других подобных прудов очистка воды может происходить в уже наполненном пруде. Облов рыбоводного пруда происходит в конце октября или начале ноября. После облова подача воды из стабилизационных прудов может продолжаться. Высшие растения рекомендуется собирать в начале весны, в марте, когда содержание воды в надземных частях растений наименьшее. Во время сбора урожая уровень воды в прудах с высшими растениями целесообразно держать на низком уровне. Ожидается, что за год предлагаемая система будет удалять из сточной воды:

- Около 1 000-1 100 кг фосфора,
- 7 000-8 000 кг неорганического азота, и
- 70 000-80 000 кг ХПК.

На основе средних показателей качества воды, полученных в экспериментах, сборы за загрязнение воды, выплачиваемые хозяйством, производящим африканского сома, должны уменьшиться на 34 543 евро. Производство рыбы в рыбоводных прудах и рогоза (биотоплива) в прудах с макрофитами должны обеспечить дополнительную прибыль. По нашим расчетам, срок окупаемости инвестиции равен 8 годам, а ее чистый дисконтированный доход (при ставке дисконтирования 5%) составит 102 175 евро после 15 лет эксплуатации. Дальнейшие расчеты показаны в нижеследующей таблице. Анализ эффективности (Cost-Benefit Analysis, CBA) предполагает, что ежегодный рост цен на энергию и топливо, а также рост рыночной цены рогоза, составит 6%. Предполагаемая инфляция заработных плат в модели составила 3%, тогда как рассчитанный ежегодный рост цен на рыбу и рыбопосадочный материал равнялся 2% (Таблица 11).

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Инвестиционные расходы (земля, пруды, насосы, аэраторы)	228 571	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Стоимость молоди рыб	0	4 029	4 109	4 191	4 275	4 361	4 448	4 537	4 628	4 720	4 815	4 911	5 009	5 109	5 211	5 316
Стоимость топлива (250 л/год)	89	268	284	301	319	338	358	380	403	427	453	480	508	539	571	606
Стоимость электричества (35 040 кВт.ч/год)	0	4 505	4 775	5 062	5 366	5 688	6 029	6 391	6 774	7 181	7 611	8 068	8 552	9 065	9 609	10 186
Стоимость труда (2 800 часов/год)	1 429	7 500	7 725	7 957	8 195	8 441	8 695	8 955	9 224	9 501	9 786	10 079	10 382	10 693	11 014	11 344
Доход от рогоза (2,9 евро/ГДж)	0	3 082	3 267	3 463	3 671	3 891	4 125	4 372	4 634	4 912	5 207	5 520	5 851	6 202	6 574	6 968
Доход от производства рыбы	0	11 986	12 225	12 470	12 719	12 974	13 233	13 498	13 768	14 043	14 324	14 611	14 903	15 201	15 505	15 815
Сэкономленные сборы за загрязнение воды	0	34 543	34 543	34 543	34 543	34 543	34 543	34 543	34 543	34 543	34 543	34 543	34 543	34 543	34 543	34 543
Прибыль	-230 089	33 309	33 142	32 965	32 778	32 580	32 371	32 150	31 917	31 670	31 410	31 135	30 845	30 539	30 216	29 875
Дисконтированная прибыль (r=5%)	-230 089	31 723	30 061	28 476	26 966	25 527	24 156	22 848	21 602	20 415	19 283	18 204	17 176	16 195	15 261	14 370
Чистый дисконтированный доход	-230 089	-198 366	-168 306	-139 829	-112 863	-87 336	-63 180	-40 332	-18 729	1 686	20 969	39 173	56 348	72 544	87 805	102 175

Таблица 11: Анализ эффективности предложенной системы площадью 12 гектаров (в евро, на основе обменного курса 280 HUF/евро)

6.3. Комбинация интенсивной и экстенсивной аквакультуры для устойчивого использования воды и питательных веществ (Интенсивно-экстенсивная система)

6.3.1. Введение – Общее описание инновации

При разработке экологически приемлемых технологий производства рыбы, интеграция интенсивной аквакультуры с прудовыми системами представляется очевидным решением. Основным принципом данного метода является очистка сточной воды, обогащенной органическими и неорганическими питательными веществами из интенсивных рыбоводных прудов, в экстенсивном пруде. Здесь часть питательных веществ используется различными процессами биологической продукции, а другая часть задерживается в донных отложениях пруда. Обработанная или очищенная вода возвращается в интенсивные рыбоводные пруды. Использование комбинированной системы производства содействует достижению экологической устойчивости и производству товарной рыбы.

Аквакультура на основе перифитона является технологией для увеличения производства естественных кормовых организмов в пруде и их использования для выращивания рыбы. Лучшая утилизация питательных веществ в аквакультурных системах приводит к уменьшению их выпуска в естественные водоемы. В прудах, где имеется субстрат для перифитона, продукция аквакультуры выше, чем в прудах без него. Новообразованная первичная и бентическая вторичная продукция сообществ организмов-обрастателей, сформировавшихся на искусственном субстрате, служат основой для новой трофической цепи, часть которой аккумулируется в биомассе рыб. Пастись на двухмерном слое перифитона является механически более эффективным, чем фильтровать водоросли из трехмерной планктонной среды. Если прудовые водоросли выращивать на субстратах, ими сможет питаться большее количество видов рыб, что приводит к более эффективному использованию первичной продукции. Использование перифитона в экстенсивном пруде, построенном для очистки сточной воды, может также улучшить очищающую способность прудов.

Общей целью настоящего примера «интенсивно-экстенсивной системы» (ИЭС) является помощь рыбоводам, занимающимся традиционным карповодством, в более эффективном использовании своих водных ресурсов через производство ценных видов в водохранилищах или экстенсивных прудах для диверсификации продукции и улучшения экономической эффективности рыбоводства.

Принцип исследований ИЭС включает в себя объединение производственных методов интенсивной и экстенсивной аквакультуры и видов, занимающих различные ниши в трофической сети, в единую интегрированную систему с целью реутилизации неиспользованных питательных веществ. Это приводит к увеличению эффективности использования питательных веществ и снижению их выпуска в окружающую среду; в то же время растет и продукция на единицу потребляемой воды.

Работа направлена на разработку нового метода производства хищных рыб в прудовых системах и улучшение использования питательных веществ в рыбоводстве. Целями инновации ИЭС являются:

1. Увеличение продуктивности;
2. Диверсификация объектов рыбоводства и
3. Повторное использование питательных веществ внутри производственной системы.

Имея перед собой эти цели, научно-исследовательская работа концентрировалась на следующем:

- Оценка возможностей повторного использования питательных веществ в комбинированных системах аквакультуры
- Исследование различных элементов биотехнологии (например, использования перифитона, посадки моллюсков) на дополнительное производство рыбы и качество воды
- Оценка баланса питательных веществ в экспериментальной системе

6.3.2. Принципы данного модуля

Эксперименты ИЭС проводились в трех прудах (площадью по 310 м², глубиной 1 м). Данные пруды служили как экстенсивные блоки, в каждом из которых размещалось по садку (объемом 10 м³) в качестве интенсивного блока (Рисунок 6). Пруды наполнялись природной водой из реки за неделю до зарыбления. Уровень воды поддерживался путем регулярного добавления речной воды. В прудах использовалось по лопастному аэратору (0,5 кВт) для обеспечения достаточной концентрации кислорода и поддержания циркуляции воды между интенсивным и экстенсивным блоками. Медикаменты и химикаты во время эксперимента не использовались.

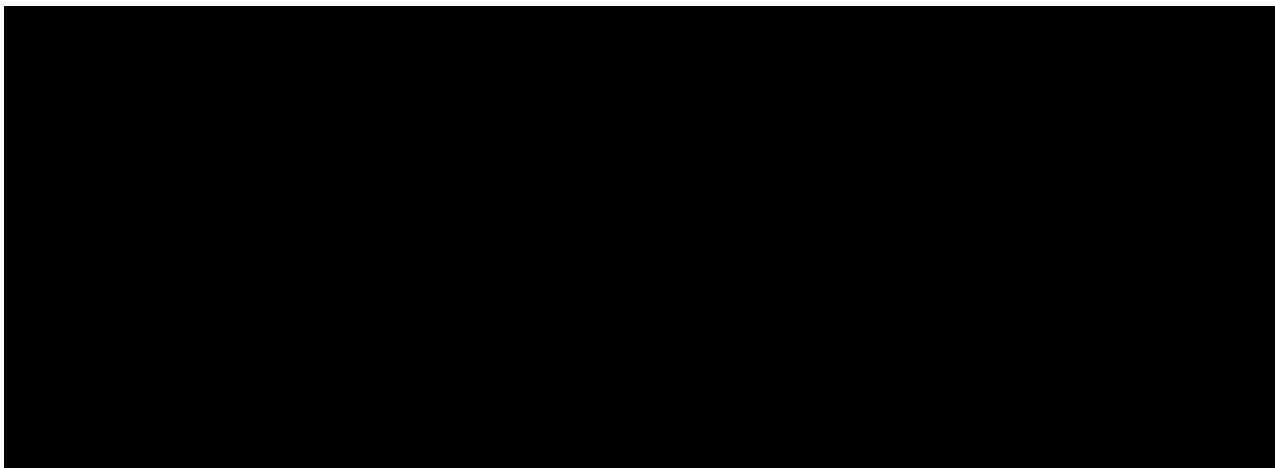


Рисунок 6: Схема экспериментальной системы

Режим кормления и посадки был одинаковым во всех прудах. В интенсивных прудах рыбе ежедневно задавался гранулированный комбикорм (общее содержание белка 45%, соотношение C:N = 6) с использованием автоматических кормушек. В экстенсивных прудах кормления не было. Единственным различием между отдельными системами была планировка экстенсивных прудов, в которых изучалось воздействие использования перифитона и посадки моллюсков на качество воды, выход рыбы и использование питательных веществ. Средний ввод азота с кормами в 2007 и 2008 годах составлял, соответственно, 0,5 и 1,2 г N/м²/сут. (Таблица 12). Единственным источником питательных веществ в системе были комбикорма, используемые в интенсивном блоке. Дополнительная поверхность для развития перифитона равнялась 0, 100 и 200% площади прудов (т.е. 0, 1 и 2 м² перифитона на м² прудовой площади) (Таблица 13).

	Азот		Фосфор		Органический углерод	
	В среднем	Максимум	В среднем	Максимум	В среднем	Максимум
2007	0,51	0,72	0,08	0,12	3,1	4,4
2008	1,2	1,8	0,19	0,28	7,3	10,6

Таблица 12: Суточный ввод питательных веществ с кормами в ИЭС

	IES/1	IES/2	IES/3
Средний ввод азота 0,5 г N/м²/сут. (2007)	Без перифитона	ПП 1 м ² /м ²	ПП 1 м ² /м ² + посадка моллюсков
Средний ввод азота 1,2 г N/м²/сут. (2008)	Без перифитона	ПП 1 м ² /м ²	ПП 2 м ² /м ²

ПП: Поверхность перифитона

Таблица 13: Экспериментальная установка

Работа системы в 2007 году

В интенсивных блоках на гранулированных кормах выращивался европейский сом (*Silurus glanis L.*) с первоначальной биомассой при посадке 100 кг (10 кг/м³), тогда как в экстенсивных блоках происходило выращивание карпа (*Cyprinus carpio L.*) и нильской тилляпии (*Oreochromis niloticus L.*) без искусственного кормления. Их первоначальная биомасса при посадке составляла 30 кг. В третий блок были также добавлены беззубки (*Anodonta cygnea L.*) с плотностью посадки 1 особь на квадратный метр (индивидуальный размер 109±69 г). Моллюски помещались в пластиковые сетчатые мешки, подвешенные в 10 см от дна пруда. В каждом мешке было по 10 моллюсков, всего в IES/3 было 30 мешков. В двух случаях (IES/2 и IES/3) продуктивность экстенсивного блока улучшалась перифитоном, развивающимся на искусственном субстрате, тогда как в контрольном условии (IES/1) дополнительного субстрата не было. В качестве субстрата для роста перифитона использовались ветви ивы. Субстрат из ивы увеличивал эффективную поверхность в каждом пруде приблизительно на 300 м², что, приблизительно, было равно водной площади прудов. Однако поверхность веток в течение эксплуатации постоянно уменьшалась, так что к концу производственного периода она оценивалась только в 70 м². Экспериментальная система была в эксплуатации 22 недели, с 10 мая по 11 октября 2007 года.

Работа системы в 2008 году

Во второй год эксплуатации плотность посадки (20 кг/м^3) интенсивных блоков была удвоена по сравнению с 2007 годом, поэтому средний ввод азота с кормами увеличился до $1,2 \text{ г N/м}^2/\text{сут}$. Для более надежного функционирования интенсивная система была зарыблена африканским сомом (*Clarias gariepinus* L.), как более выносливым видом-моделью, чем европейский сом. Экспериментальная установка IES/3 была изменена в 2008 году: посадки моллюсков не было, тогда как поверхность искусственного субстрата была увеличена до 600 м^2 (2 м^2 поверхности перифитона на м^2 прудовой площади). Причиной удаления моллюсков из экспериментальной установки была их высокая смертность в первом году, из-за которой аккумуляция питательных веществ в их биомассе была ниже, чем ожидалось. Более того, проблема с паразитами, возникшая в экспериментальной системе, стала причиной высокой смертности рыбы в интенсивном блоке. Во второй год эксплуатации вместо ветвей ивы для стимуляции роста перифитона использовался искусственный пластиковый субстрат из-за его неизменной поверхности. Система работала в течение 16 недель, с 21 мая по 10 сентября 2008 года.

Чистый выход рыбы во всей системе (интенсивном и экстенсивном блоке вместе) в обоих годах был наибольшим в тех прудах, где поверхность перифитона составляла 100% прудовой поверхности (Таблица 14).

		IES/1	IES/2	IES/3
2007	Интенсивный блок	3,173	5,747	2,747
	Экстенсивный блок	3,619	2,078	4,044
	Вся система	6,792	7,825	7,083
2008	Интенсивный блок	13,221	12,788	12,811
	Экстенсивный блок	2,789	5,048	2,718
	Вся система	16,010	17,837	15,529

Таблица 14: Чистый выход рыбы в ИЭС (кг/га)

6.3.3. Оценка избранных показателей устойчивости «SustainAqua»

Эффективность использования энергии

Во время эксплуатации для перемешивания и аэрации воды экспериментальных прудов с помощью лопастных аэраторов (мощностью 0,5 кВт) использовалась только электрическая энергия. В суммарном расходе энергии преобладал расход электричества, тогда как потребление топлива составляло лишь 2-3% общей потребности в энергии. Суточный расход энергии в 2007 и 2008 годах составлял, соответственно, 12,2 и 12,4 кВт. Расход энергии при производстве рыбы суммирован в таблице Таблица 15. Удельный расход энергии в 2007 году был намного выше, чем в 2008 году, из-за более низких выходов рыбы в первый год исследования. Дополнительное производство рыбы в экстенсивной системе увеличило эффективность использования энергии в 2007 и 2008 годах на 35% и 21%, соответственно.

		IES/1	IES/2	IES/3
2007	Использованная энергия	1857	1857	1857
	РЭ в интенсивном блоке (кВт.ч/кг)	18,8	10,4	21,6
	РЭ во всей системе (кВт.ч/кг)	8,76	7,61	8,40
2008	Использованная энергия	1384	1384	1384
	РЭ в интенсивном блоке (кВт.ч/кг)	3,35	3,47	3,46
	РЭ во всей системе (кВт.ч/кг)	2,76	2,48	2,85

РЭ - Расход энергии на единицу объема продукции рыбы (кВт.ч/кг чистой продукции рыбы)

Таблица 15: Расход энергии ИЭС (кВт.ч)

Поступление и выпуск воды

Пруды наполнялись пресной водой из близлежащего рукава реки Кёрёш. Испарение и инфильтрация в экстенсивных прудах регулярно компенсировались в течение экспериментального периода (Таблица 16). За период выращивания сточная вода не выпускалась в природу; пруды спускались только во время облова рыб.

		IES/1	IES/2	IES/3
2007	Поступление воды	735	518	848
	Выпуск воды	248	242	225
	ПВ ($\text{м}^3/\text{кг}$ рыбы)	3,5	2,1	3,8
2008	Поступление воды	956	890	850
	Выпуск воды	245	256	260
	ПВ ($\text{м}^3/\text{кг}$ рыбы)	1,9	1,6	1,8

ПВ - Потребление воды при производстве рыбы (поступление воды/кг рыбы)

Таблица 16: Баланс воды ИЭС (м^3)

Использование питательных веществ

Общий ввод (с зарыблением, поступающей водой и кормами для рыб) и выход питательных веществ (с выловленной рыбой и сточной водой) суммированы в Таблица 17. Главным источником питательных веществ были комбикорма для рыб, представляющие собой 80% общего ввода азота, 75% фосфора и 85% углерода. Задержание питательных веществ составило 6 300 кг/га органического

углерода, 1 000 кг/га азота и 180 кг/га фосфора в 2008 году, когда ввод питательных веществ был более высоким, чем в 2007 году. Задержанные питательные вещества составляли 65 и 57% азота, 66 и 58% фосфора и 75 и 64% органического углерода, попавших в систему в 2007 и 2008 годах, соответственно. Комбинированная система была способна переработать 1 400 кг/га азота, происходящего из корма для рыб.

Использование питательных веществ при производстве рыбы в ИЭС, выраженная в процентах от введенных в систему питательных веществ, представлена в Таблица 18. В результате комбинированного производства рыбы использование белка выросло на 26%; с использованием перифитона это соотношение может быть увеличено на 40% в 2008 году. Общее использование питательных веществ при производстве рыбы в обоих годах было наивысшим там, где поверхность перифитона равнялась 100% площади пруда, а в случае наибольшей доли перифитона использование питательных веществ уменьшилось. Это показывает, что доля перифитона, равная 100%, была достаточной для полной утилизации продуктов обмена при норме ввода корма 1,8 г N/м²/сут. Средний КК в интенсивном блоке в 2007 и 2008 годах составил 3,3 и 1,6, соответственно. Комбинированное производство улучшило КК на 51% и 44% (до 1,6 и 0,9) вследствие дополнительной продукции рыбы, полученной в экстенсивном блоке.

		IES/1			IES/2			IES/3		
		N	P	C	N	P	C	N	P	C
2007	Ввод (кг/га)	930	160	5400	930	150	5400	950	160	5500
	Выход (кг/га)	330	55	1200	350	59	1600	310	55	1300
	Задержание (%)	65	65	78	63	67	72	67	65	76
2008	Ввод (кг/га)	1790	310	9700	1800	320	9700	1800	310	9700
	Выход (кг/га)	760	130	3100	840	140	3900	720	130	3200
	Задержание (%)	58	60	67	53	55	59	60	60	67

Таблица 17: Частичный баланс питательных веществ в ИЭС

		ПП 0%			ПП 100%			ПП 100%+М (2007), ПП 200% (2008)		
		N	P	C	N	P	C	N	P	C
2007	Интенсивный блок	8,5	7,8	5,6	17	17	11	6,4	5,6	4,1
	Экстенсивный блок	11	13	7,8	6,5	6,9	4,2	13	17	9,2
	Итого	20	21	13	24	24	16	19	24	13
2008	Интенсивный блок	23	23	16	22	22	15	22	22	15
	Экстенсивный блок	6,1	3,3	4,4	10	8,9	7,3	5,9	3,3	4,2
	Итого	29	26	20	33	31	22	28	25	19

ПП: Поверхность перифитона, М: Моллюски

Таблица 18: Аккумуляция питательных веществ в биомассе рыбы, выраженная в процентах от их количества, введенного с кормами (%)

При производстве 1 кг рыбной биомассы из экспериментальных прудов выпускалось 2,6-8,3 г азота, 0,20-0,53 г фосфора и 9-46 г органического углерода (Таблица 19). Использование перифитона и ввод кормов не влияли на содержание питательных веществ в сбросной воде. Более низкой концентрация азота в вытекающей воде оказалась только в случае пруда, где доля перифитона составляла 200%.

		IES/1			IES/2			IES/3		
		N	P	C	N	P	C	N	P	C
2007		8,3	0,48	9,2	5,1	0,48	30	5,1	0,32	25
2008		4,2	0,20	16	5,8	0,53	46	2,6	0,27	20

Таблица 19: Выпуск питательных веществ при производстве рыбы в ИЭС (г/кг чистого выхода рыбы)

В функционировании водоочистных систем кроме удаления питательных веществ водорослями и их бактериального разложения значительную роль играют также их потребление гетеротрофными организмами и процессы денитрификации. Поэтому регулирование кислородного режима и обеспечение аэробных условий путем искусственной аэрации важны для эффективного удаления питательных веществ во время очистки воды.

Экспериментальная комбинация интенсивного рыбоводного блока и экстенсивного рыбного хозяйства доказали применимость таких систем. Комбинированная система смогла переработать значительную часть лишних питательных веществ интенсивного рыбоводства. Максимальная реутилизация лишних питательных веществ при дополнительном производстве рыбы в пруде составила 13% азота, 17% фосфора и 9% органического углерода.

Перифитон, развивающийся на искусственных субстратах, может улучшить эффективность экстенсивного блока путем обеспечения дополнительного питания для рыб. Содержание сухого вещества в перифитоне было значительно выше в пробах, собранных с верхней части колов, на которых крепился субстрат, чем в пробах, собранных с их нижней части. Сравнивая среднегодовые количества сухого вещества в перифитоне, между двумя прудами не удалось обнаружить значимой разницы. Однако, вследствие более высокого потребления перифитона рыбами, выход рыбы был более высоким в экстенсивном блоке. Наблюдения за количественными и качественными изменениями перифитона могут обеспечить более подробные сведения о функционировании системы, круговороте питательных веществ и энергии в водной экосистеме, а также о возможностях улучшения эффективности системы, которые потом могут использоваться в эксплуатации и дальнейшем развитии технологии.

Исследования по балансу питательных веществ данной системы доказали, что экстенсивный рыбоводный пруд подходящего размера может эффективно очистить сточную воду интенсивного рыбного хозяйства и позволить повторное использование воды для интенсивного производства рыбы.

Продуктивность труда и экономическая устойчивость

На производство рыбы в каждом экспериментальном блоке было потрачено 31,3 и 37,3 человеко-часов. Таким образом, средние затраты труда в 2007 и 2008 годах составляли, соответственно, 0,13-0,15 и 0,07-0,08 часов на килограмм чистого выхода рыбы.

Так как в оба года эксплуатации наилучшие показатели были получены в подсистеме IES/2, можно утверждать, что наилучшую экономическую жизнеспособность дает использование 1 м² искусственной поверхности для перифитона на 1 м² прудовой площади. Результаты показывают, что выращивание африканского сома (2008) экономически более выгодно, чем выращивание европейского сома (2007).

6.3.4. Факторы успеха и ограничивающие факторы

Результаты доказали, что комбинация интенсивных и экстенсивных систем рыбоводства является эффективным средством для снижения экологических загрязнений от интенсивного рыбоводства и увеличения экстенсивного производства рыбы как побочной продукции.

Перифитон, развивающийся на искусственных субстратах, может улучшить эффективность экстенсивного блока. В результате комбинированного производства рыбы использование белка выросла на 26%; с использованием перифитона эта пропорция может быть увеличена на 40%. Сообщества, колонизирующие субстраты, являются основой новой трофической сети, часть которой аккумулируется в биомассе рыб. Качество воды было подходящим для роста рыб.

Как правило, выход рыбы в традиционных прудах равен около 1 т/га, но в комбинированных системах он может вырасти до 20 т/га. Однако выпуск питательных веществ из традиционных рыбоводных прудов является очень низким из-за лучшей эффективности использования питательных веществ.

6.3.5. Выгоды от использования системы

Комбинация интенсивной и экстенсивной аквакультуры использует преимущества как традиционного прудового рыбоводства, так и интенсивных рыбоводных систем. В интенсивной части системы возможно производство ценных хищных видов рыб, тогда как интеграция с экстенсивным прудом как блоком для очистки воды приводит к меньшему выпуску питательных веществ в природу и большему задержанию питательных веществ в биомассе произведенной рыбы. Интенсивное выращивание может происходить в садках или плавучих бассейнах, расположенных в экстенсивных прудах. В интенсивной части системы, в контролируемых условиях и на искусственных кормах, могут выращиваться ценные хищные рыбы. Несъеденный корм и продукты обмена рыб могут использоваться в экстенсивной части для повышения выхода рыбы. Эффективность использования питательных веществ, составляющая около 20-25% в большинстве интенсивных рыбоводных систем, в интегрированных прудовых системах может быть увеличена до 30-35%, вследствие чего в принимающие воды выпускается меньше питательных веществ. Использование

комбинированной интенсивно-экстенсивной прудовой рыбоводной системы может содействовать лучшему использованию водных ресурсов и устойчивости аквакультуры. Результаты приведенного примера доказали, что комбинация интенсивной аквакультуры с экстенсивными рыбоводными прудами улучшает эффективность использования питательных веществ и производства рыбы в комбинированных системах. Важнейшие показатели устойчивости суммированы в Таблица 20.

6.4. От примера до рыбного хозяйства: Проектирование теоретической комбинированной системы

6.4.1. Общая технология

Технология, использованная в ИЭС несложна: отдельный блок для интенсивного производства помещается в традиционном рыбоводном пруде. В качестве интенсивного блока могут использоваться садки или бассейны, функционирующие в тесной взаимосвязи с прудом. Рыбоводный пруд действует в качестве биологического фильтра и очищает отходы интенсивного блока.

Выход рыбы в экстенсивном пруде может быть улучшен путем обеспечения дополнительной поверхности для лучшей продукции перифитона. Наши результаты показывают, что дополнительная продукция рыбы в экстенсивном блоке была наивысшей там, где поверхность для перифитона была равна 100% прудовой площади.

Ключом надежного функционирования системы является равновесие между вводом питательных веществ в интенсивный блок и водоочищающей способностью экстенсивного пруда. Экстенсивный пруд подходящего размера способен поддерживать качество воды, необходимое для производства рыбы, и свести к минимуму выпуск питательных веществ в принимающие естественные водоемы.

Лопастные аэраторы могут содействовать подходящей циркуляции воды между интенсивным и экстенсивным блоками и поддерживать оптимальный уровень кислорода.

Прудовая система функционирует как закрытая система; в период выращивания нет выпуска сточной воды в окружающую среду, вода спускается из прудов только при облове рыбы. Необходимо компенсировать только испарение и инфильтрацию. В постоянно аэрируемой прудовой системе испарение выше, чем в традиционных рыбоводных прудах, ожидаемая годовая норма компенсации воды может составлять до 150% общего объема.

	IES/1	IES/2	IES/3
Расход энергии при производстве рыбы (кВт.ч/кг)			
Интенсивный блок	3,4	3,5	3,5
Вся система	2,8	2,5	2,9
Потребление воды при производстве рыбы (м³/кг)			
Подача воды	1,8	1,6	1,6
Выпуск сточной воды	0,5	0,4	0,5
Выпуск питательных веществ на кг произведенной рыбы (г/кг)			
N	4,2	5,8	2,6
P	0,20	0,53	0,27
C	16	46	20
Реутилизация питательных веществ дополнительно произведенной рыбой (% от введенного количества)			
N	6,0%	10%	5,8%
P	3,2%	8,6%	3,2%
C	4,3%	7,2%	4,1%

Таблица 20: Показатели устойчивости ИЭС в 2008 году

Преимущества	Недостатки
Простая технология с низкими инвестиционными и эксплуатационными расходами	Меньшая возможность контроля условий производства (например, перепадов температуры)
Большая эффективность использования питательных веществ и дополнительные доходы от добавочного производства рыбы	На качество воды, в первую очередь, влияют естественные биологические процессы
Меньший выпуск питательных веществ в естественные водоемы	Ограниченный период роста (в Венгрии от апреля до октября)
Малая потребность в энергии при производстве рыбы	Необходимо решить зимнее хранение рыбы
Меньшее потребление воды по сравнению с другими методами прудового рыбоводства	
Концентрация производства снижает потери от хищников	

Таблица 21: Преимущества и недостатки использования ИЭС

6.4.2. Проектные параметры

Максимальная норма **ввода кормов** в систему составляет 1,8 г N/m²/сут. (что соответствует вводу комбикорма с общим содержанием протеина 11,2 г или 2 кг рыбы в интенсивном блоке).

Рекомендации по **зарыблению**: в экстенсивном пруде рекомендуется поликультура карповых, основанная на карпе как всеядном виде, питающемся на дне, а также видах-фильтраторах (например, тилляпии и белом толстолобике). В случае монокультуры карпа в экстенсивном пруде рекомендуется комбинация различных возрастных групп карпа (годовиков и двухлеток).

Ожидаемый чистый выход рыбы составляет около 18 т/га со стимуляцией продукции перифитона (13 т/га из интенсивного производства и 5 т/га из экстенсивного рыбоводного пруда), и 16 т/га без обеспечения поверхности для перифитона (13 и 3 т/га из интенсивного и экстенсивного производства, соответственно). Рекомендуемая дополнительная поверхность для развития перифитона равна приблизительно 100% площади пруда.

Наши результаты показывают, что развитие перифитона на искусственных субстратах может повысить эффективность экстенсивного блока. В результате комбинированного производства рыбы использование протеина было на 25% выше, чем в одной интенсивной аквакультуре; с обеспечением поверхности для перифитона эта цифра может быть увеличена до 40%.

Потребность производственной системы **в кислороде** выше, чем в традиционных прудовых системах, из-за высоких норм ввода питательных веществ и высокой плотности посадки. Общий коэффициент дыхания сообщества составляет 1,5 г O₂/m²/час, что днем покрывается за счет производства кислорода водорослями, но в темное время суток необходим искусственный ввод кислорода. В нашем эксперименте для поддержания подходящего уровня кислорода и циркуляции воды использовались лопастные аэраторы. Согласно нашим расчетам, 1 кВт энергии достаточен для поддержания уровня кислорода в пруде площадью 1 500-2 000 м² в ночные часы с помощью лопастных аэраторов. Днем – особенно в солнечные часы – главной функцией аэратора является поддержание подходящей циркуляции воды между интенсивной и экстенсивной частями системы и промывание интенсивной части. Перемешивание воды важно для того, чтобы клетки водорослей оставались взвешенными в толще воды, что улучшает первичную продукцию. Подходящая скорость циркуляции воды составляет 5-10 см/сек.

6.4.3. Критические факторы функционирования

Главным риском при эксплуатации является непостоянная эффективность очистки воды вследствие непредсказуемых колебаний биомассы и видового состава фитопланктона в пруде.

Поэтому в данной системе важными практическими факторами являются равномерное **смешивание** водоочистного пруда и поддержание подходящего уровня кислорода для удовлетворения потребности в кислороде рыб, а также процессов нитрификации и разложения.

Критический уровень **кислорода** равен 4 мг/л. Важно также избегать возникновения постоянных анаэробических условий в любой части системы. Концентрации **аммонийного азота** (Total Ammonium Nitrogen, TAN) и **нитритного азота** не должны превышать 0,5 мг/л. Высокие уровни аммиака показывают недостаточную степень нитрификации или чрезмерную нагрузку на систему. В случае высокой концентрации аммиака необходимо снизить нормы кормления и применить интенсивную искусственную аэрацию, пока уровни аммония и нитрита не уменьшатся до приемлемого уровня.

Во избежание аккумуляции питательных веществ в донных отложениях пруда необходимо периодически обеспечивать их минерализацию путем осушения озера. Рекомендуется оставлять пруд сухим в течение зимы. За это время происходит минерализация азота и органического углерода, сухой период также сводит к минимуму появление паразитов и других патогенных организмов.

Нормы кормления должны быть в соответствии с колебаниями температуры, поскольку данная производственная система подвержена таковым.

6.4.4. Проектирование теоретического хозяйства мощностью 80 т/год

Ниже описывается теоретическое рыбное хозяйство с ожидаемой валовой продукцией около 50 т интенсивно выращиваемых хищных рыб и 30 т карпа. Данное хозяйство с ожидаемой прибылью 8 млн. форинтов может считаться малым или семейным хозяйством (Таблица 22).

На основе результатов, полученных за годы эксперимента, и учитывая экономические аспекты, мы предлагаем создать интенсивно-экстенсивную прудовую систему площадью 2,5 га. Система состоит из 2 прудов, каждый из которых содержит 4 садка для интенсивного выращивания хищных рыб (плотность посадки: 20 кг/м³, КК: 1.5). В экстенсивной части прудов рекомендуется содержать карпа без кормления (плотность посадки: 6 т/га) и использовать искусственные субстраты для стимуляции продукции перифитона (10 000 м² субстрата на гектар). Циркуляцию воды будут обеспечивать по 4 лопастных аэратора в каждом пруде (мощностью по 2 кВт).

	Интенсивный блок	Экстенсивный пруд	Вместе
Зарыбление			
всего (т)	16	15	31
на блок	2 т/садок (100 м ²)	7,5 т/пруд (1,25 га)	
на гектар (т/га)	6,4	6	12,4
КК	1,5	-	1,0
потребление корма	51 т	-	51 т
Облов			
всего (т)	50	27,5	77,5
на блок	6,25 т/садок (100 м ²)	15 т/пруд (1,25 га)	
на гектар (т/га)	20	13,75	31
Чистый выход			
всего (т)	34 т	12,5	46,5
на гектар (т/га)	13,6	5	18,6

Таблица 22: Зарыбление и выход на теоретическом хозяйстве

Рассчитанные инвестиционные расходы включают в себя приобретение 3,5 га земли (5 000 евро), постройку 2,5 га прудовых площадей (54 000 евро) с 800 м³ садков (3 000 евро), установление искусственного субстрата для продукции перифитона (4 000 евро) и создание начальных оборотных активов (2 000 евро). Остальные расчеты показаны в нижеследующей таблице. Анализ эффективности предполагает, что цены остаются неизменными. Инвестиция окупается на 4-й год, а ее чистый дисконтированный доход (исходя из ставки дисконтирования 10%) составит 74 000 евро после 10 лет эксплуатации.

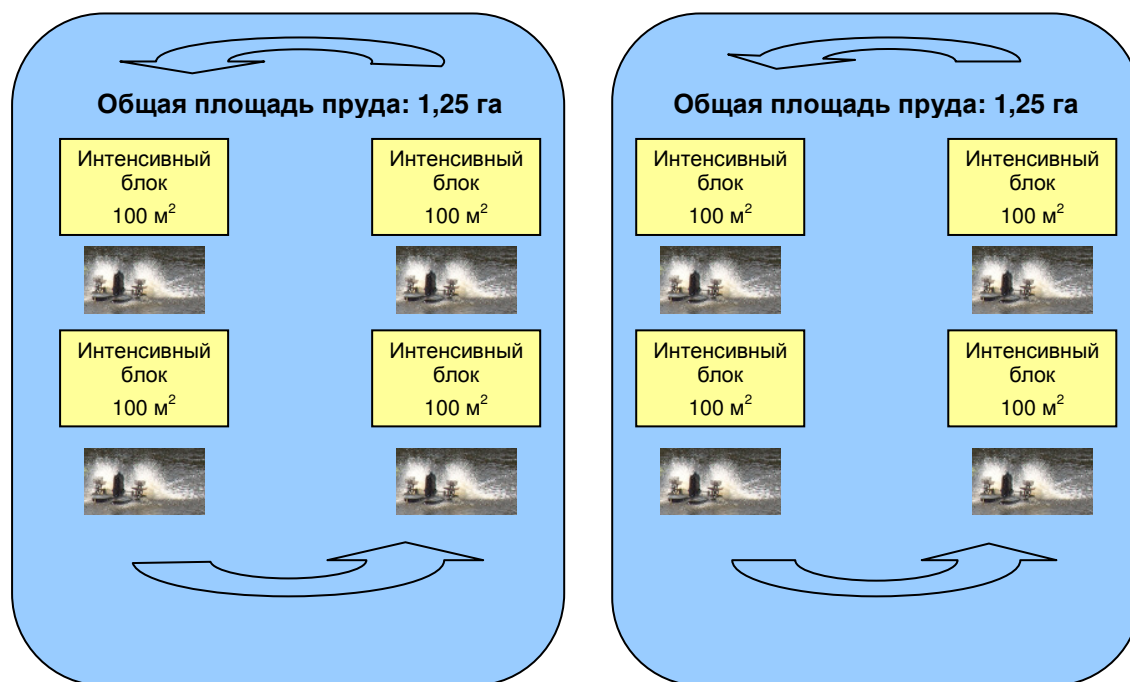


Рисунок 7: Схема теоретического хозяйства

	Год 0	Год 1	Год 2	Год 3	Год 4	Год 5	Год 6	Год 7	Год 8	Год 9	Год 10
Инвестиция	67 857										
Остаточная стоимость после 10 лет											17 857
Стоимость кормов		36 643	36 643	36 643	36 643	36 643	36 643	36 643	36 643	36 643	36 643
Стоимость посадочного материала		62 857	62 857	62 857	62 857	62 857	62 857	62 857	62 857	62 857	62 857
Стоимость труда		7 857	7 857	7 857	7 857	7 857	7 857	7 857	7 857	7 857	7 857
Стоимость энергии и воды		6 714	6 714	6 714	6 714	6 714	6 714	6 714	6 714	6 714	6 714
Суммарная стоимость		114 071	114 071	114 071	114 071	114 071	114 071	114 071	114 071	114 071	114 071
Общий доход		136 071	136 071	136 071	136 071	136 071	136 071	136 071	136 071	136 071	136 071
Денежный поток	-67 857	22 000	22 000	22 000	22 000	22 000	22 000	22 000	22 000	22 000	39 857
Дисконтированный денежный поток (r=10%)	-67 857	20 000	18 182	16 529	15 026	13 660	12 418	11 289	10 263	9 330	15 367
Кумулятивный дисконтированный денежный поток	-67 857	-47 857	-29 675	-13 146	1 880	15 540	27 959	39 248	49 511	58 841	74 208

Таблица 23: Анализ эффективности теоретического хозяйства (в евро; расчеты основаны на курсе обмена 280 HUF/евро)

7. Улучшенная естественная продукция в экстенсивных рыбоводных прудах – Пример Польши

7.1. Новые виды и методы в прудовом рыбоводстве: Модуль «ПОЛИКУЛЬТУРА»

7.1.1. Общее описание системы

Большинство прудовых хозяйств в Польше выращивают карпа в монокультуре. Другие виды рыб, производимые вместе с карпом, имеют малую рыночную ценность из-за ограниченного рыночного спроса. Поэтому слабая диверсификация продукции не позволяет компенсировать экономические потери, вызванные падением спроса на карпа. Кроме того, стада, содержащиеся в монокультуре, отличаются низкой эффективностью использования питательных веществ. Поэтому улучшение рентабельности карповых хозяйств и снижение их воздействий на окружающую среду требуют содержания рыб в поликультуре.

Введение новых видов рыб увеличивает разнообразие продукции прудовых хозяйств и, через обеспечение более востребованных покупателями видов, делает хозяйства более конкурентоспособными в отношении других рыбоводов. Из-за условий прудового выращивания карповых, наиболее целесообразным решением является замена растительноядных рыб и планктофагов. Изучение литературы и практические наблюдения указывают на то, что веслонос (*Polyodon spathula*) может стать одним из возможных выращиваемых видов. Веслонос является осетрообразной рыбой, в природе живущей в медленнотекущих реках умеренного пояса Северной Америки. Веслонос, в отличие от других осетровых, в течение всей своей жизни питается исключительно планктонными организмами и достигает длины 2 м. Он ценится за вкус мяса и икры. Веслонос был импортирован в Польшу в 80-е годы прошлого века, но не стал популярным видом. Он является фильтратором и, из-за своего быстрого роста, может отлично заменить пестрого толстолобика. Присутствие видов-фильтраторов в прудах, помимо экономической пользы, также улучшает динамику питательных веществ и задержание N и P в биомассе рыб, что ведет к снижению их аккумуляции в окружающей среде.

7.1.2. Принципы модуля

Технология, разработанная в модуле «Поликультура», предлагает новые возможности рыбоводам, управляющим прудовыми хозяйствами карпового типа. Предлагаемая технология вместо пестрого толстолобика использует веслоноса в карповой аквакультуре. Описывается состав поголовья, содержащегося в поликультуре, наряду с ожидаемой продукцией и экономическими результатами, а также практические наблюдения в связи с техникой производства веслоноса. Данная технология не требует инвестиционных расходов, кроме приобретения новых стад рыб.

Видовой состав

Стандартные видовые составы рыб, содержащиеся в монокультуре и поликультуре, сравнивались с двумя экспериментальными составами, включающими веслоноса и сибирского осетра. Видовой состав был спланирован таким образом, чтобы в каждый тип питания (рыбы, питающиеся на дне, фильтраторы, растительноядные) входила равная биомасса рыб (Таблица 24). Каждое экспериментальное воздействие (различные видовые составы) осуществлялось в двойной повторности. Пруды зарыблялись в конце апреля, и рыба оставалась в них в течение 5 месяцев.

Пруды

Был проведен эксперимент в опытном масштабе, продолжительностью два сезона, по выращиванию веслоноса в земляных прудах карпового типа. Все эксперименты проводились в одном комплексе опытных земляных прудов, расположенном на юге Польши (49°53' с.ш., 18°45' в.д.). Каждый пруд имеет площадь 1 500 м², их средняя глубина составляет 1 м, поэтому их объем оценивается в 1 500 м³. Пруды могут быть полностью осушены, снабжение водой осуществляется из реки Вислы.

Удобрение

Пруды удобрялись еженедельно с использованием мочевины (46% N) и суперфосфата (20% P). Количество внесенных удобрений составило 147 кг N/га и 25 кг P/га в сезон.

Вид	Монокультура	Поликультура с линем	Поликультура с карпом	Поликультура с осетром
Белый амур (<i>Ctenopharyngodon idella</i>)	-	30 кг/га 500 г	30 кг/га 500 г	30 кг/га 500 г
Белый толстолобик (<i>Hypophthalmichthys molitrix</i>)	-	60 кг/га 500 г	60 кг/га 500 г	60 кг/га 500 г
Пестрый толстолобик (<i>Aristichthys nobilis</i>)	-	72 кг/га 100 г	-	-
Веслонос (<i>Polyodon spathula</i>)	-	-	72 кг/га 500 г	72 кг/га 500 г
Линь (<i>Tinca tinca</i>)	-	45 кг/га 250 г	-	-
Карп (<i>Cyprinus carpio</i>)	150 кг/га 250 г	105 кг/га 250 г	150 кг/га 250 г	-
Сибирский осетр (<i>Acipenser baerii</i>)	-	-	-	150 кг/га 250 г

Таблица 24. Видовые составы, изученные в модуле «Поликультура» (начальная биомасса и средний индивидуальный вес рыб)

7.1.3. Оценка избранных показателей устойчивости «SustainAqua»

Рыбопродуктивность

Из всех экспериментальных воздействий, протестированных в модуле «Поликультура», общий прирост биомассы был наибольшим при видовом составе, содержащем веслоноса и карпа. Результаты представлены в Таблица 25. Прирост биомассы веслоноса был приблизительно на 30% выше, чем у карпа, тогда как прирост биомассы карпа в монокультуре был сопоставим с его приростом в поликультуре с веслоносом. В экспериментальных воздействиях «Поликультура с карпом» и «Поликультура с осетром» большую часть общей продукции рыб дал веслонос (см. Рисунок 8). Причиной низкой продукции карпа в экспериментальном воздействии «Поликультура с линем» была его высокая смертность вследствие вспышки KHV. Однако прирост биомассы пестрого толстолобика в той же установке составил лишь 53% от прироста биомассы веслоноса.

Вид	Монокультура	Поликультура с линем	Поликультура с карпом	Поликультура с осетром
Белый амур	-	85 кг/га; 95 %	100 кг/га; 100 %	91 кг/га; 100 %
Белый толстолобик	-	65 кг/га; 65 %	99 кг/га; 70 %	91 кг/га; 70 %
Пестрый толстолобик	-	280 кг/га; 83 %	-	-
Веслонос	-	-	567 кг/га; 65 %	488 кг/га; 67 %
Линь	-	24 кг/га; 87 %	-	-
Карп	438 кг/га; 95 %	49 кг/га; 37 %	426 кг/га; 65 %	-
Сибирский осетр	-	-	-	102 кг/га; 89%

Таблица 25: Прирост биомассы и выживаемость рыб в модуле «Поликультура»

Оценка ценности прироста биомассы рыб во всех исследованных экспериментальных воздействиях представлена на Рисунок 9. Средние розничные цены в Польше, использованные для расчетов, представлены в Таблица 26. Если данные цены правильны, то ценность произведенного веслоноса (прироста биомассы за один сезон) была приблизительно в три раза выше, чем ценность других видов, выращиваемых вместе с ним в поликультуре.

Веслонос, приобретенный в начале проекта, содержался в экстенсивных условиях в прудах карпового типа без дополнительной подкормки. Рыба питалась исключительно планктоном. Индивидуальная масса тела на 10, 18 и 30 месяце выращивания показана на Рисунок 10.

Вид	Цена (PLN/кг)	Цена (€/кг)
Карп	10,04	2,23
Линь	13,30	2,95
Сибирский осетр	26,87	5,97
Белый толстолобик	8,43	1,87
Пестрый толстолобик	8,43	1,87
Веслонос*	26,87	5,97
Белый амур	9,00	2,00

* ожидаемая цена на основе цен других осетровых (реальных данных нет)

Таблица 26. Средние розничные цены видов рыб, использованных в модуле «Поликультура»

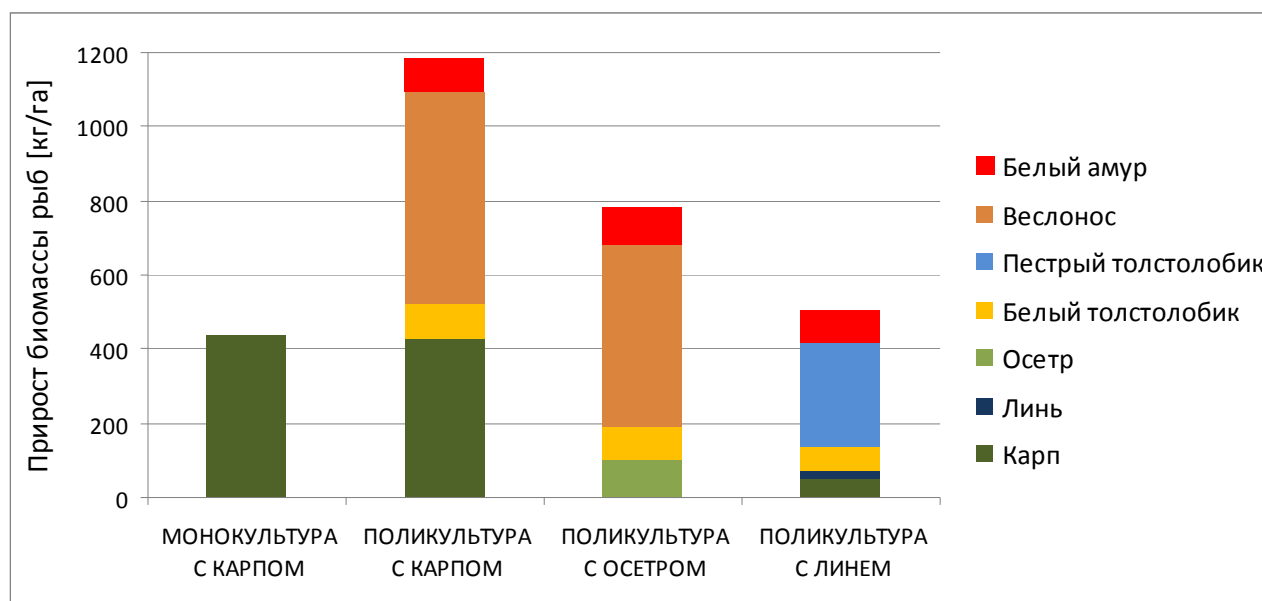


Рисунок 8: Средний прирост биомассы рыб при различных видовых составах

Первичная продукция

Наивысшая средняя чистая первичная продукция планктона (0,349 мг O₂/л·ч) отмечалась в прудах, зарыбленных карпом и веслоносом в поликультуре. Здесь она была на 53% выше, чем в монокультуре карпа. Причиной разницы является изменение состава планктона из-за режима питания веслоноса. Веслонос питается главным образом зоопланктоном. Поэтому его присутствие среди рыб влияет на качественный состав планктона. Селективное потребление зоопланктона способствует росту автотрофных водорослей и, вследствие этого, росту чистой первичной продукции пруда. С другой стороны, в результате менее эффективного взмучивания донных отложений в поликультуре с осетром, первичная продукция здесь была на 24% ниже, чем в поликультуре с карпом (Рисунок 11).

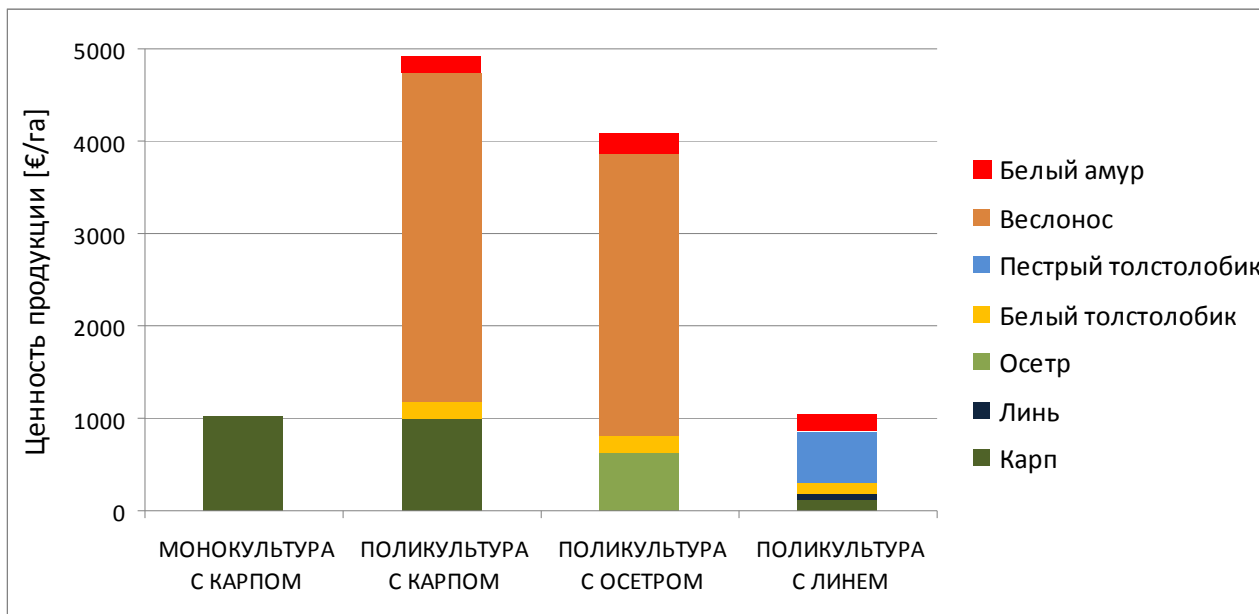


Рисунок 9: Оценочная ценность прироста биомассы за изучаемый сезон

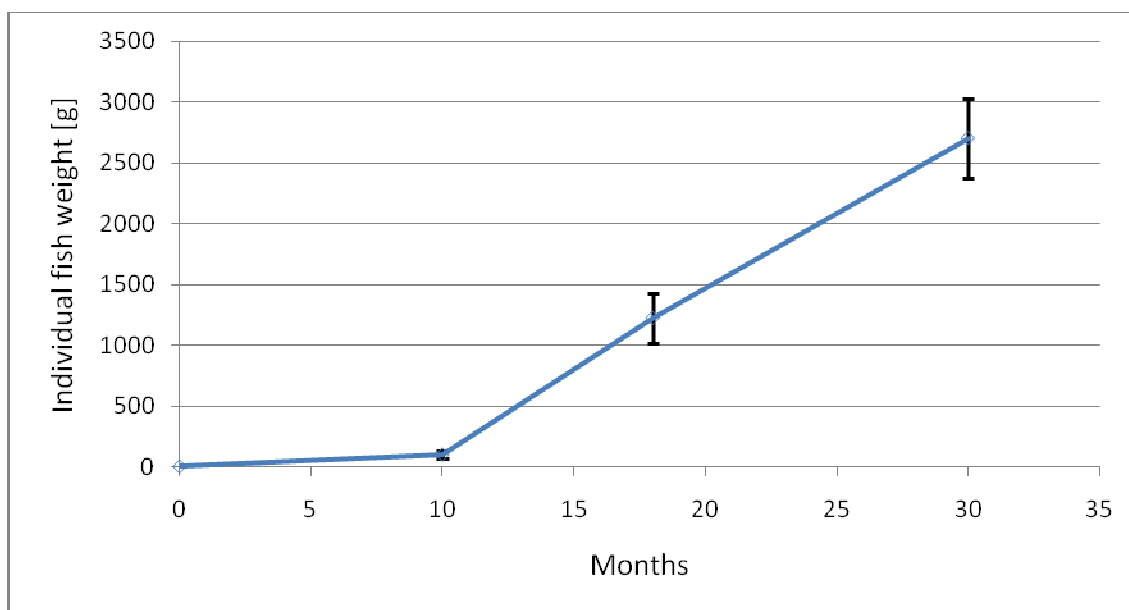


Рисунок 10: Средний (\pm SD) индивидуальный вес веслоноса в три последующих года (Individual fish weight - Индивидуальный вес рыбы; Months - Месяцы)

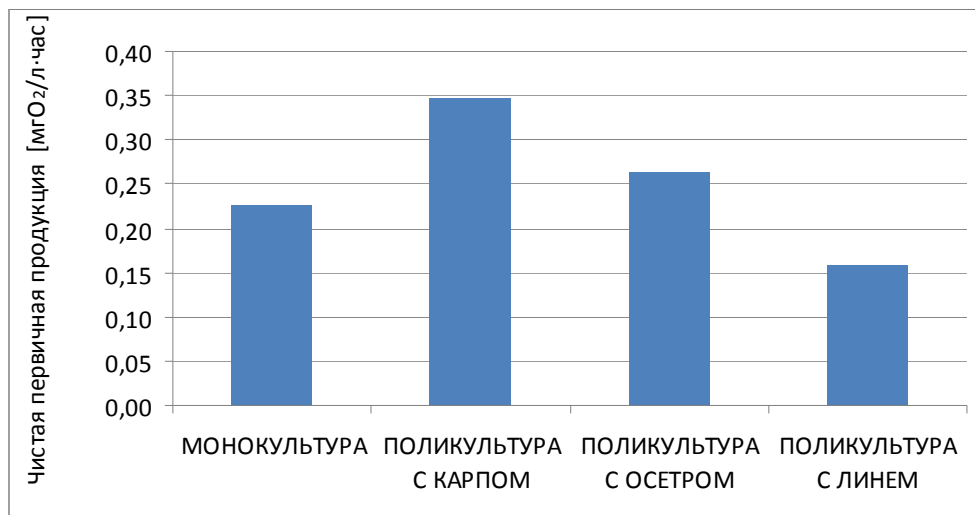


Рисунок 11: Средняя чистая первичная продукция за сезон в прудах с различным видовым составом

Эффективность использования энергии

Потребность прудового рыбоводства в энергии главным образом связана с транспортировкой рыбы и обращением с ней. Потребность в энергии сильно зависит от хозяйства, в частности, от его размера, планировки прудов и использованного оборудования. Эти факторы влияют на потребность в энергии в намного большей мере, чем использованная производственная технология. Поэтому эффективность использования энергии в исследуемой прудовой системе не могла быть рассчитана.

Использование воды

Экстенсивное выращивание карпа подразумевает накопление значительных объемов воды во время весеннего наполнения прудов. Использование (забор) воды, выраженное в литрах на килограмм продукции, в десятки или сотни раз выше, чем в интенсивном рыбоводстве. Однако использованная в прудовых системах вода имеет отношение не только к производству рыбы. Крупные водоемы (прудовые комплексы) являются важными элементами окружающей среды, помогающими задержать воду в данном водосборном бассейне и играющими роль в местном круговороте воды.

Все пруды, использованные в модуле «Поликультура», находились в одном и том же прудовом комплексе недалеко друг от друга, поэтому были подвержены одинаковым климатическим условиям. Во всех экспериментальных установках использовался один и тот же водный режим. Поэтому представленные ниже расчеты относятся ко всему комплексу прудов, а не к отдельным прудам. Отмеченные различия между отдельными установками являются исключительно последствием прироста массы рыб.

Водозабор: л/кг продукции

В наилучшем видовом составе, изученном в модуле «Поликультура», потребность в воде составляла 8,4 м³/кг произведенной рыбы. Это является значительным улучшением по сравнению со стандартной монокультурой, где потребность воды на килограмм продукции может быть в два раза выше (Таблица 27).

	м ³ /кг
МОНОКУЛЬТУРА С КАРПОМ	26,5
ПОЛИКУЛЬТУРА С КАРПОМ	8,4
ПОЛИКУЛЬТУРА С ОСЕТРОМ	15,4
ПОЛИКУЛЬТУРА С ЛИНЕМ	19,9

Таблица 27. Забор воды, выраженный в объеме на единицу массы продукции

Выпуск воды: л/кг продукции

Как правило, выпуск воды из прудовой системы равен объему облавливаемого пруда. Однако в случае дождей во время производственного сезона, если потери от эвапотранспирации и инфильтрации компенсируются, избыток воды составляет часть суммарного выпуска. В таком случае вода, вытекающая из пруда, в своем содержании питательных веществ более походит на прудовую воду, чем на дождевую. В расчетах выпуска воды были использованы общий объем исследованной системы и количество осадков. В зависимости от видового

состава, величины колебались между 13,81 и 43,65 м³/кг сырой продукции (Таблица 28).

Эффективность использования питательных веществ

В исследованном модуле было выявлено четыре основных источника питательных веществ:

- Удобрения (мочевина и суперфосфат) – главный источник N и P, введенных в систему.
- Поступающая вода – речная вода, используемая для наполнения пруда, - содержит питательные вещества с водосборного бассейна данной реки; количество питательных веществ невелико, но игнорировать его нельзя. В расчетах мы использовали объем, необходимый для однократного наполнения пруда.
- Донные отложения – в донных отложениях накоплено большое количество биологически доступных питательных веществ. Они являются важным источником N и, особенно, P, поскольку большая часть минеральных фосфатных удобрений после употребления аккумулируется в отложениях. Однако количественный анализ P и N в донных отложениях модуля «Поликультура» до и после производственного сезона не выявил значительных различий в концентрации. Увеличение количества данных соединений оценивалось в +0,84% и +0,45% в случае N и P, соответственно. Таким образом, увеличение составляет 1,57 кг P/га по сравнению с 26,9 кг P/га, внесенным в форме удобрений, и 19,35 кг N/га по сравнению с 159 кг N/га, внесенным в форме удобрений. Поэтому донные отложения не были приняты во внимание при расчетах.
- Осадки и сток – внешние, неконтролируемые источники питательных веществ. В случае модуля «Поликультура» объем стока был ничтожным по сравнению с осадками. Однако содержание P и N в осадках не анализировалось, поэтому при расчетах они не принимались во внимание.
- Фиксация азота – некоторые сине-зеленые водоросли и бактерии способны преобразовывать молекулярный азот в органические соединения, тем самым обогащая экосистему биологически доступным азотом. Однако значение данного процесса может быть большим в теплых водах, а в исследуемых климатических условиях оно несущественно по сравнению с удобрением. Из-за данной гипотезы фиксация азота не принималась во внимание при расчетах.

При расчетах эффективности использования питательных веществ единственными источниками N и P считались питательные вещества, внесенные с удобрениями, и вода, использованная для наполнения прудов. В наилучшем видовом составе поликультуры эффективность задержания питательных веществ оценивалась в 20,9% и 10,8% для N и P, соответственно (Таблица 29). В случае азота, его фиксация и волатилизация, причиненная денитрификацией, не принимались во внимание.

Единственным внешним источником углерода в прудовой системе была мочевина. Однако количество C, внесенное с удобрениями, а также количество органического C или CO₂, попавших в систему со стоком или водоснабжением, может быть оставлено без внимания. Весь органический углерод, присутствующий в прудовой системе, происходит из первичной продукции. Главным источником органического углерода в биомассе, синтезируемой в пруде, является CO₂, попавший в воду из атмосферы. Метаболические пути органического углерода в прудовой экосистеме комплексны и меняются в течение производственного сезона. Количество органического углерода в водоеме может быть рассчитано (на основе ХПК).

	АЗОТ			ФОСФОР		
	ВВОД	ЗАДЕРЖАНИЕ кг/га	%	ВВОД	ЗАДЕРЖАНИЕ кг/га	%
МОНОКУЛЬТУРА С КАРПОМ	159,1	10,6	6,6	30,9	1,1	3,4
ПОЛИКУЛЬТУРА С КАРПОМ	159,1	33,3	20,9	30,9	3,3	10,8
ПОЛИКУЛЬТУРА С ОСЕТРОМ	159,1	18,1	11,4	30,9	1,8	5,9
ПОЛИКУЛЬТУРА С ЛИНЕМ	159,1	14,0	8,8	30,9	1,4	4,6

Таблица 29. Задержание азота и фосфора в биомассе рыб

Выпуск питательных веществ

Из правильно управляемой прудовой системы за производственный сезон нет выпуска воды, так как потери питательных веществ нежелательны. Это относится и к таким экстенсивным прудам, какие использовались в модуле «Поликультура». За производственный сезон питательные вещества из системы выпускаются только путем инфильтрации. Однако это явление сильно зависит от конкретных условий и составляет только малую часть всех потерь питательных веществ за производственный сезон. Большая часть питательных веществ теряется во время спуска прудов при облове. Объем выпущенных из системы питательных веществ оценивался исходя из предположения, что выпущенное количество равно их концентрации в прудовой воде до облова, помноженной на объем пруда.

Как и в случае забора воды, различия данных, зарегистрированных в отдельных экспериментальных установках, в основном связаны с приростом биомассы. Концентрация питательных веществ в сточной воде играла значительно меньшую роль в различиях. В данном случае оценивалось только количество азота и фосфора (Таблица 30).

	Выпуск питательных веществ	
	кг N/кг продукции	кг P/кг продукции
МОНОКУЛЬТУРА С КАРПОМ	0,39	0,079
ПОЛИКУЛЬТУРА С КАРПОМ	0,1	0,023
ПОЛИКУЛЬТУРА С ОСЕТРОМ	0,22	0,045
ПОЛИКУЛЬТУРА С ЛИНЕМ	0,29	0,059

Таблица 30. Потери питательных веществ со сточной водой на килограмм произведенной рыбы

Увеличение продуктивности на единицу труда

В целом, предложенная технология (введение веслоноса) не меняет техник и оборудования, используемых в производстве рыбы. Однако наблюдения, сделанные при облове экспериментальных прудов модуля «Поликультура», указывают на увеличение объема труда, требуемого при облове, особенно во время сортировки. Облов прудов с поликультурой требовал приблизительно на 10% больше времени или труда, чем прудов с монокультурой. Количество труда сильно зависит от используемых мощностей и оборудования, а также числа и опыта персонала. Размер и количество облавливаемых прудов также играют важную роль.

7.1.4. Факторы успеха и ограничивающие факторы

Основными успехами и результатами опытов, проведенных в модуле «Поликультура», являются:

- Введение веслоноса в карповую поликультуру в прудовом рыбоводстве.
- Веслонос, как замена для пестрого толстолобика в устойчивом, экстенсивном карповом прудовом рыбоводстве, позволяет увеличить прирост биомассы рыб.
- Высокая рыночная ценность веслоноса может увеличить рентабельность хозяйств через снабжение населения высококачественным продуктом.
- Присутствие видов-фильтраторов улучшает динамику питательных веществ в прудах и задержание N и P в биомассе рыб, что снижает их аккумуляцию в окружающей среде.

Несмотря на перспективность производства веслоноса, он имеет и свои недостатки:

- Высокая цена на посадочный материал, составляющая около 8 евро за годовиков (~100 г) (из-за трудностей с воспроизводством).
- Сдерживающие факторы, связанные с техникой производства:
 - Молодь веслоноса является легкой жертвой для птиц, поэтому производственные пруды должны накрываться сеткой
 - При больших плотностях и облове с рыбой надо обращаться с особой осторожностью, так как она очень чувствительна
 - При оценке качества и сортировке предотвращение удушья требует дополнительного пространства и протока воды
- Законодательство ЕС ограничивает введение экзотических видов в аквакультуру, поэтому производство веслоноса в странах ЕС может столкнуться с трудностями. Однако растущий спрос на продукты аквакультуры в ЕС может вынудить развитие технологий, позволяющих производить неаборигенные виды (включая веслоноса) без опасности для окружающей среды.

- Вопросы, связанные с рынком:
 - Веслонос не является видом, признанным на рынке ЕС
 - Неизвестность спроса может стать причиной непостоянных розничных цен
 - Имеется очень мало информации о переработке и качестве продукции.

Вышеперечисленные проблемы требуют дополнительных исследований.

7.1.5. Польза от применения системы

Внедрение веслоноса для замены растительноядных карповых и планктофагов желательно для улучшения рентабельности прудовых хозяйств. Веслонос, из-за своего быстрого роста и высоко ценимых мяса и икры, кажется отличной заменой для пестрого толстолобика. Он дает больший прирост биомассы со значительно большей рыночной ценностью, чем другие фильтраторы. Внедрение данного нового вида должно увеличить разнообразие продукции прудовых хозяйств и, через снабжение рынка рыбой, пользующейся большим спросом у покупателей, позволить им успешно конкурировать с другими рыбоводами.

7.2. Практические рекомендации и выводы из зарыбления поликультурных прудов веслоносом

7.2.1. Интенсивность роста веслоноса

Наблюдения за ростом веслоноса велись в прудах карпового типа. Масса тела и смертность регистрировались в течение 24 месяцев при каждом облове. Начальная средняя масса ~10-месячных рыб составляла около 90 г и за первый сезон выращивания увеличилась до приблизительно 2 700 г. Часть рыб была убита с целью изучения содержания их кишечника до зимовки в 2008 году. В противоположность карпу, кишечник веслоноса был полон веществом планктонного происхождения. Это указывает на более долгий период питания, чем у карпа. Вследствие этого веслонос не теряет веса при зимовке, как карп.

7.2.2. Смертность веслоноса

За 24-месячный период средняя кумулятивная смертность веслоноса достигла почти 50%. Зарегистрированная выживаемость сопоставима с выживаемостью карпа. Однако, поскольку ценность веслоноса выше, чем ценность карпа, его влияние на экономическую эффективность является более значительной. Это может быть одним из важнейших недостатков внедрения веслоноса в прудовую аквакультуру.

Наблюдения при облове, который может считаться частью как производственного сезона, так и зимовки, привели к некоторым практическим выводам, связанным со смертностью веслоноса и направленным на снижение потерь рыбы в реальных производственных условиях:

- Работники, участвующие в облове прудов, чаще всего привыкли обращаться с карпом, являющимся намного более выносливым видом, чем веслонос. Поэтому при обращении с новым видом необходима исключительная осторожность. Это относится как к вылову ручными сетями, так и к оценке качества или сортировке. Персонал должен осознавать особенности нового вида.
- Особого внимания требуют облов и другие ситуации, в которых рыба скапливается в одном месте в больших количествах. При облове рострум веслоноса легко застревает в ячее неводов. Неподвижная рыба может задохнуться. Рекомендуется использовать сети с ячейей подходящего размера.
- Долгое скопление веслоноса в неводе вместе с другими видами может причинить его смерть от удушья. Это особенно важно, если между последующими поставками рыбы есть промежутки.
- После облова прудов рыба содержится в пресной воде с целью прочистить жабры, забитые донными отложениями. Было отмечено, что веслонос приходит в себя намного медленнее, чем карп или пестрый толстолобик. Кроме того, он нуждается в достаточном пространстве для плавания, так как он не использует жаберные крышки для обеспечения протока воды через жабры. Поэтому процесс промывки жабр требует особого внимания.
- Из-за длинного рострума веслонос не помещается в большинство ручных сетей. Поэтому велика вероятность повреждения его рострума или жабр. Рекомендуется использовать ручные сети подходящего размера для предотвращения ран на теле или жабрах.
- Молодь веслоноса является легкой жертвой для рыбадных птиц. Поэтому пруды, зарыбленные веслоносом массой до 300-500 г, нуждаются в защите от птиц в форме сетей или веревок, натянутых над прудом.

7.2.3. Экологическая эффективность

Присутствие видов-фильтраторов улучшает первичную продукцию экосистемы пруда. Благодаря повышенной продуктивности пруда и видовому составу, включающему рыб с несовпадающим спектром питания, общая продукция поликультурной системы увеличилась почти в три раза по сравнению с монокультурой. Влияние различных видовых составов наблюдалось также в гидрохимических и физических показателях воды, связанных с продукцией планктонных организмов: прозрачности воды и концентрации хлорофилла. В то же время, средняя концентрация растворенного кислорода в прудах, зарыбленных в монокультуре, была ниже и колебалась больше, чем наблюдалось в других экспериментальных установках. Присутствие рыб-фильтраторов снижает количество зоопланктона и, таким образом, риск его неконтролируемого роста, приводящего к чрезмерному потреблению автотрофных водорослей, ответственных за уровень кислорода и, соответственно, первичную продукцию.

Пищевое поведение карпа приводит к эффективному взмучиванию донных отложений и, соответственно, лучшему обмену питательных веществ с водой.

Поскольку в системе не производились другие культуры, наблюдаемые различия между экспериментальными установками являются только следствием прироста биомассы рыб. Неиспользованные биогенные соединения в большинстве своем скапливаются в донных отложениях. Позже, при облове, они могут (путем механического взмучивания) быть выпущены со сточной водой из прудов и, наконец, сыграть свою роль в эвтрофикации естественных водоемов. Лучшее использование питательных веществ посредством рыб, выращиваемых в поликультуре, хоть и не устраняет данный феномен, но значительно снижает его значимость.

7.2.4. Экономическая эффективность

Внедрение веслоноса в традиционное прудовое рыбоводство, основанное на карпе, является одной из потенциальных возможностей для улучшения рентабельности карповых хозяйств. Поскольку мясо веслоноса походит на мясо других осетровых, можно предположить, что покупатели его оценят в такой же степени. Кроме того, веслонос, если ему позволить созреть, может обеспечить очень ценную и ценную икру.

Исследованный состав рыб в поликультуре, включающей веслоноса, карпа, белого толстолобика и белого амура, содержащихся без дополнительного кормления в прудах и получающих только сельскохозяйственные удобрения, способен дать прирост биомассы рыб, близкий к приросту всеупотребимых пород карпа, содержащихся в монокультуре и кормленных зерном (пшеницей и кукурузой). Экономия затрат на кормление, вместе с более высокой ценностью произведенной рыбы, дает значительное преимущество по сравнению со стандартным производством в монокультуре.

При определении экономического значения поликультуры необходимо учитывать большой объем труда, особенно связанного с обловом. Из-за необходимости добавочной сортировки выловленной рыбы, требуются дополнительные человеко-часы. Вылов рыбы, обращение с ней, транспортировка и хранение веслоноса могут потребовать дополнительных мощностей или оборудования.

7.2.5. Рекомендованный видовой состав

На основе результатов, полученных при исследованиях, рекомендуется видовой состав рыб, включающий веслоноса. Нижеследующие рекомендации относятся к рыбам, производимым полуинтенсивным путем в земляных прудах карпового типа без добавочного кормления и с фертилизацией прудов сельскохозяйственными удобрениями.

- Могут использоваться различные возрастные группы всех выращиваемых видов, при условии выполнения некоторых основных требований.
- Эффективное взмучивание донных отложений, обеспечивающее подходящий круговорот питательных веществ в толще воды, требует того, чтобы биомасса видов, питающихся на дне, и их индивидуальный вес были достаточно высоки. Поэтому в видовом составе рыб карпу отдается предпочтение только во втором и третьем сезонах производства.
- Плотность посадки должна быть рассчитана на основе планируемого ввода удобрений и плодородия данного пруда. Оценочный прирост биомассы карпа в пруде, удобренном 40 кг P/га и 240 кг N/га в сезон, является 450 кг/га.

- Плотность посадки и индивидуальный вес должны быть рассчитаны согласно желаемому конечному индивидуальному весу. Подобные правила, включая правила о возрастных группах, относятся также к другим карповым.
- После второго и третьего сезонов производства, можно ожидать прироста биомассы около 600 кг/га и индивидуального веса 1750 и 3500 г., соответственно.

Вид	Оценочный прирост биомассы	Желаемый конечный индивидуальный вес	Начальный вес	Плотность посадки
	[кг/га]	[кг/шт.]	[кг/шт.]	[шт./га]
Карп	400	0,3	0,05	1 600
	400	1,2	0,2	400
Веслонос	600	1	0,1	667
	600	2	1	600
	600	3	2	600
Белый толстолобик	70	1,5	0,5	70
	70	0,5	0,1	175
Белый амур	100	1,5	0,5	100
	100	0,5	0,1	250

Таблица 31. Пример планировки плотности посадки рыб

Плотность посадки веслоноса, представленная в таблице Таблица 31, была рассчитана только на основе его скорости роста, зарегистрированной во время проведенного эксперимента. Данные величины не показывают максимальной скорости роста веслоноса в производственных условиях.

На основе этих рекомендаций, пример планировки видового состава представлен в таблице Таблица 31.

7.2.6. Основные ограничивающие факторы введения веслоноса

Хотя у введения веслоноса есть много положительных аспектов, есть также и отрицательные:

- В настоящее время в Польше нет коммерческого воспроизводства веслоноса. Весь имеющийся посадочный материал импортируется в форме оплодотворенной икры или мальков. Это является основной причиной высокой стоимости посадочного материала. Цена колеблется около 8 € за 100 г рыбы. Однако в некоторых польских хозяйствах отмечались успехи в воспроизводстве. Как только удастся коммерческое воспроизводство веслоноса, цены значительно упадут. Внутри ЕС, успешное воспроизводство веслоноса уже отмечалось в Чехии и Румынии.
- Ограничения, связанные с техникой производства: Введение новых видов требует новых техник, связанных, главным образом, с обращением с рыбой и обучением работников. Основные рекомендации перечислены в предыдущих главах.
- Веслонос является экзотическим (неаборигенным) видом в Европе. Законодательство ЕС ограничивает введение новых объектов в аквакультуру. Поэтому производство веслоноса в различных странах ЕС может столкнуться с проблемами. Однако директива ЕС дает государствам-членам некоторую свободу в ее принятии. Важным является и тот факт, что другие виды рыб, производимые в Польше и других государствах-членах ЕС, также являются неаборигенными согласно данной директиве. Из видов, используемых в модуле «Поликультура», аборигенным является только линь. Растущий спрос на продукты аквакультуры в ЕС может вынудить развитие технологий, позволяющих производить неаборигенные виды (включая веслоноса) без вреда для окружающей среды.
- Есть некоторые вопросы, связанные с рынком. Веслонос является видом, непризнанным на рыбном рынке ЕС. Это особенно относится к Польше, но не только к ней. Длинный роstrum делает веслоноса интересным для некоторых людей, но не является практичным с точки зрения его домашнего убоя или приготовления. Реализация живой или только потрошенной рыбы не кажется оптимальным решением из-за внешнего вида рыбы. Общее отношение к веслоносу может снизить спрос на него и его ценность. Тем не менее, можно ожидать небольшой, но постоянный спрос на целую рыбу.
- Розничная цена сильно зависит от цены посадочного материала и отношения потребителей к веслоносу. Однако, из-за схожего качества мяса, ожидается цена, близкая к другим осетровым.
- Большая часть веслоноса должна поступать в продажу в переработанном виде, однако, из-за его непривычной формы, можно ожидать некоторые технические трудности. О переработке веслоноса и качестве конечной продукции либо нет информации, либо ее очень мало. Также нет информации о его сроке годности и предпочтениях потребителей.
- Растущее внимание потребителей к вопросам физического благополучия рыб является важной

проблемой. Каждый вид имеет особые экологические потребности. Несмотря на то, что во время эксперимента скорость роста веслоноса была очень хорошей, рыбоводные пруды не являются его исконными местами обитания. Существует потенциальная опасность, что экологические условия карповых прудов являются субоптимальными для веслоноса. То же самое относится к обращению с веслоносом и его транспортировке. Данный вопрос требует дальнейших исследований.

7.3. Использование сельскохозяйственных отходов в прудовом рыбоводстве в качестве питательных веществ: Модуль «КАСКАД» в Польше

7.3.1. Общее описание приведенного примера

Растущая специализация сельского хозяйства в Центральной Европе приводит к возникновению монокультурных животноводческих хозяйств, неспособных к использованию лишних питательных веществ. Поэтому, из-за законодательных и технических ограничений, удаление или местное использование навоза становится проблемой. Соответственно, существует большая потребность в дешевых, устойчивых, экологически приемлемых средствах, позволяющих использовать навоз. Рыбоводный пруд является экосистемой, состоящей из сильно различающихся мест обитания, в которой происходит большое количество биохимических процессов, поддерживаемых процессами питания рыб. Это позволяет преобразование органических веществ в соединения, которые, попав в пищевую сеть прудов, стимулируют первичную продукцию и, в конечном счете, рост биомассы рыб. Источником энергии и питательных веществ может быть жидкий навоз с животноводческих хозяйств. Интеграция животноводческого хозяйства с рыбоводными прудами, как его составными элементами, представляет собой важный шаг к достижению широко пропагандируемого и желаемого интегрированного сельского хозяйства. Использование ресурсов, созданных хозяйством, на том же хозяйстве является важным элементом устойчивости.

Предложенное решение может применяться, главным образом, малыми животноводческими хозяйствами, занимающимися экологическим производством или желающими повысить свою устойчивость. Проточная система, построенная на рыбоводных прудах и снабжаемая пресной водой, использует большое количество азота, фосфора и органического вещества. Значительная часть этих соединений задерживается в системе или преобразовывается в газы. Общее количество питательных веществ, выпускаемое с хозяйства в течение сезона, является более низким, чем их ввод. Помимо экологической пользы, производство рыбы может обеспечить дополнительный доход.

7.3.2. Принципы модуля

Модуль основан на системе, состоящей из четырех последовательно соединенных прудов, снабженных пресной водой, осуществляющей транспорт питательных веществ. Единственным искусственным источником питательных веществ и энергии являются жидкий навоз и поступающая вода. Данные вещества, в зависимости от их формы (минеральная или органическая) отвечают за развитие биомассы в соответствующей части каскада. Каждая часть прудовой системы использует внесенные питательные вещества через различные экологические процессы.

Проточная система была построена на основе прудов карпового типа. Экспериментальная установка состояла из двух одинаковых земляных прудов, последовательно соединенных трубой (длина 35 м, $\varnothing_{\text{ВНУТР}} = 15$ см) (общая площадь 0,3 га). Каждый пруд был поделен на две части сеткой (3х3 см), в результате чего получилось четыре блока (см. рисунок 12). Каждый блок имел свою собственную функцию в построенной каскадной системе (см. Таблица 32).

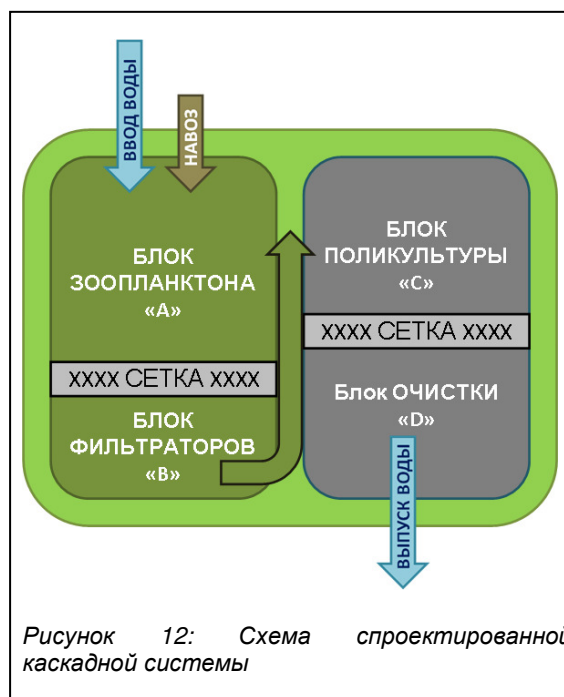


Рисунок 12: Схема спроектированной каскадной системы

Часть системы	Описание
А Блок зоопланктона	<ul style="list-style-type: none"> • Блок снабжается навозом • Органические вещества из навоза являются основным источником энергии для развития зоопланктона и бактериопланктона • Зарыбления нет • 33% общей площади системы
В Блок фильтраторов	<ul style="list-style-type: none"> • Зарыблен фильтраторами для использования планктона, произведенного в блоке А • 17% общей площади каскада
С Блок поликультуры	<ul style="list-style-type: none"> • Зарыблен поликультурой карпа, пестрого и белого толстолобиков и белого амура • Рыбы используют питательные вещества и планктон, произведенные в блоке А • 25% общей площади каскада
Д Блок седиментации	<ul style="list-style-type: none"> • Функционирует как отстойник для взвешенных твердых веществ из блока С • 25% общей площади каскада

Таблица 32: Роль отдельных блоков в каскадной системе

Пруд снабжался пресной водой со средней проточностью 4,23 л/с·га (15,3 м³/час·га). Жидкий коровий навоз вводился раз в две недели в блок зоопланктона, рядом с местом подачи воды. За весь сезон в систему было внесено 25 м³/га (7,5 м³ на каскад), что было равно 571 кг_{св}/га. Количество питательных веществ, внесенных в каскад за сезон производства, показан в Таблица 33.

Элемент	Источник		Всего [кг/га]
	Навоз [кг/га]	Вода [кг/га]	
С	402,5	144,3	546,8
N	39,7	78,2	117,8
P	16,3	1,1	17,4

Таблица 33: Питательные вещества, внесенные в каскад с навозом и поступающей водой

Основные свойства навоза, использованного в экспериментах

Для эффективного преобразования питательных веществ и энергии в биомассу живых организмов необходим источник органического вещества, легко разлагаемого микроорганизмами. Различные виды животного навоза столетиями используются в рыбоводстве в качестве источника питательных веществ, вследствие ряда причин: (1) они относительно недороги, (2) доступны на хозяйстве, и (3) подходят для самых различных рыб в поликультуре. В последнее время использование навоза на землях ограничивается национальным правом. Большинство рыболовных прудов в Польше расположено в сельских районах с большим поголовьем сельскохозяйственных животных, где главным типом сельскохозяйственных отходов является жидкий навоз, который может стать большой неприятностью, если его не использовать. Жидкий коровий или свиной навоз кажется подходящим для использования в прудовом рыбоводстве в качестве источника энергии и питательных веществ для зоопланктона.

Общий состав видов навоза, выбранных для опытов в модуле «Каскад», представлен в Таблица 34. Однако состав и качество жидкого навоза может меняться за производственный сезон в зависимости от данного вида, его размера и возраста, потребления корма и воды и экологических факторов. Поэтому необходимо часто анализировать внесенный навоз за все время его использования.

7.3.3. Оценка избранных показателей устойчивости «SustainAqua»

Модуль «Каскад» изучался в течение двух последовательных сезонов. Однако предварительный анализ данных в 2007 году показал низкую эффективность исследуемой системы. Поэтому в 2008 году установка была изменена. Каскадная система в обоих сезонах была осуществлена в двойной повторности, чтобы обеспечить подходящее качество полученных данных.

Производственный сезон был разделен на пять периодов (по четыре недели), начиная с 12 мая. Навоз вносился в систему только в первые четыре периода. Световой режим и снижение температуры в последний период не позволили ввести дополнительные органические вещества, которые могли бы привести к недостатку кислорода.

Водозабор: л/кг продукции

Поступающая вода предназначалась только для транспортировки питательных веществ по каскаду и не была ресурсом, необходимым для производства рыбы. Однако количество воды, требуемой для производства рыбы, может все же быть рассчитано. Данный объем оценивается в 66,9 м³/кг.

Выпуск воды: л/кг продукции

Вышеуказанный принцип относится также к расчету выпуска воды. Разница между водозабором и выпуском воды является следствием инфильтрации, эвапотранспирации и осадков. Выпуск воды из системы оценивается в 44,07 м³ на килограмм рыбы.

Эффективность использования энергии

Исследованная система не потребляет энергии для поддержания каскада. Энергия используется только при транспортировке рыбы до и после производственного сезона. Дальнейшая потребность в энергии имеет отношение к уходу за мощностями хозяйства. В случае, если вода не может поступать в систему самотеком, требуется ее циркуляция по каскаду с помощью насосов. В таком случае, потребность в энергии, необходимой для повторного использования воды, может представлять значительную графу расходов по эксплуатации модуля.

Производство рыбы

В принципе, система спроектирована для использования отходов питательных веществ. Производство рыбы в каскаде является дополнительной, хоть и важной, деятельностью. Система способна производить значительную биомассу рыб. Несмотря на большое количество переменных величин, общая продукция рыбы может быть оценена в 380 кг/га. На рисунке 13 представлен видовой состав общей продукции (прирост биомассы за сезон) по видам рыб.

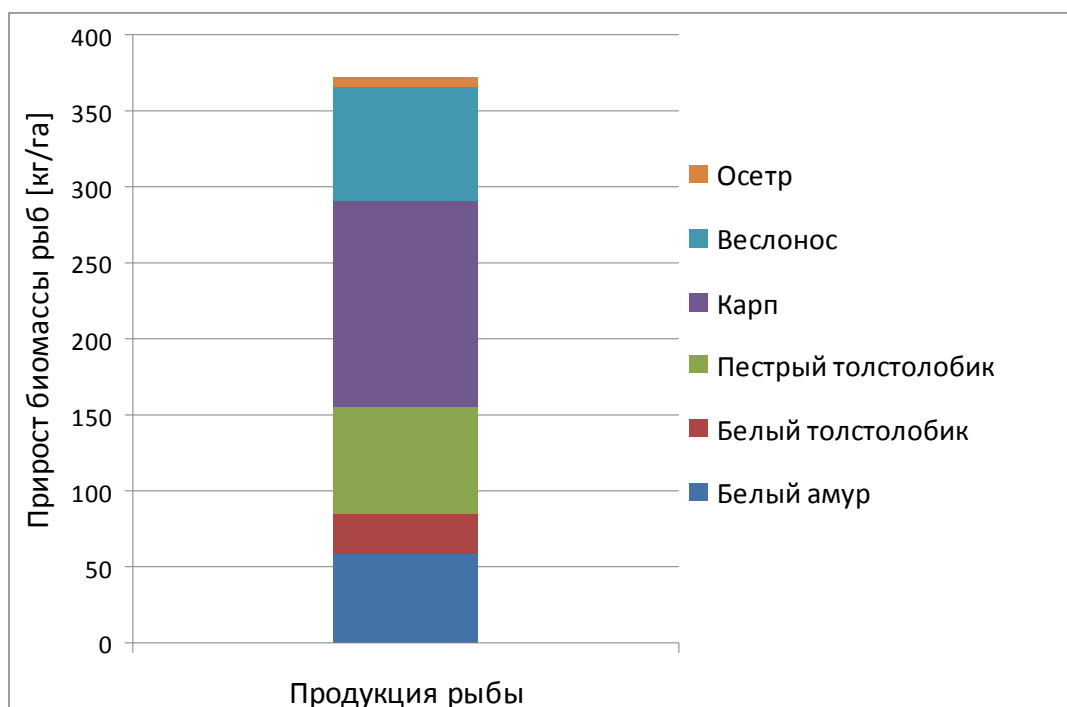


Рисунок 13: Прирост биомассы рыб, полученный в исследованном модуле

Эффективность использования питательных веществ: кг питательных веществ (N, P, ХПК), задержанных в продукте/кг выпуска питательных веществ [%]

Главной целью каскада было задержание внесенных питательных веществ. При расчетах учитывались два основных источника азота, фосфора и органического углерода:

- Поступающая пресная вода – система постоянно снабжалась водой из реки. За исследованный период (20 недель) поступающая в систему вода принесла с собой значительное количество питательных веществ. Всего за 20 недель с водой в систему попало 424 кг С/га (органического С), 39,7 кг N/га и 16,3 кг P/га.

- Ввод навоза – раз в две недели в систему вводился навоз, который был главным источником азота. Всего за 20 недель с навозом было внесено 78,1 кг N/га и 1,1 кг P/га на гектар каскада.
- Фиксация азота – как и в модуле «Поликультура», этот источник N не учитывался при расчетах.

Из-за основной функции модуля «Каскад», задержание питательных веществ является одинаково важным как в биомассе рыб, так и во всей каскадной системе. В случае задержания питательных веществ в рыбах, во внимание принимался только азот и фосфор. Хотя внесенный навоз является значительным источником органического углерода, неизвестно, какую долю прироста рыб можно приписать зоо- или бактериопланктону, выросшему на данном веществе. Большая часть органического вещества, попадающего в биомассу рыб, происходит из первичной продукции. Объем азота и фосфора в биомассе выловленных рыб был сопоставлен с общим вводом данных элементов. Задержание азота и фосфора в биомассе рыб было только рассчитано (Таблица 35).

	Ввод [кг/га-сезон]			Задержание	
	Вода	Навоз	ИТОГО	кг/га	%
Азот	39,7	78,1	117,8	10,4	8,8
Фосфор	16,3	1,1	17,4	1,0	5,8

Таблица 35. Эффективность использования питательных веществ рыбами в модуле «Каскад»

За сезон производства система каскада задержала большое количество питательных веществ. Величина всех показателей была меньше на выходе из системы, чем на входе. Ниже представлены количества органического углерода, азота и фосфора, попадающие в систему и покидающие ее, по четырехнедельным периодам (I-IV), на которые был разбит сезон (всего 16 недель).

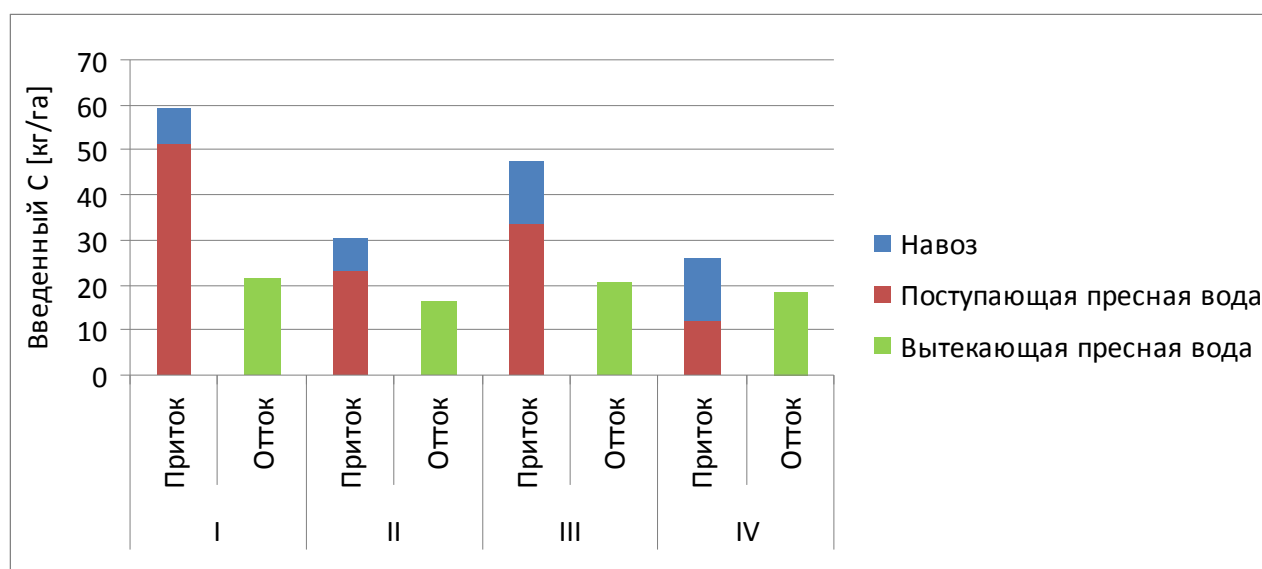


Рисунок 14: Количество органического углерода, введенного в каскадную систему и покидающего ее

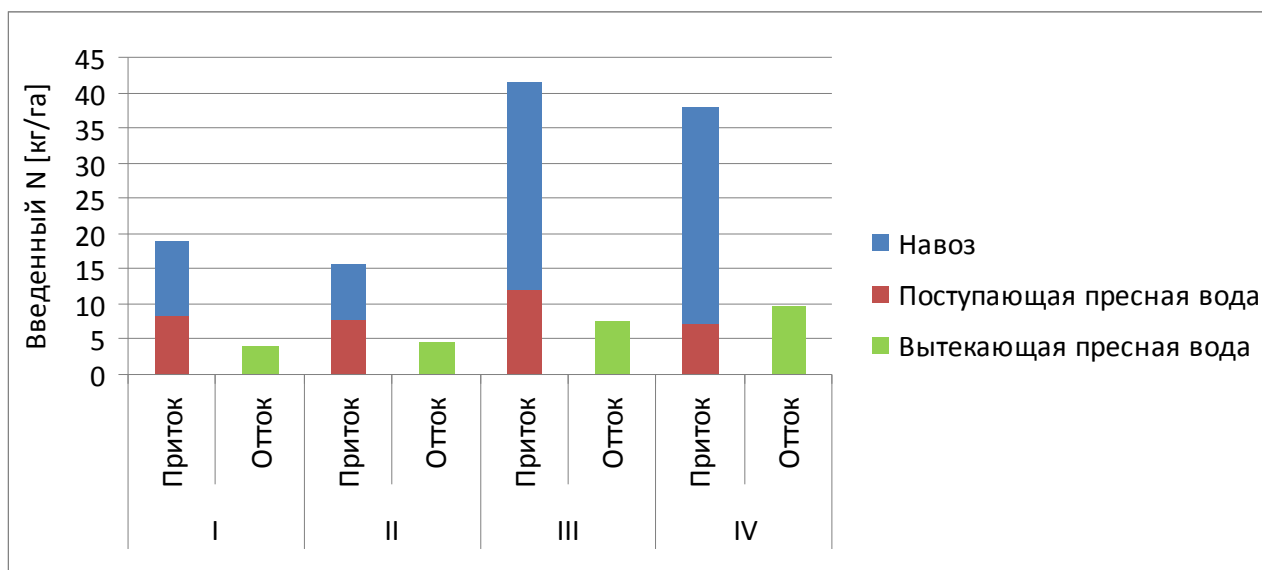


Рисунок 15: Количество азота, введенного в каскадную систему и покидающего ее

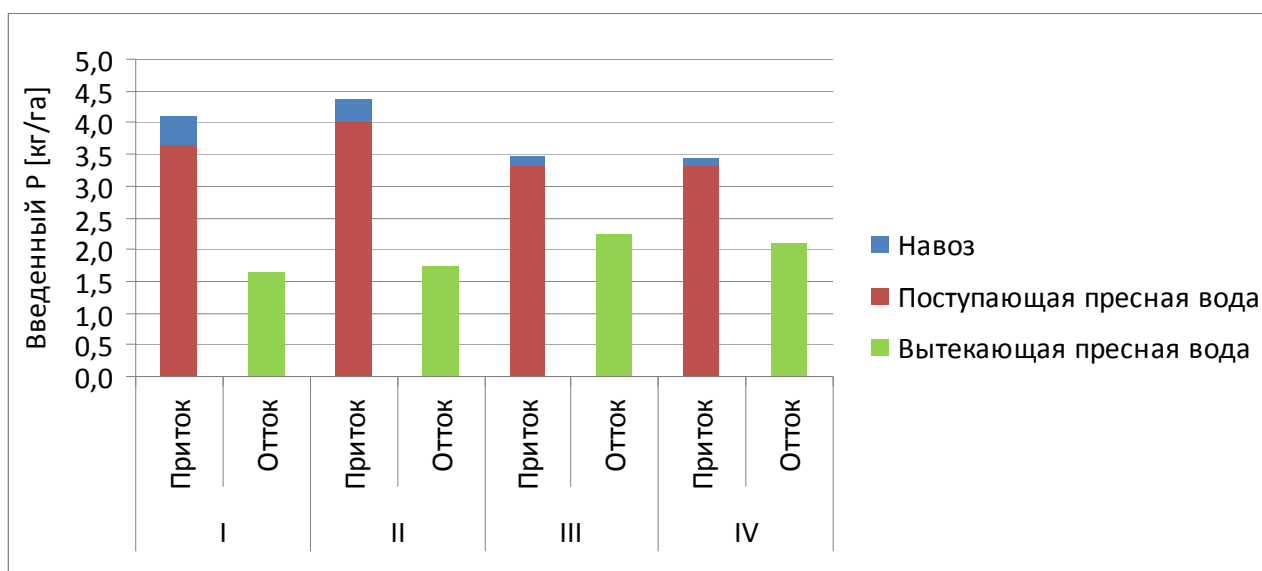


Рисунок 16: Количество фосфора, введенного в каскадную систему и покидающего ее

Задержание питательных веществ было высчитано из разницы общего количества питательных веществ, внесенных в систему (с водоснабжением и навозом) и выпуска питательных веществ в течение сезона, определенного на основе их концентраций в вытекающей из системы воде. Результаты представлены в Таблица 36.

Выпуск питательных веществ

Каскадная система постоянно снабжалась водой.

Поэтому, несмотря на высокую степень задержания N, общий выпуск питательных веществ был высок и достигал 0,125 кг N и 0,018 кг P на килограмм произведенной рыбы.

Повторное использование питательных веществ для кормления рыб: кг питательных веществ, задержанных во вторичных продуктах на кг питательных веществ, внесенных в систему [%]

В исследованном модуле была предпринята попытка к выращиванию дополнительных растительных культур. Однако, по техническим причинам, эксперимент не удался. Особенности использованного пруда благоприятствовали развитию нежелаемых видов растений вместо желаемых. Несмотря на

Элемент	Нагрузка	Задержание	
	[кг/га]	кг/га	%
C	571,61	291,44	50,99
N	117,85	88,72	75,28
P	17,33	8,64	49,86

Таблица 36: Задержание C, N и P, внесенных в каскадную систему с водой и навозом

это, производство потенциально полезных растений, которые могут быть использованы на месте, возможно. Может рассматриваться выращивание водяного папоротника *Azolla* как пищи для растительноядных рыб и альтернативного источника азота.

Увеличение продуктивности на единицу труда

Внедрение каскадной системы требует дополнительного труда, связанного с уходом за системой (включая облов). Система не улучшает соотношение продуктивности и труда.

7.3.4. Факторы успеха и ограничивающие факторы

Исследования, проведенные в рамках модуля «Каскад», привели к разработке экологически приемлемой технологии, использующей органические отходы, происходящие из других отраслей сельского хозяйства (скотоводческих и свиноводческих хозяйств).

Главными ограничивающими факторами данной системы являются следующие:

- Потребность в воде – система требует значительные объемы воды, обеспечивающей движение питательных веществ по каскаду. Забор воды и ее выпуск в естественные водоемы могут быть ограничены в некоторых странах, особенно в тех случаях, когда принимается во внимание только выпуск питательных веществ с водой, а не разница между концентрациями во входящей и выходящей воде.
- Подходящее функционирование спроектированной системы ограничивается приблизительно 7 месяцами от весны до осени, когда температура воды и солнечное излучение достаточно велики для поддержания биологических процессов на достаточном уровне.

7.3.5. Польза от применения системы

- Прудовой каскад может действовать как многофункциональный сегмент интегрированного животноводческого хозяйства.
- Система создает возможности для уменьшения расходов по утилизации сточных вод путем их задержания в контролируемой экосистеме прудового каскада.
- Предложенная технология снижает воздействия хозяйства на природную среду.
- Спроектированная система позволяет экстенсивное производство рыбы с использованием отходов питательных веществ.
- Рыба, выращенная на естественной пище, может иметь более высокую питательную ценность и быть более приемлемой для потребителей (см. главу 5).
- Кроме утилитарных преимуществ каскада, постройка прудовой системы, или даже просто уход за ней, обогащает природную среду на разных уровнях, таких как биологическое разнообразие, уровень подземных вод или задержание дополнительной воды. Владение прудами может дать фермеру право на получение европейских или национальных субсидий в связи с экологической ценностью данных прудов. Пруды, будучи каскадной системой, могут также использоваться в целях спортивного рыболовства, что приносит дополнительный доход.

7.4. От примера до рыбного хозяйства: Проектирование каскадного модуля

7.4.1. Целевая группа и основные технологические требования

Предложенное решение предназначено главным образом для малых животноводческих хозяйств, ведущих экологическое производство и/или желающих повысить свою устойчивость и имеющих возможность сотрудничать с прудовыми рыбными хозяйствами. Предпочтение должно отдаваться скотоводческим и/или свиноводческим хозяйствам, собирающим и ферментирующим свой навоз.

Хозяйство, желающее применить данную технологию, должно иметь пруды или быть способным построить прудовую систему и обеспечить ее водоснабжение. Потребность системы в земле высока, поскольку она требует около 1 га прудовой площади на каждые 150 кг органического углерода, полученного из навоза. В то же время для системы необходим проток воды, позволяющий поддерживать время гидравлического задержания на уровне около 45 дней.

7.4.2. Проектные параметры каскада

- Исследованная система была спроектирована с целью объединить преимущества прудового рыбоводства и потребность животноводческих хозяйств в утилизации лишнего навоза.
- Модуль основан на системе из четырех прудов, соединенных последовательно и снабженных пресной водой, обеспечивающей транспорт питательных веществ.
- Единственными источниками питательных и органических веществ являются жидкий навоз и поступающая в систему вода. Данные вещества, в зависимости от их формы (минеральной или органической), ответственны за развитие биомассы в соответствующих частях каскада.
- Каждая часть прудовой системы ответственна за различные процессы, ведущие к использованию отходов питательных веществ на различных трофических уровнях.
- Развитие биомассы планктона в соответствующих частях каскада позволяет производство биомассы рыб, что может стать дополнительным источником доходов.

Для оптимальной эффективности, каскадная система должна состоять из четырех блоков с различной площадью и различной ролью в системе. Относительные площади всех блоков, указанные здесь, должны соблюдаться. Разрешены лишь небольшие отклонения. Относительно размеров отдельных блоков нет особых ограничений, хотя предпочтительной

является продолговатая форма, поддерживающая течение воды в системе. Система может состоять из двух или трех прудов, но первые два блока должны находиться в одном пруде и быть отделены

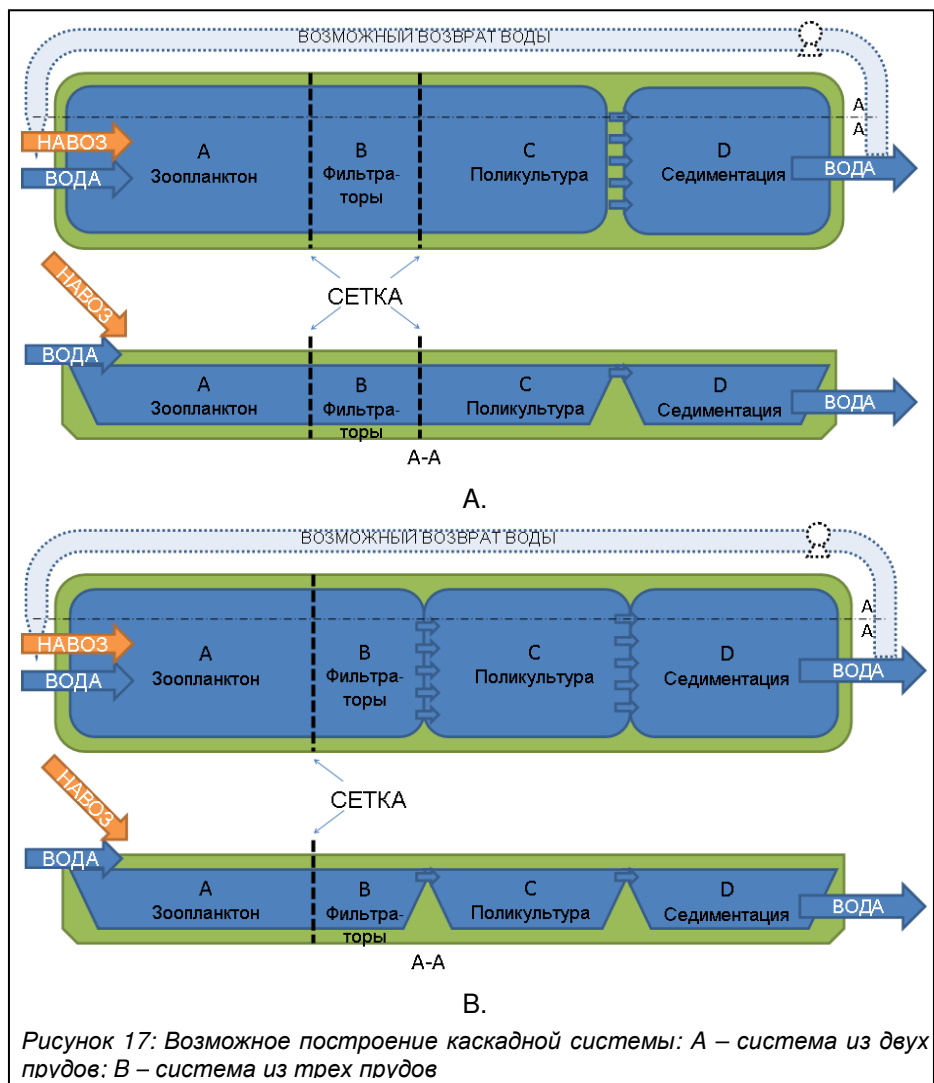


Рисунок 17: Возможное построение каскадной системы: А – система из двух прудов; В – система из трех прудов

друг от друга сеткой, пропускающей только зоопланктон. Предложенное построение каскада представлено на Рисунок 17. Остальные части системы не обязательно должны располагаться по прямой линии. Возможно использование труб между блоками В-С и С-Д.

Каждый блок системы использует различные ресурсы и играет особую роль в каскаде.

Блок А – Блок зоопланктона: Вода и навоз поступают непосредственно в этот блок. Время гидравлического задержания в данном блоке должно составлять две недели. Этот период обеспечивает достаточно времени для развития зоопланктона. Зоопланктон и бактериопланктон питаются непосредственно органическими веществами, внесенными с навозом. Биогенные соединения из навоза, воды, поступающей в систему, или донных отложений поддерживают первичную продукцию, однако большая плотность зоопланктона препятствует развитию фитопланктона. Поэтому чистая первичная продукция минимальна или имеет отрицательную величину. Для поддержания в пруде аэробных условий, кислород, поступающий с водой, выраженный в молях, должен, как минимум, в два раза превышать количество органического углерода, поступающего с навозом. Блок зоопланктона не должен зарыбляться, хотя малое количество (до нескольких десятков кг/га) рыб, питающихся на дне, возможно. Не должно допускаться взмучивания донных отложений рыбами, поэтому карповые виды должны избегаться, в противоположность молодым экземплярам осетровых рыб (<50 кг/га, рекомендуются рыбы возрастом 1-3 лет). Желательна также посадка <100 кг/га белого амура для контроля роста высших растений.

Блок В – Блок фильтраторов: Данный блок зарыбляется, в основном, видами-фильтраторами. Рыбы-планктофаги используют планктон, развившийся в Блоке А и принесенный оттуда течением воды. Предлагается зарыбление веслоносом и/или карповыми фильтраторами. Для использования планктона достаточна плотность посадки 150 кг/га веслоноса или пестрого толстолобика и 150 кг/га белого толстолобика (рекомендованный индивидуальный вес рыб: 0,5–3 кг). Блок должен быть отделен от Блока А только сеткой, чтобы позволить эффективное перемещение планктона. Использование труб снижает эффективность транспортировки.

Часть системы	Описание
А Блок зоопланктона	<ul style="list-style-type: none"> • Блок снабжается навозом • Органические вещества из навоза являются основным источником энергии для развития зоо- и бактериопланктона • Зарыбления нет • 33% общей площади системы
В Блок фильтраторов	<ul style="list-style-type: none"> • Зарыблен рыбами-фильтраторами для использования планктона, произведенного в блоке А • 17% общей площади каскада
С Блок поликультуры	<ul style="list-style-type: none"> • Зарыблен поликультурой карпа, пестрого и белого толстолобиков и белого амура • Рыба использует питательные вещества и планктон, произведенные в блоке А • 25% общей площади каскада
Д Блок седиментации	<ul style="list-style-type: none"> • Функционирует как отстойник для взвешенных твердых веществ из блока С • 25% общей площади каскада

Таблица 37. Описание отдельных блоков каскадной системы

Блок С – Блок поликультуры: Данная часть системы ответственна за использование биогенных соединений из предыдущих блоков, являющихся единственным внешним источником азота и фосфора. Присутствие карпа, как основного вида, улучшает оборот питательных веществ и первичную продукцию. Поэтому объем данного блока должен быть достаточным для обеспечения времени гидравлического задержания около 12 дней. Этот блок отвечает за большую часть выхода биомассы каскада. Состав рыб позволяет использовать широкий спектр естественных кормов, производимых в блоке. Рекомендуется зарыбление карповыми видами, однако вместо пестрого толстолобика предлагается использовать веслоноса (Таблица 38).

Блок Д – Блок седиментации: Последняя часть блока действует как отстойник. Рыбы, посаженные в Блок В, сильно взмучивают донные отложения, что приводит к высокой мутности и большой концентрации взвешенных твердых частиц. Поскольку взвешенное вещество содержит как питательные вещества, так и органический углерод, оно не должно выпускаться в окружающую среду. Блок седиментации каскада, благодаря долгому времени задержания и отсутствию рыб,

обеспечивает хорошие условия для отложения взвешенных твердых частиц. Водная площадь может использоваться для производства дополнительных растительных культур или в целях рекреации. Отсутствие рыб и высокая прозрачность воды содействуют росту водных растений, использующих растворенные питательные вещества из воды. В случае целенаправленного выращивания растений, необходима разработка подходящих оборудования и технологий.

Вид	Начальный индивидуальный вес	Плотность посадки [кг/га]
Карп	200 - 300 г	300
Пестрый толстолобик ИЛИ веслонос*	500 - 1 000 г	150
Белый толстолобик	500 - 1 000 г	150
Белый амур	750 - 1 500 г	100

* предлагаемый для замены пестрого толстолобика

Таблица 38. Рекомендуемый видовой состав рыб в Блоке С

7.4.3. Параметры функционирования

Есть два основных фактора, влияющие на проектирование каскада: проточность и снабжение навозом. Необходимо уравновесить потребность хозяйства в использовании навоза с имеющимися водой и землей. Однако экономические расчеты должны также учитывать экологическую ценность и пользу устойчивости системы.

Проточность

Эффективность водоснабжения может иногда быть ограничивающим фактором. В такой ситуации общая площадь и, соответственно, способность к переработке навоза будут зависеть от водоснабжения. Предполагая среднюю глубину прудов 1 м, общий объем (и соответственно, площадь) системы, A_t , определяется путем умножения времени задержания, RT (15 дней = 360 ч), на потенциальную проточность, q [$\text{м}^3/\text{ч}$]: $A_t = RT \cdot q$ [$\text{м}^3 = \sim \text{м}^2$]

Снабжение навозом

Если водоснабжение не является ограничивающим фактором, размер системы должен определяться согласно количеству органического вещества, внесенного с навозом. Имеется сильная зависимость между проточностью и снабжением органическим углеродом. Поскольку первичная продукция в Блоке зоопланктона очень ограничена или имеет отрицательную величину из-за развития зоопланктона, в худшем случае единственным источником кислорода является вода, поступающая в систему. Каждый грамм органического углерода, внесенного с навозом, требует ~2,7 г кислорода. Если поступающая вода содержит ~7 г $\text{O}_2/\text{м}^3$, поддержание аэробных условий в Блоке А возможно только если количество внесенного органического углерода не превышает 2,5 г на кубометр воды. Поэтому для проектировки каскада необходимо определить содержание органического углерода в навозе. Если использованный навоз содержит 5 кг $\text{C}/\text{м}^3$ (в среднем), то на 1 м^3 жидкого навоза требуется около 2000 м^3 воды. Однако эта величина может зависеть от светового режима и температуры. В разгар лета можно использовать меньше (на ~20%) воды (или на ~20% больше навоза), но с уменьшением интенсивности солнечного излучения необходимо придерживаться установленных значений.

В случае навоза соотношение концентраций С, N и P остается в определенных пределах. Проведенные исследования не выявили никаких ограничений, связанных с N и P. Поэтому количество азота и фосфора, внесенных с навозом, редко является ограничивающим фактором в спроектированной системе.

7.4.4. Ожидаемые результаты

Использование навоза для удобрения карповых прудов имеет долгую историю, однако, со временем, оно пришло в упадок и было заменено более удобными сельскохозяйственными удобрениями. Кроме того, интенсификация продукции привела к снижению потребности в первичной продукции прудов, вследствие чего, предпочтение стало отдаваться кормлению. Недавно возникшая тенденция экстенсификации возвращается к использованию органических отходов и закрытых циклов производства. Проведенные исследования привели к разработке экологически приемлемой технологии, использующей органические отходы других отраслей сельского хозяйства (скотоводческих и свиноводческих хозяйств).

Установка из четырех блоков работала очень хорошо, позволяя использовать 25 м^3 коровьего навоза на гектар площади всего каскада. Однако главным ограничивающим фактором системы является

потребность в воде. Для обеспечения движения питательных веществ по каскаду требуются значительные объемы воды. Размер и способности системы сильно зависят от эффективности водоснабжения, которая представляется ограничивающим фактором. Особенно в тех случаях, когда забор воды и ее выпуск в естественные водоемы ограничивается, как в некоторых странах.

Подходящее функционирование спроектированной системы ограничивается периодом продолжительностью приблизительно 7 месяцев, от весны до осени, когда температура воды и солнечное излучение достаточно велики для поддержания гидробиологических процессов на достаточном уровне.

8. Новые методы в форелеводстве для уменьшения количества сточных вод на хозяйствах – Пример Дании

8.1. Введение – Общее описание приведенного примера

Радужная форель (*Onchorhynchus mykiss*) выращивается в Дании в течение более чем 100 лет и является преобладающим видом в датской аквакультуре. Общая годовая продукция достигает около 33 000 тонн в пресных водах и около 7 000 тонн в морях, что составляет около 20 % пищевой продукции датского сектора рыбного хозяйства. Ценность аквакультурной продукции равна приблизительно 25 % общей ценности продукции сектора рыбного хозяйства в Дании.

Пресноводным производством радужной форели в Дании занимаются около 250 хозяйств. Из них приблизительно 200 хозяйств работают как традиционные проточные хозяйства, так же как работали десятилетиями, получая воду через водозабор и используя относительно мало энергопотребляющего оборудования (насосов и т.д.). Вода проходит через хозяйство самотеком и попадает в отстойник (для отложения твердых частиц), прежде чем вернуться в реку. До 1980-х годов в пресноводном производстве радужной форели в Дании сточные воды, как правило, не очищались.

Вследствие растущего беспокойства общественности по поводу вопросов охраны окружающей среды, таких как выпуск питательных веществ с форелевых хозяйств или затрудненное передвижение животных по рекам из-за плотин, в 1989 г. в Дании было принято новое законодательство об охране окружающей среды. В соответствии с ним, для каждого форелевода были определены ограниченные квоты на использование комбикормов, а качество кормов должно было соответствовать определенным параметрам. Все форелевые хозяйства были обязаны построить отстойники для удаления твердых частиц и питательных веществ перед выпуском воды обратно в реку. Рыбоводы также должны были осуществлять программу сбора проб воды для обеспечения данных по приблизительноному выпуску питательных веществ с хозяйств.

Адаптируясь к данным правилам, часть традиционных хозяйств была преобразована в высокотехнологичные хозяйства, использующие в различной степени технологии очистки и повторного использования воды, аэрации, оксигенации и т.д. Кроме того, были достигнуты большие успехи в разработке эффективных кормов с высокой усвояемостью, технологии кормления, очистке воды, снижении потребности в воде и управлении хозяйством. Поэтому объем производства рыбы на килограмм расхода корма значительно вырос, а выпуск загрязнителей снизился.

За этими правилами по охране окружающей среды последовали и другие правила, ограничивающие максимальный объем водозабора из реки. Согласно этим нормативам, в реке должно оставаться не менее половины ее объема. Если рыбоводы желают продолжить производство, данное законодательство заставит их стать более независимыми от реки, т.е. уменьшить потребление свежей пресной воды путем очистки и повторного использования воды.

Вследствие ограничений квот на корма и водозабор из рек, экологического законодательства и Рамочной директивы ЕС по водной среде, устанавливающей стандарты качества воды в принимающих водоемах, возникла срочная необходимость в определении будущих условий форелеводства в Дании. Идея создания «опытных рыбных хозяйств» (Model Fish Farms) возникла приблизительно в 2000 году в процессе последовавших дискуссий между аквакультурными организациями, властями по охране окружающей среды и НПО.

Показатель	Опытное форелевое хозяйство
Материал прудов	Бетон
Водооборот (мин. %)	95
Использование воды (макс. л · с ⁻¹)	15
Сбор прудовых осадков	Да
Фильтры для удаления частиц	Да
Биофильтр	Да
Водоочистные пруды с растениями	Да

Таблица 39: Показатели датских опытных рыбных хозяйств

Концепция опытных рыбных хозяйств направлена на снижение потребления свежей воды и увеличение задержания питательных веществ путем использования рециркуляционных технологий. Некоторые из важнейших показателей опытных рыбных хозяйств суммированы в Таблица 39. Все данные относятся к хозяйствам, использующим 100 тонн корма в год.



Опытное форелевое хозяйство (Айstrupхольм Дамбруе): На заднем плане слева видны водоочистные пруды с растениями, состоящие из бывших земляных прудов, водоподающих и водосливных каналов (Фотография: DTU-Aqua)

Стратегия опытных форелевых хозяйств имеет значительные экологические преимущества и перспективы:

- Опытные хозяйства достигли независимости от водозабора из рек, добывая воду из дренажных труб, расположенных под хозяйством, и/или близлежащих скважин и повторно используя ее (степень водооборота до 97%)
- Потребление воды снизилось приблизительно до 0,15 л/с/т корма или 3 900 л/кг произведенной рыбы, что в 13 раз меньше, чем в традиционных проточных форелевых хозяйствах
- Свободное движение дикой фауны вдоль всей реки
- Значительное количество легкоокисляющихся органических веществ (БПК₅), общих органических веществ (ХПК), фосфора, аммонийного и общего N было удалено очистными сооружениями внутри хозяйства и водоочистными прудами с растениями
- Использование водоочистных прудов с растениями с целью товарного выращивания растений для садовых прудов, съедобных культур, как, например, водяной кресс, или других видов может принести выгоду как интегрированный элемент опытного форелевого хозяйства
- Стабильные условия выращивания (качество воды и т.п.)
- Потенциальное увеличение продукции форели без увеличения экологических эффектов

Однако внедрение технологии опытных хозяйств в практику требует:

- Обширных знаний и опыта относительно биологических потребностей выращиваемого вида
- Обширных знаний о построении и функционировании всего оборудования хозяйства, например, механической фильтрации, биофильтра, аэрации, насосов и т.д.
- Обширных знаний о последствиях выращивания рыбы с использованием рециркуляционных технологий
- Квалифицированного опыта в области рыбоводства и эксплуатации систем, использующих рециркуляционные технологии
- Подходящего качества воды
- Качественных рыбных комбикормов и стратегий кормления

Опытные рыбные хозяйства являются успешными с экологической и коммерческой точки зрения. Часть рыбоводов отмечает более короткие циклы производства. Кроме значительного снижения выпуска питательных веществ, данные хозяйства также облегчают миграцию животных по ближним рекам. Однако эти системы требуют оптимизации, в частности, в отношении снижения выпуска азота. Поэтому в датском примере «SustainAqua» изучались различные аспекты/модули опытных форелевых хозяйств с целью их дальнейшей оптимизации:

1. Корма и кормление – Воздействие опытных форелевых хозяйств на окружающую среду
2. Расход энергии опытных форелевых хозяйств
3. Выращивание прудовых растений в водоочистных прудах опытных хозяйств
4. Выращивание альтернативных видов рыб в водоочистных прудах опытных хозяйств

8.2. Корма и кормление – Воздействие опытных форелевых хозяйств на окружающую среду

Корма являются важнейшим фактором, определяющим рост рыб и воздействия на окружающую среду, а также себестоимость продукции. Для оценки экологической эффективности опытных хозяйств необходимо точное количественное определение воздействия кормов на качество используемой в производстве воды (так называемого «вклада производства») перед подачей воды в очистные сооружения хозяйства.

Различные очистные сооружения, применяющиеся на опытных хозяйствах, имеют различную эффективность очистки согласно количеству и составу компонентов отходов, поступающих с хозяйства. Поэтому требуется разработать общую модель для расчетов, которая могла бы прогнозировать экологическую эффективность системы в отношении компонентов отходов – азота (N), фосфора (P) и органического вещества – выпущенных в реки. Модель должна учитывать релевантные производственные (тип и количество корма, продукция рыбы и т.д.) и эксплуатационные параметры (температура, содержание кислорода и т.д.), а также построение системы (компоненты, проточность и размеры).

8.2.1. Общее описание инновации

Физическая форма (растворенная, взвешенная, твердая) и химическая структура (N, P, БПК₅ [биохимическое потребление кислорода], ХПК [химическое потребление кислорода]) компонентов отходов могут быть определены в лабораторных экспериментах. На их основе возможно разработать модель для прогнозирования, опирающуюся на лабораторные данные (составляющую один из модулей общей модели для расчетов) о непосредственном вкладе в отходы важнейших типов коммерческих комбикормов, используемых в интенсивных системах аквакультуры. Лабораторная модель является важным элементом, обеспечивающим точность общей модели для расчетов.

8.2.2. Принципы модуля

Модель для расчетов основана, главным образом, на данных, полученных в ходе программы документации и измерений, проведенной в 2005-2007 гг. на восьми «опытных форелевых хозяйствах» в Дании. Все эти хозяйства имели шламоуловители, биофильтры и искусственные водно-болотные угодья, а на некоторых из них были также установлены микрофильтры. Со всех хозяйств собирались данные о водопользовании, концентрации питательных веществ в воде в ряде мест внутри хозяйства, количестве использованных кормов и их ингредиентов, приросте биомассы и т.д. Основные результаты были включены в общую модель для расчетов.

Кроме того, в модели использовались данные с традиционных форелевых хозяйств Дании (данные из Vu- og Landskabsstyrelsen, 2007). Как правило, эти хозяйства не имеют такого оборудования, как опытные форелевые хозяйства, но, согласно датскому законодательству (Bekendtgørelse om Ferskvandsdambrug), они также обязаны установить отстойник непосредственно после производственных единиц.

Благодаря включению в модель для расчетов данных как с опытных, так и с менее технологичных форелевых хозяйств, она позволяет прогнозировать выпуск веществ с форелевых хозяйств различного технологического уровня. После интеграции данных модель была проверена и адаптирована, чтобы она максимально совпадала с реально измеренными выпусками. Таким образом, была сделана попытка оптимизировать ее настолько, насколько это сейчас возможно.

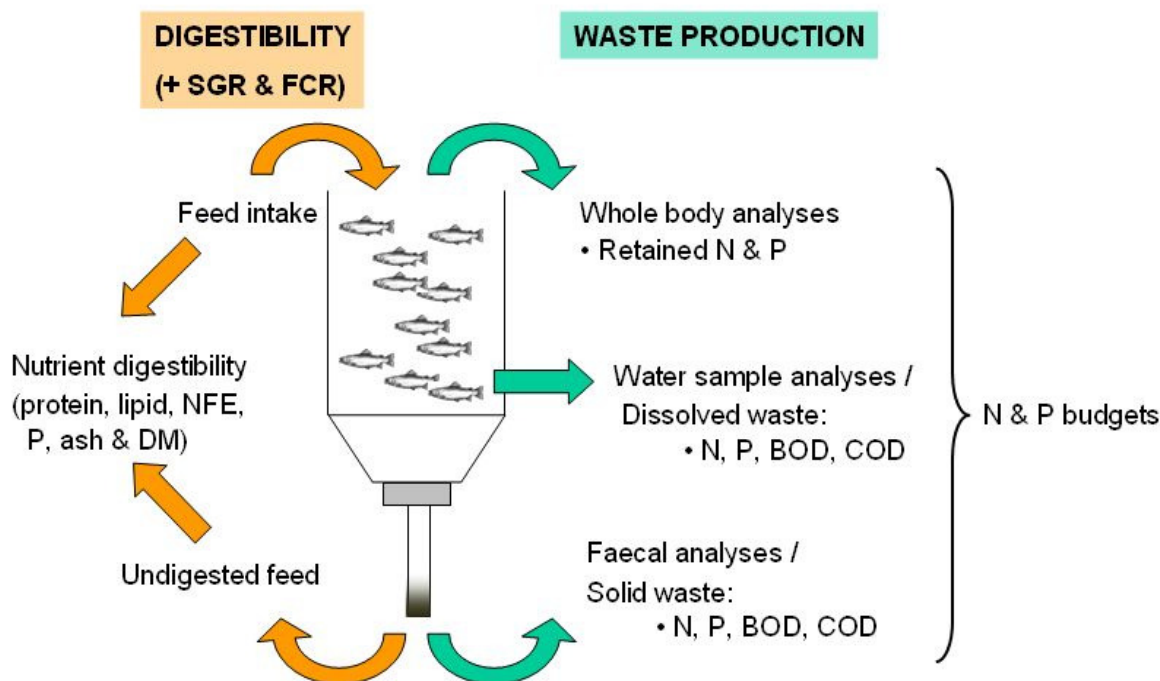


Рисунок 18: Система для оценки физической формы и химической структуры компонентов отходов и их прямого вклада в отходы главных видов коммерческих комбикормов, используемых в интенсивных системах аквакультуры. (Digestibility - Усвояемость; SGR - УСР; FCR - КК; Feed intake - Ввод кормов; Undigested feed - Непереваренные корма; Nutrient digestibility - Усвояемость питательных веществ; Protein - Белки; Lipid - Липиды; NFE - БЭ; Ash - Зола; DM - СВ; Waste production - Производство отходов; Whole body analyses - Анализ всего тела; Retained N & P - Задержанные N и P; Water sample analyses - Анализ проб воды; Dissolved waste - Растворенные отходы; BOD - БПК₅; COD - ХПК; Faecal analyses - Анализ экскрементов; Solid waste - Твердые отходы; N & P budgets - Баланс N и P)

Лабораторные опыты проводились в 18 проточных бассейнах из термопластика, объемом 189 л, изготовленных по видоизмененной гуэлфской системе (Guelph system) – нижняя треть бассейнов была конической и была отделена от остальной части бассейна сеткой. Данная система делает возможным быстрое оседание и сбор нетронутых частиц экскрементов в охлажденных, частично изолированных седиментационных колоннах.

Радужная форель весом приблизительно по 50 г была приобретена от местных датских рыбных хозяйств и привезена на научно-исследовательскую станцию «DTU Aqua» в Хирстхальсе (Дания). Потребление корма регистрировалось на всем протяжении опытов, а экскременты собирались с помощью седиментационных колонн. Седиментационные колонны опорожнялись ежедневно до кормления, пробы хранились на температуре -20 °С до проведения анализов на протеины, липиды, безазотный экстракт (БЭ), золу, сырую клетчатку и P.

Три использованных вида кормов имели средний состав, указанный справа, в таблице 40.

Собирались пробы для определения относительного вклада твердых и растворенных/взвешенных отходов N и P. Задержание N и P в рыбах определялось путем анализа концентраций в них в начале и конце всего эксперимента.

Был поставлен отдельный опыт для определения относительного вклада растворенных и твердых отходов БПК₅ и ХПК.

Видимый коэффициент усвояемости (ВКУ) питательных веществ и минералов кормов рассчитывался по уравнению:

$$ВКУ_i = [(потребление_i - экскреция_i) / потребление_i] \times 100$$

Уравнение 1

где *i* означает процент протеинов, липидов, БЭ, P, золы или СВ.

Белки:	46,3 %
Липиды:	27,5 %
БЭ:	12,6 %
Зола:	6,9 %
Сырая клетчатка:	1,4 %
Сухое вещество:	94,6 %
Фосфор:	0,98 %
Содержание энергии:	23,8 кДж/г корма
<i>Таблица 40: Состав кормов</i>	

Удельная скорость роста (УСР, % сут.⁻¹) была рассчитана на основе прироста биомассы в бассейнах, предполагая, что в течение относительно короткого срока эксперимента рост молоди был экспоненциальным:

$$УСР = \ln(W(t_i)/W(t_0))/(t_i - t_0) \times 100 \quad \text{Уравнение 2}$$

где $W(t_i)$ и $W(t_0)$ – биомасса в конце (t_i) и начале (t_0) опыта, а $(t_i - t_0)$ – длительность опыта в днях.

Кормовой коэффициент (КК, г г⁻¹) был рассчитан на основе прироста биомассы в бассейнах, внесенного количества и зарегистрированных отходов кормов за 9 суток кормления по формуле:

$$КК = \text{потребленный корм } (t_i - t_0) / \text{прирост биомассы } (t_i - t_0) \quad \text{Уравнение 3}$$

Данные были анализированы с помощью однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) с использованием программы Sigma Stat 3.10 для Windows. В случаях, когда режимы кормления значительно различались, для попарного сравнения использовался метод Хольма-Сидака. Во всех анализах значимой считалась вероятность $P < 0,05$.

8.2.3. Оценка избранных показателей устойчивости «SustainAqua»

Меньший выпуск питательных веществ

Измеренная усвояемость (ВКУ) в среднем составляла: Белки: 93,5%; липиды: 91,2%; БЭ: 66,9%; зола: 51,9%; фосфор: 64,2%. Зарегистрированная удельная скорость роста (УСР) в среднем равнялась 1,97% · сут.⁻¹, а средний кормовой коэффициент (КК) – 0,76 (кг корма · кг прироста веса). Задержание азота и фосфора в рыбах составляло в среднем 49,1% и 57,6%, соответственно (Таблица 41).

Компонент кормов	BioMar Ecolife 20	Aller Aqua 576 BM XS	Dana Feed Dan-Ex2844	F _{2,6}	P
Белки	93,9 ± 0,4 ^a	92,8 ± 0,2 ^b	93,7 ± 0,3 ^a	10,81	0,010
Липиды	91,4 ± 0,6 ^{ab}	88,4 ± 1,8 ^a	93,7 ± 1,0 ^b	14,22	0,005
БЭ	66,6 ± 1,1 ^a	67,2 ± 0,9 ^a	67,0 ± 1,0 ^a	0,36	0,711
Зола	46,7 ± 1,8 ^a	57,2 ± 0,4 ^b	51,7 ± 0,8 ^c	62,69	<0,0001
Фосфор	60,9 ± 0,7 ^a	71,0 ± 0,9 ^b	60,6 ± 0,7 ^a	177,83	<0,0001
СВ	84,7 ± 0,6 ^a	84,4 ± 0,5 ^a	85,6 ± 0,6 ^a	4,09	0,076
СВ рассчитанное ²	85,7 ± 0,5	85,2 ± 0,5	86,3 ± 0,6	-	-

¹ Значения в строках, не отмеченные одинаковой надстрочной буквой, значительно различались (ANOVA, ДЗР Тьюки, $P < 0,05$).

² Усвояемость сухого вещества была рассчитана как сумма измеренных усвояемостей белков, липидов, БЭ и золы.

Таблица 41: Видимый коэффициент усвояемости (ВКУ) белков, липидов, БЭ, золы, фосфора и сухого вещества (СВ) (%), ср. ± S.D., n = 3) в кормах, а также рассчитанная усвояемость сухого вещества¹.

Расчеты вклада БПК₅ и ХПК показали, что в среднем 55% всех отходов БПК₅ находились в форме растворенных/взвешенных отходов, а твердые отходы БПК₅ составляли в среднем 45%. В среднем, 71% всех отходов ХПК находились в форме твердых отходов, а 29% – как растворенные/взвешенные отходы ХПК. Соотношение растворенного/взвешенного БПК₅/ХПК составляло 0,51.

Большая часть отходов общего N находилась в форме растворенных/взвешенных отходов TN (88%), тогда как в среднем 12% было в твердой фракции. Почти все отходы фосфора были в форме твердых отходов (в среднем, 98%), и только очень малая их часть (в среднем, 2%) находилась в форме растворенных/взвешенных отходов P.

8.2.4. Факторы успеха и ограничивающие факторы

Результаты лабораторных экспериментов были важным элементом, обеспечивающим точность общей модели для расчетов. Благодаря включению в модель данных как с опытных, так и с менее технологичных форелевых хозяйств, она позволяет прогнозировать выпуск веществ с форелевых хозяйств различного технологического уровня. Однако необходимо заметить, что, для получения достоверных прогнозов при использовании данной модели для расчетов, необходимо выполнение следующих условий:

1. Объектом выращивания должна быть радужная форель (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum)
2. Использованные корма должны быть хорошего качества, т.е. содержать достаточные уровни витаминов и минералов для поддержания хорошего роста и здоровья. Усвояемость белков и липидов не должна быть ниже 85%.
3. Если вода используется повторно, то она должна находиться в производственных единицах не менее 18,5 часов, а в искусственных очистных прудах – не менее 20 часов.
4. Если хозяйство имеет механические фильтры (барабанные или подобные) и/или биофильтры, то их размер должен быть подходящим для обеспечения оптимальной очистки воды.
5. Суточная норма кормов не должна превышать 800 кг.
6. Если эти условия выполнены, общая модель для расчетов может быть подходящим средством для оценки выпуска основных питательных веществ с форелевых хозяйств.

Однако необходимо подчеркнуть, что модель для расчетов служит исключительно для оценки выпуска питательных веществ с форелевых хозяйств, т.е. она не может быть использована для документального подтверждения выпуска.

8.3. Расход энергии на опытных форелевых хозяйствах

Из-за малого потребления свежей пресной воды, опытные форелевые хозяйства зависят от транспорта воды внутри хозяйства (рециркуляции), а также ее аэрации/оксигенации. Другие газообразные отходы, такие как CO₂ и N₂, должны удаляться из воды, используемой в производстве.

Важнейшей задачей на опытных форелевых хозяйствах является применение рециркуляционных технологий, т.е. перекачивание воды и ее очистка для минимизации потребления воды и воздействий на окружающую среду. Данная технология требует энергии, из-за чего энергия является важным фактором, которую необходимо принимать во внимание для достижения устойчивости продукции.

8.3.1. Общее описание инновации

Перекачивание воды на опытных форелевых хозяйствах, а также ее аэрация/оксигенация, требуют энергии. Поэтому важно оценить потребность в кислороде во время производственного процесса и регулировать соответственно степень нагнетания/потребление энергии. Потребность в воздухе/кислороде является наиболее высокой во время кормления и переваривания корма, т.е. во время процессов обмена. Потребность в кислороде также зависит от размера рыбы и поголовья.

8.3.2. Принципы модуля

Современными технологиями аэрации воды являются:

- Бассейновый аэратор
- Низконапорный распылитель
- Поверхностный аэратор
- Капельный фильтр
- Эрлифт

Для эффективной оксигенации/дегазации необходимо учитывать следующее:

- Растворимость газов/насыщенность воды увеличивается с давлением, т.е. вода под давлением может содержать больше кислорода или углекислого газа, чем на поверхности.
- Чем больше поверхность контакта между газообразной и водной фазой, тем быстрее газ растворяется в воде (т.е. пузырьки воздуха из распылителей с различным размером отверстий, что, в свою очередь, влияет на величину противодавления).

Бассейновый аэратор

Бассейновые аэраторы могут состоять из простого распылителя, расположенного приблизительно в 50 см над дном производственной единицы. Для обеспечения подходящей циркуляции необходимо соблюдать подходящее соотношение между длиной и глубиной бассейна.

Низконапорный распылитель

В низконапорном распылителе несколько труб-диффузоров могут быть укреплены на стальной раме. На умеренной глубине воды, т.е. около 80 см, противодавление распылителя является относительно низким. В условиях низкой насыщенности кислородом, эффективность оксигенации является неплохой. Низконапорные распылители могут использоваться для дегазации из-за малой глубины нагнетания воздуха.

Поверхностный аэратор

Поверхностные аэраторы часто используются на традиционных хозяйствах. Брызги воды поднимаются в воздух, что создает хорошую контактную поверхность с воздухом, а потом смешиваются с водой пруда. Поверхностные аэраторы могут с успехом препятствовать замору рыбы при низких концентрациях кислорода, а также эффективно используются для дегазации.

Капельный фильтр

В капельном фильтре вода подается через распределительную решетку на поверхность фильтра. Оттуда вода протекает через наполнитель (например, биоблоки), обеспечивающий большую контактную поверхность для аэрации (O_2) и дегазации (N_2/CO_2). Однако, из-за большой высоты подачи воды (часто не менее 1 м), капельный фильтр потребляет много энергии (насос).

Эрлифт (воздушный подъемник)

Наиболее распространенным методом циркуляции и аэрации воды на опытных форелевых хозяйствах являются эрлифты. Они перекачивают и аэрируют воду, и состоят из колодца/полости с поперечной стенкой (Рисунок 19). С одной стороны (на Рисунок 19 слева) размещено несколько распылителей (нагнетание сжатого воздуха с помощью компрессоров). Движущей силой в эрлифте является разница между удельным весом воды, с одной стороны, и водовоздушной смеси, с другой. Устройство эрлифта также предопределяет его способность к поддержанию воздушного потока (избежанию прорыва воздуха) при максимальной высоте подачи насоса. При глубине воды 2 м оптимальная высота подачи может быть около 10 см.

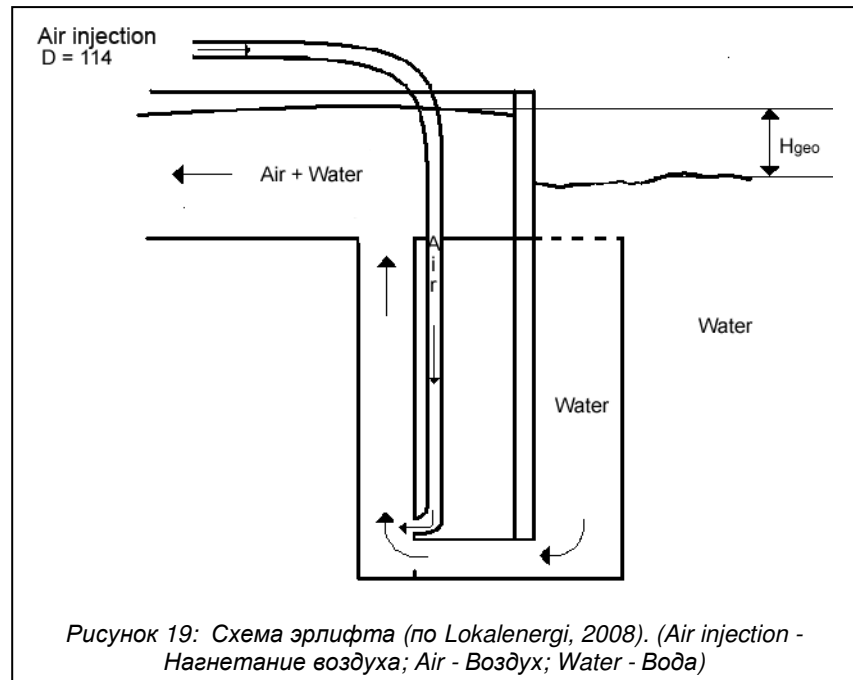


Рисунок 19: Схема эрлифта (по Lokalenergi, 2008). (Air injection - Нагнетание воздуха; Air - Воздух; Water - Вода)

8.3.3. Оценка избранных показателей устойчивости «SustainAqua»

Расход энергии

Нагнетание воздуха в рыбоводные системы требует энергии, поэтому важно оценить потребность в кислороде во время производственного процесса и регулировать соответственно уровень инъекции/потребление энергии. Потребность в воздухе/кислороде является наиболее высокой во время кормления и переваривания корма, т.е. во время процессов обмена. Кроме того, потребность в кислороде зависит от размера и количества рыб.

Однако, для оптимального использования нагнетаемого воздуха, необходимо принять во внимание взаимоотношения между воздушным потоком, принципом аэрации, выбором распылителя и глубиной воды, чтобы достичь:

- Наибольшей контактной поверхности между пузырьками воздуха и водой
- Максимально возможного времени пребывания пузырьков воздуха в водяном столбе, прежде чем они достигнут поверхности
- Наименьшего возможного противодавления/потери давления в системе.

Важнейшим фактором, ответственным за оптимальную эффективность эрлифта, является подходящее взаимоотношение между скоростью течения воды и воздуха. Если подача воздуха по сравнению с водой слишком велика, эрлифт может потерять эффективность (прорыв сжатого воздуха). Эксперименты показали прямую зависимость между расходом энергии и эффективностью аэрации воды. Однако для оптимизации расхода энергии необходимо принять во внимание соотношение между потреблением энергии эрлифтом и давлением в воздухоподающей системе. В

среднем, расход энергии оценивался в 1,7 кВт.ч/кг произведенной рыбы.

Аэрация требует энергии для сжатия воздуха, но одновременное увеличение температуры указывает также на потерю энергии, т.е. дальнейшие расходы на энергию. По измерениям, во время эксперимента расход энергии эрлифта на сжатие воздуха составляет 5 802 Вт; если учесть также расход энергии на нагревание воздуха, общее потребление энергии равно 10 199 Вт.

Для сравнения, соответствующее потребление энергии типичным погружным осевым насосом, поднимающим воду на 0,4 м и имеющим общую эффективность $\eta_{total} = 0,4$, может быть рассчитана по формуле: $Q \times dp / \eta_{total}$, где $Q = 1\,300 \text{ м}^3/\text{ч} = 0,362 \text{ м}^3/\text{с}$; $dp = 0,25 \text{ мВс} = 2\,500 \text{ Па}$, т.е. $= 0,362 \times 2\,500 / 0,4 = \underline{2\,260 \text{ Вт}}$.

Расчеты показывают, что погружной осевой насос может перекачивать воду, используя в 4 раза меньше энергии, чем эрлифт. С другой стороны, если пользоваться осевым насосом, то аэрация каким-либо альтернативным методом также потребует энергию.

8.3.4. Факторы успеха и ограничивающие факторы

Суммируя результаты исследований по потреблению энергии на трех различных опытных форелевых хозяйствах, можно заключить следующее:

- Подходящее функционирование эрлифта сильно зависит от сбалансированного соотношения между скоростью течения воды и воздуха, т.е. скорость подачи воздуха должна быть в соответствии со скоростью течения воды.
- Между расходом энергии эрлифта и концентрацией кислорода в воде, полученной в итоге после ее аэрации в эрлифте, была линейная зависимость.
- При внутренней транспортировке воды с помощью погружного осевого насоса расходы на энергию были в 4 раза ниже, чем при использовании эрлифта.
- Несмотря на то, что перекачивание воды с помощью осевого насоса стоит меньше, чем с помощью эрлифта, к данным расходам необходимо добавить расходы на энергию при каком-либо другом методе аэрации (например, бассейновых аэраторах).
- Малая скорость подачи воздуха обеспечивает большую эффективность аэрации на единицу стоимости, чем большая.
- Добавление малых пузырьков воздуха в зависимости от желаемого содержания кислорода, т.е. скорость нагнетания и длина времени контакта между воздухом и водой, являются важными факторами экономической эффективности аэрации.
- Чем больше степень нагнетания воздуха в водяной столб, тем выше должна быть скорость течения воздуха для достижения данного объема кислорода на единицу времени.
- Расходы на энергию при аэрации сильно зависят от способа аэрации, т.е. формы распылителя.
- Необходимо учесть потери энергии из-за значительного увеличения температуры при использовании смесительных воздуходувок.
- Экономически эффективный процесс аэрации должен контролироваться и управляться согласно актуальным рыбоводным условиям (суточные изменения, время года и т.д.).
- При использовании осевых насосов вместо эрлифтов необходимо учитывать инвестиционные расходы установки насосов и резервных решений, для обеспечения надежности эксплуатации.
- По-видимому, легче уменьшить расходы на перекачивание воды, чем на аэрацию.

8.4. Выращивание прудовых растений в водоочистных прудах опытных хозяйств

Бывшие земляные пруды опытных форелевых хозяйств часто остаются взаимосвязанными друг с другом и с хозяйством через старые каналы, таким образом создавая пруды с дикорастущими растениями для очистки воды.

После очистки в водоочистных сооружениях хозяйства (шламоуловителях, биофильтрах), вода медленно протекает через водоочистные пруды, где растения продолжают удаление питательных веществ, обеспечивая конечную очистку сбросных вод перед их возвратом в реку. Водоочистные пруды с растениями играют важную роль в преобразовании нитрата и БПК₅, а также в выпадении органического вещества и фосфора в осадок. Однако преобразование аммиака в нитрат в этих прудах проходит неэффективно. Из-за трансформации органического вещества на дне прудов могут возникнуть анаэробные условия, благоприятные для денитрификации, т.е. преобразования нитрата в газообразный азот. Таким образом, анаэробные условия в водоочистных прудах с растениями могут содействовать удалению органического вещества и нитрата.

8.4.1. Общее описание инновации

Растительность водоочистных прудов играет важную роль в процессе очистки и, поэтому, изучалась в Айstrupхольме. Важнейшими видами растений, отмеченными в водоочистных прудах опытного форелевого хозяйства «Айstrupхольм» и покрывающими до 80% их поверхности, были манник, ряска малая, гидрилла мутовчатая, нитчатые водоросли и болотник.

Растения интересны с точки зрения как удаления питательных веществ, так и их трансформации/преобразования. Они обеспечивают субстрат для микроорганизмов (биопленки) и играют роль в трансформации аммиака, а также преобразовании растворенных азота и фосфора в растительную биомассу. Наконец, они влияют на течение воды и содействуют оседанию частиц.

Кроме роли водоочистных прудов с растениями в снижении воздействий форелеводства на окружающую среду, они также могут использоваться для вторичного производства коммерчески ценных видов растений, обеспечивающих дополнительный доход форелеводам. Рыночный потенциал различных товарных растений, как побочных продуктов рыбоводства, уже изучался.

8.4.2. Принципы модуля

Главными изучаемыми видами были многолетние растения для садовых прудов, которые имеют не только большой потенциал для удаления питательных веществ, но и потенциально высокие рыночные цены. Были изучены девять видов, четыре из которых принадлежат к семейству *Iridaceae*, один – к *Butomaceae*, один – к *Nymphaeaceae*, а также водяной кресс (*Nasturtium officinale*), вахта трехлистная (*Menyanthes trifoliata*) и калужница болотная (*Caltha palustris*). Исследования проводились в различных местах водоочистных прудов опытного хозяйства «Айstrupхольм» (Дания). Выбранные места характеризовались различными показателями качества воды, проточностью и нагрузкой питательных веществ.

Из-за густой собственной растительности, вытесняющей прудовые растения на берегах и в прудах, последние выращивались в особых конструкциях, т.е. плавучих рамках из полистирола.



Метод «плавучего сада», используемый на вышедших из употребления прудах опытных форелевых хозяйств (Фотография: DTU-Aqua)

8.4.3. Факторы успеха и ограничивающие факторы

Пруды с растениями (искусственные водно-болотные угодья) имеют хороший потенциал для снижения выпуска питательных веществ с рыбных хозяйств. Например, суточное удаление общего содержания азота превышает 1 г/м^2 . Продолжительность пребывания воды в водоочистных прудах играет важную роль в эффективном удалении питательных веществ.

Однако исследования показали, что естественная растительность устоявшегося водоочистного пруда не позволяет подопытным растениям прижиться ни в прудах и каналах, ни на берегах. Поэтому, для

того, чтобы растения укоренились, в начале эксперимента требуется тщательная ручная прополка. Болотные растения рода *Iris* довольно выносливы, крепки, и выращиваются легко, но и они были вначале вытеснены со склонов и берегов водоочистных прудов более быстрорастущими видами.

Кроме того, значительная часть растений (корневища) поедалась водяными крысами.

Водяной кресс (*Nasturtium officinale*), вахта трехлистная (*Menyanthes trifoliata*) и калужница болотная (*Caltha palustris*), способные быстро распространяться, выращивались в одном старом земляном пруде в средней части водоочистной системы. Некоторые из этих видов остались в живых и даже росли. Однако скорость роста была ниже ожидаемой, что может быть связано с анаэробными условиями в земляных прудах. Кроме того, один вид был полностью съеден водяными крысами.

Исследованные растения легко распространяются, либо натуральным путем, с помощью корневищ, либо искусственно, путем деления корневищ/саженцев.

Кроме вегетативного размножения, ирисы также производят семена. Однако растения, выращенные из семян, могут иметь генетические свойства, отличающиеся от растений, размножающихся путем деления или корневых отпрысков, что может иметь отрицательные последствия при их продаже из-за фенотипических различий (например, гибриды, окраска цветов и т.д.)

Концепция плавучих садов была относительно успешна. Плавучие рамки могут быть объединены в более крупные блоки, покрывающие площадь в несколько сот квадратных метров. С другой стороны, форелевые хозяйства в Дании отличаются большим количеством заброшенных земляных прудов относительно малого размера и продолговатой формы. Соответственно, водоемы в этих местах полностью заросли естественной растительностью, что может быть преимуществом с точки зрения задержания питательных веществ, но затрудняет применение более крупных плавучих блоков.

Для оптимизации коммерческого производства прудовых растений в водоочистных прудах опытного форелевого хозяйства «Айstrupхольм» может оказаться полезным реструктурирование некоторых частей водоочистных прудов. Это подразумевает создание относительно больших и неглубоких площадей, очищенных от существующей растительности, где потом, в зависимости от видов, можно либо внедрять концепцию плавучих садов, либо выращивать растения непосредственно в прудах.

Некоторые аспекты проектирования прудов с растениями должны учитываться и при будущем создании новых хозяйств. Желательно комбинированное использование водоочистных прудов для выращивания как растений для садовых прудов, так и более густой и посаженной непосредственно в грунт растительности, такой как тростник (*Phragmites australis*) или другие аккумулирующие растения. Эти растения могут усугубить недостаток кислорода в прудах. В настоящее время условия в большинстве водоочистных прудов в Айstrupхольме являются определенно анаэробными, что может отрицательно повлиять на рост различных товарных растений. Кроме того, необходимо отметить, что более крупные блоки плавучих рамок могут препятствовать транспорту/диффузии кислорода, тем самым приводя к возникновению анаэробных условий в корневой зоне.

Исследования показали, что некоторые виды прудовых растений, особенно принадлежащие к семейству *Iridaceae*, растут хорошо, но на потенциальный доход от их продажи могут отрицательно повлиять трудоемкие периоды в начале (прополка) и конце производственного цикла (сбор).

8.5. Выращивание альтернативных видов рыб в водоочистных прудах опытных хозяйств

После очистки в водоочистных сооружениях хозяйства (шламоуловителях, биофильтрах), вода медленно протекает через водоочистные пруды, где растения продолжают удаление питательных веществ, обеспечивая конечную очистку сбросных вод перед их возвратом в реку.

8.5.1. Общее описание инновации

Помимо роли водоочистных прудов с растениями в снижении воздействий форелеводства на окружающую среду, они также могут использоваться для вторичного производства коммерчески ценного посадочного материала рыб, обеспечивающего дополнительный доход форелеводам.

Основная идея направлена на увеличение рентабельности хозяйства путем оптимизации его производства таким образом, чтобы это не имело отрицательных последствий на основное производство форели и общее функционирование системы. Кроме того, подразумевается, что производство должно опираться исключительно на ресурсы водоочистных прудов, не прибегая к внешним ресурсам (например, кормам).

8.5.2. Принципы модуля, представленного в рассмотренном примере

Экстенсивное производство личинок и мальков рыб должно опираться на естественную продукцию зоопланктона в водоочистных прудах. Поэтому сначала изучалось, достаточна ли продукция зоопланктона в разных местах пруда для обеспечения пищей личинок рыб, например, окуня и судака.

На основе проб зоопланктона было заключено, что водоочистные пруды относительно малопродуктивны для подращивания личинок рыб. Однако производство мальков рыб, например, в сетчатых садках (в том числе, на подходящих местах водоочистных прудов) может быть привлекательной методологией для производства различных видов рыб с целью их последующей продажи для нагула, рыболовных прудов, аквариумов и т.д.

Для изучения эффективности сетчатых садков эксперименты проводились как в водоочистных прудах опытного хозяйства «Айstrupхольм», так и в двух рыболовных прудах, где качество воды и продукция зоопланктона казались относительно более подходящими для личинок. В экспериментах использовались личинки окуня и судака.

8.5.3. Оценка избранных показателей устойчивости «SustainAqua»: Эффективность использования питательных веществ, воды и пространства

Результаты сбора проб зоопланктона в весенний (личиночный) период показали, что концентрации планктона сильно варьируют и, как правило, не достигают уровней, считающихся необходимыми для выживания и роста личинок рыб. Кроме того, качество воды было непостоянным, попадались периоды с низкими уровнями кислорода или образованием токсичного сероводорода. Поэтому водоочистные пруды были признаны относительно менее пригодными для подращивания личинок.

В последовавших экспериментах с сетчатыми садками, садки зарыблялись личинками окуня и судака. Результаты показали, что производство молоди рыб в водоочистных прудах опытного форелевого хозяйства «Айstrupхольм» нецелесообразно из-за низкого уровня кислорода и высокой продукции нитчатых водорослей в прудах. Аэрация воды в сетчатых садках была недостаточной для повышения содержания кислорода до приемлемого уровня.

С другой стороны, опыты на рыболовных прудах показали, что личинки рыб могут подращиваться от выклева до размера 2-3 см (один месяц) в сетчатых садках без человеческого вмешательства.

8.6. Итоги – Факторы успеха и ограничивающие факторы

Суммируя итоги, результаты рассмотренного примера датских опытных форелевых хозяйств обеспечили ценную информацию и руководство по:

- Снижению потерь питательных и органических веществ, т.е. уменьшению воздействий на окружающую среду
- Оптимизации затрат на энергию
- Устойчивости выращивания прудовых растений и подращивания молоди дополнительных, альтернативных видов рыб в водоочистных прудах опытных хозяйств.

Можно отметить следующие конкретные факторы успеха и ограничивающие факторы:

- Использование водоочистных прудов опытного хозяйства «Айstrupхольм» для подращивания молоди рыб было нецелесообразным из-за низкого уровня кислорода и высокой продукции нитчатых водорослей в прудах. С другой стороны, опыты на рыболовных прудах показали, что личинки рыб могут подращиваться от выклева до размера 2-3 см в сетчатых садках без человеческого вмешательства.
- Подходящее функционирование эрлифта сильно зависит от сбалансированного соотношения между скоростью течения воды и воздуха, т.е. скорость подачи воздуха должна быть в соответствии со скоростью течения воды
- Расходы на энергию при аэрации зависят от способа аэрации, т.е. формы распылителя
- Необходимо учесть потери энергии из-за значительного увеличения температуры при использовании смесительных воздухоуловов
- Экономически эффективный процесс аэрации должен контролироваться и управляться согласно актуальным рыбоводным условиям (суточные изменения, время года и т.д.)
- Повышенный выброс CO₂

Как правило, принципы концепции опытных форелевых хозяйств, использующих рециркуляционную технологию, могут быть адаптированы к европейскому сектору аквакультуры.

8.7. От примера до рыбного хозяйства: Как управлять опытным форелевым хозяйством, производящим 500 т рыбы в год (Опытное форелевое хозяйство «Айstrupхольм»)

8.7.1. Описание опытного хозяйства

Опытное рыбное хозяйство «Айstrupхольм» находится на реке Хольтум О в Средней Ютландии (Дания). Хозяйство состоит из двух одинаковых производственных единиц, каждая из которых делится на 8 частей. На Рисунок 20 показана схема опытного хозяйства.

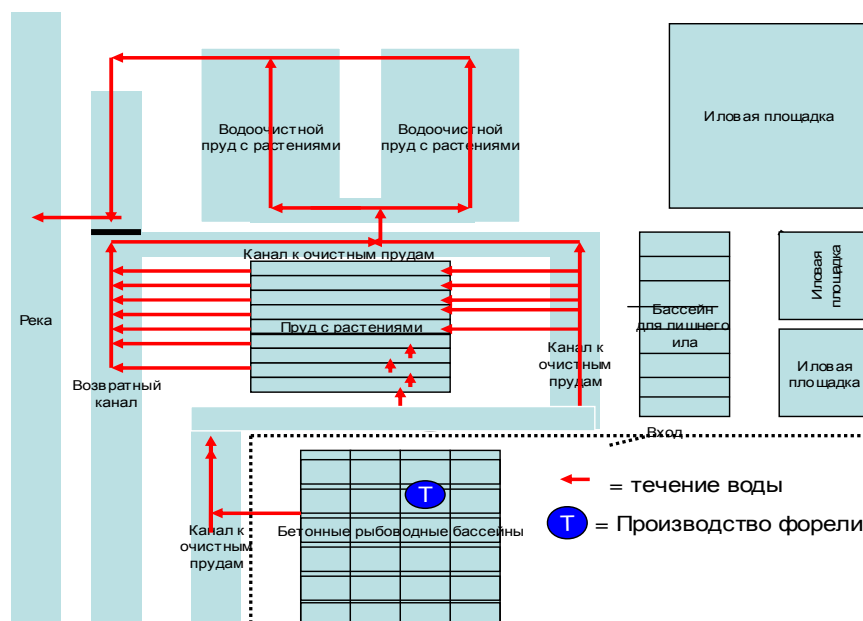


Рисунок 20: Схема опытного рыбного хозяйства «Айstrupхольм». Стрелки показывают направление течения.

Рециркуляция и аэрация воды осуществляются с помощью эрлифтов. Эрлифты служат как для перекачивания, так и для аэрации воды. Они состоят из колодца/полости с поперечной стенкой. С одной стороны стенки размещено несколько распылителей (нагнетание сжатого воздуха с помощью компрессоров). Движущей силой в эрлифте является разница в удельном весе между водой, с одной стороны, и водовоздушной смесью, с другой. Комбинация нагнетания воздуха и аэрации поднимает воду на несколько сантиметров и, таким образом, создает течение, необходимое для рециркуляции.

Твердые отходы производства скапливаются в конусообразных шламоуловителях (sludge cone), расположенных на дне производственных единиц, и оттуда поступают в иловый отстойник для седиментации. Повторно используемая вода проходит через биофильтр, где аммиак преобразовывается в нитрит/нитрат.

Сточная вода из производственных единиц и очищенная вода из илового отстойника поступают в водоочистные пруды с растениями, т.е. бывшие земляные пруды, которые часто остаются взаимосвязанными друг с другом и с хозяйством через старые каналы, создавая, таким образом, пруды с дикорастущими растениями для очистки воды. После очистки в водоочистных сооружениях хозяйства (шламоуловителях, биофильтрах), вода медленно протекает через водоочистные пруды, где растения продолжают удаление питательных веществ, обеспечивая конечную очистку сбросных вод перед их возвратом в реку.

8.7.2. Описание сточных вод хозяйства

В следующей таблице удельный вклад производства, чистый выпуск и эффективность водоочистных сооружений опытного форелевого хозяйства «Айstrupхольм» сравниваются со средним удельным выпуском (г питательных веществ на кг произведенной рыбы) датских форелевых хозяйств.

Результаты подтверждают чрезвычайно высокую эффективность удаления питательных веществ из воды, используемой в производстве опытного форелевого хозяйства. В частности, удельный выпуск фосфора и органического вещества был значительно ниже, чем средний выпуск с датских форелевых хозяйств. Аммиак, фосфор и органическое вещество удаляются шламоуловителями и биофильтрами,

тогда как водоочистные пруды эффективно удаляют органическое вещество, фосфор (особенно взвешенный) и общий N (особенно нитрат).

Питательное вещество	Вклад производства	Чистый выпуск	Эффективность очистки, %	Средний выпуск по Дании	Айstrupхольм в % от ср. по Дании
Общий азот	33,7	15,8	53	31,2	51
Общий фосфор	4,3	0,39	91	2,9	13
БПК ₅	78,7	3,2	96	93,6	3
ХПК	224,9	-			-

Таблица 42: Удельный вклад производства, чистый выпуск (е питательных веществ на кг произведенной рыбы, в среднем) и эффективность очистки на опытном форелевом хозяйстве «Айstrupхольм» по сравнению со средним удельным выпуском с датских форелевых хозяйств.

Расчеты вклада БПК₅ и ХПК показали, что в среднем 55% всех отходов БПК₅ находились в форме растворенных/взвешенных отходов, а твердые отходы БПК₅ составляли в среднем 45%.

В среднем, 71% всех отходов ХПК были в твердой форме, а 29% – как растворенные/взвешенные отходы ХПК. Соотношение растворенного/взвешенного БПК₅/ХПК составляло 0,51.

Большая часть отходов общего N находилась в форме растворенных/взвешенных отходов TN (88%), тогда как в среднем 12% было в твердой фракции.

Почти все отходы фосфора были в форме твердых отходов (в среднем, 98%), и только очень малая их часть (в среднем, 2%) находилась в форме растворенных/взвешенных отходов P.

8.7.3. Водный баланс хозяйства

Вода для производства добывается из дренажных труб, расположенных под производственными единицами, и/или близлежащих скважин. Забор воды составлял около 45 л/с, а продолжительность ее пребывания на хозяйстве – около 35 часов. Расход энергии на перекачивание и аэрацию (оксигенацию) воды составлял около 1,7 кВт.ч/кг произведенной рыбы.

8.7.4. Преимущества и недостатки традиционных и опытных форелевых хозяйств

По сравнению с традиционным рыбоводством, концепция опытных хозяйств имеет следующие:

Преимущества:	Недостатки
<ul style="list-style-type: none"> Потребление воды составляет не ~50 000 л/кг рыбы, а только около 3 900 л/кг рыбы Независимость от реки Стабильные производственные условия Меньшие колебания в качестве воды Большая эффективность очистки Меньшие экологические воздействия Меньшие сезонные колебания температуры вследствие использования воды из скважин Лучший контроль управления и производства Меньший риск попадания патогенов извне Меньшая потребность в медикаментах и терапевтических средствах Лучшие производственные условия 	<ul style="list-style-type: none"> Большая потребность в инфраструктуре: электричестве, кислороде, насосах и т.д. Большой выброс CO₂ Риск аккумуляции аммиака Большая потребность в контроле и управлении Большой расход энергии на кг рыбы

Стоимость описанного выше опытного форелевого хозяйства составляет около 3 - 3,5 евро/кг корма, т.е около 1,6 млн. евро для опытного хозяйства мощностью 500 тонн, как Айstrupхольм.

9. Выращивание тилпии в установках замкнутого водоснабжения (УЗВ) – Пример Нидерландов

9.1. Модуль «Реактор для денитрификации навоза» (УЗВ)

В Нидерландах рыба выращивается главным образом в установках замкнутого водоснабжения (УЗВ). Для дальнейшего повышения устойчивости рыбоводства в УЗВ, рыбоводы стараются:

1. Уменьшить расход энергии и воды,
2. Уменьшить объем выпуска сбросных вод (расходы на транспортировку навоза и выпуск отходов),
3. Улучшить утилизацию питательных веществ рыбами, используя хорошо спланированные режимы кормления и оптимальные условия выращивания,
4. Снизить сборы за загрязнение, основанные на выпуске ХПК, азота по Кьелдалю и фосфора.

Достижение этих целей требует так называемых «внутрисистемных инноваций», снижающих выпуск растворенных и твердых азота, ХПК и органических веществ. В рассматриваемом примере изучалась интеграция реактора для денитрификации навоза с восходящим потоком воды через слой анаэробного ила (upflow sludge bed manure denitrification reactor, USB-MDR) в УЗВ для уменьшения расхода воды и энергии для подогрева воды, а также выпуска питательных веществ. Целью исследований в голландском примере являлось определение: влияния скорости восходящего потока на эффективность USB-MDR; влияния соотношения C:N в кормах на удаление нитрата и качество воды в системе; влияния кормов на основе растительных протеинов на удаление нитрата и качество воды в системе; эффективности модернизированного реактора; влияния системы «Geotube®» на снижение выпуска отходов из USB-MDR; влияния USB-MDR на здоровье и физическое благополучие рыбы в опытной УЗВ; а также того, препятствует ли интеграция USB-MDR в УЗВ появлению в системе соединений, причиняющих нежелательные привкусы и запахи в рыбе и воде (off-flavour compounds). Наконец, результаты исследований и коммерческие данные (ZonAqua farming BV) были объединены в конкретный пример, в котором гипотетическая УЗВ мощностью 100 т с USB-MDR и такая же система без USB-MDR сравнивались с точки зрения их воздействия на показатели устойчивости.

9.1.1. Общее описание рассматриваемого примера

Проектирование рыбного хозяйства начинается с выбора объекта выращивания. Выбор вида во многом определяет параметры роста, производственные параметры и требования к качеству воды, а также производство отходов. Отходы выделяются в воду, где живут рыбы, ухудшая, таким образом, ее качество. Поэтому требуется постоянная проточность для удаления данных отходов от рыб. В проточной системе проточность рыбоводных бассейнов равна водообмену системы (Рисунок 21).

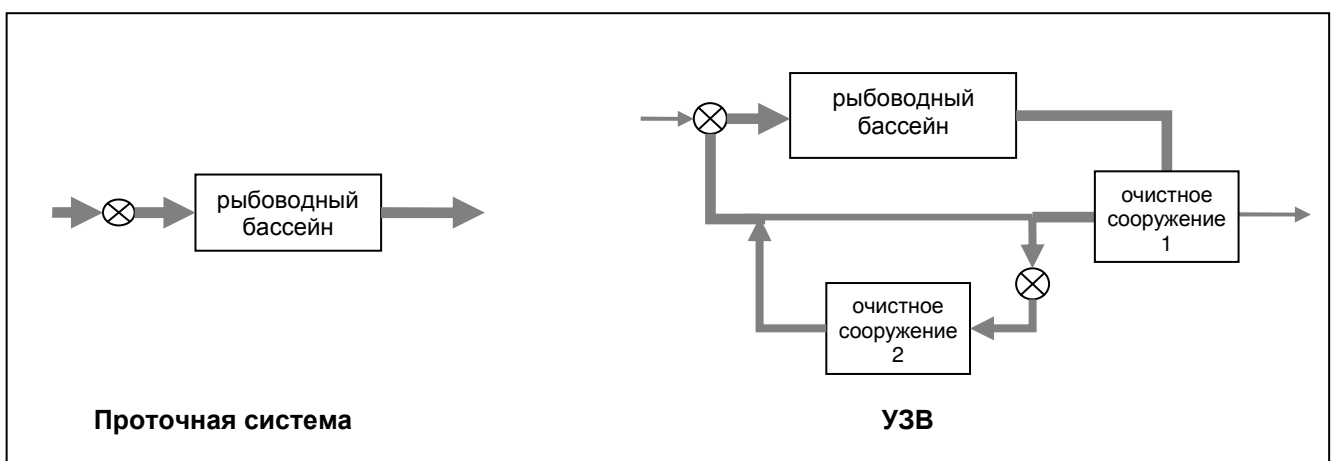


Рисунок 21: В проточной системе проточность рыбоводных бассейнов равна водообмену системы. В Установке Замкнутого Водоснабжения (УЗВ) вода, вытекающая из рыбоводных бассейнов, очищается и повторно используется. В различных очистных сооружениях может требоваться различная проточность, поэтому они иногда функционируют независимо друг от друга.

В Установке Замкнутого Водоснабжения (УЗВ) вода, вытекающая из рыбоводных бассейнов, очищается и повторно используется (Рисунок 21). Твердые частицы удаляются путем седиментации или фильтрации, кислород добавляется путем аэрации или оксигенации, углекислый газ удаляется с

помощью дегазации, а аммиак большей частью преобразовывается в нитрат (NO_3) путем нитрификации в аэробных биологических фильтрах. Водообмен в системе уменьшается после каждого этапа очистки в соответствии со следующим ограничивающим компонентом отходов. В традиционных системах УЗВ водообмен определяется концентрацией нитрата (Рисунок 21). В УЗВ последнего поколения нитрат преобразовывается в газообразный азот (N_2) путем денитрификации в анаэробных биологических фильтрах. В этих денитрификационных реакторах органическое вещество (предпочтительно внутреннего происхождения, т.е. несъеденный корм и экскременты из системы удаления твердых загрязнений) окисляются с помощью кислорода нитратной молекулы. Таким образом, эти УЗВ последнего поколения снижают не только потребление воды и выпуск азота (т.к. из них вымывается меньшее количество нитрата), но также выпуск органического вещества.

Для всех блоков УЗВ, рыбоводных и водоочистных единиц, существуют два основных вопроса: 1) объем протекающей через них воды и 2) их размеры (т.е. объем и форма).

В рыбоводных бассейнах проточность должна быть достаточно большой для удаления произведенных отходов и поддержания качества воды, подходящего для рыб. В каждой водоочистной единице проточность должна быть достаточной для обеспечения предназначенного к удалению количества питательных веществ (отходов). В различных очистных сооружениях может требоваться различная проточность, поэтому они иногда функционируют независимо друг от друга (Рисунок 21).

Необходимый объем рыбоводных бассейнов зависит от максимальной плотности посадки данных видов рыб. Требуемые объем и форма очистных сооружений зависят от их функциональных характеристик. В случае удаления твердых веществ, они зависят в первую очередь от гранулометрического состава. В случае биологических фильтров, объем зависит от удельной активности, выраженной в г удаленных отходов/ $\text{м}^3/\text{сут}$.

Из вышесказанного следует, что для проектирования УЗВ необходимо знать количество отходов, производимых за сутки. Поскольку все отходы происходят из кормов, т.е. все в кормах, что не задерживается в рыбах, превращается в отходы, данный вопрос сводится к необходимости знать суточные нормы кормления. Из-за меняющегося количества рыб на хозяйстве, являющегося следствием обловов и посадок, нормы кормления также меняются. При проектировании хозяйства следует брать за основу максимальное внесенное количество кормов, необходимое для достижения проектной мощности. Это, в свою очередь, может быть рассчитано из производственного плана. Наконец, производство отходов может быть определено из максимального внесенного количества кормов с помощью модели баланса питательных веществ, в которой для расчета количества твердых (экскременты) и растворенных отходов (выделение через жабры и почки) используются состав и усвояемость корма, состав рыб и интенсивность их дыхания.

9.1.2. Принципы модуля для денитрификации навоза

USB-MDR является цилиндрическим анаэробным (не содержащим свободного кислорода) реактором, подпитываемым потоком отходов из блока для удаления твердых веществ (Рисунок 21), содержащим растворенные и твердые фекальные органические отходы, бактериальные хлопья и неорганические соединения. Вода, содержащая отходы, поступает в реактор внизу в центре и создает восходящий поток. Скорость восходящего потока в реакторе меньше, чем скорость оседания крупногранульной фракции твердых отходов, вследствие чего в нижней части реактора возникает слой ила, содержащий оседающие твердые отходы. В этом слое фекальные твердые углеродсодержащие отходы разлагаются денитрифицирующими бактериями, результатом чего являются: (1) продукция бактериальной биомассы, (2) восстановление нитрата до газообразного азота и производство углекислого газа; (3) увеличение щелочности и (4) выработка тепла. Твердые отходы в слое ила служат также в качестве субстрата для роста денитрифицирующих бактерий. Отстоявшаяся вода покидает реактор через водослив с V-образным вырезом, расположенный в верхней части реактора. В сравнении с традиционной УЗВ, УЗВ с USB-MDR позволяет: уменьшить объем подпиточной воды, необходимой для контроля концентрации нитрата; сократить выпуск нитратного азота; снизить расход энергии благодаря меньшей потребности в подпиточной воде и выработке тепла бактериальной биомассой в USB-MDR; концентрировать твердые вещества, поступающие из барабанного фильтра; уменьшить размер/объем блока доочистки, поскольку USB-MDR уже концентрирует и разлагает твердые частицы; уменьшить размер сборов за выпуск питательных веществ (TAN, нитрата, органического N и органического вещества (ХПК)); увеличить щелочность и создать нейтральный pH для ведения рыбоводной деятельности. Недостатками являются: значительные инвестиции, необходимость обширных знаний для успешной эксплуатации, аккумуляция растворенных твердых веществ (Total Dissolved Solids, TDS).

9.1.3. Оценка избранных показателей устойчивости «SustainAqua»

Показателями устойчивости «SustainAqua», анализируемыми в данном модуле для гипотетической УЗВ мощностью 100 т без USB-MDR (традиционная УЗВ) и идентичной системы с USB-MDR, являются потребление ресурсов и выпуск отходов на килограмм выловленной рыбы, а также использование питательных веществ, выраженное в процентах от их ввода (см. Таблица 43).

	Традиционная УЗВ	УЗВ с USB-MDR		Традиционная УЗВ	УЗВ с USB-MDR
Использование ресурсов			Выпуск отходов		
Сеголетки (шт./кг)	1,2	1,2	Азот		
Корма (кг/кг)	1,22	1,22	Твердый (г/кг)	8.5	2.6
Электричество (кВт.ч/кг)	1,8	2,2	Растворенный (г/кг)	37.4	5.9
Отопление (кВт.ч/кг)	3,4	0,0	Фосфор		
Вода (л/кг)	238	38	Твердый (г/кг)	4.5	7.2
Кислород (кг/кг)	1,18	1,26	Растворенный (г/кг)	3.8	1.3
Бикарбонат (г/кг)	252	107 ^a	ХПК		
Труд (ч/т)	12,5	13,1	Твердые (г/кг)	189	84
			Растворенные (г/кг)	40	9
Использование питательных веществ			ОПК		
Азот (% от ввода)	32	32	Твердые (г/кг)	227	95
Фосфор (% от ввода)	43	43	Растворенные (г/кг)	48	11
ХПК (% от ввода)	32	32	CO₂ (кг/кг, в т.ч. газ)	1.58	1.10
ОПК (% от ввода)	32	32	TDS (г/кг)	62	28
			Удельная проводимость (мкСм/см)	1060	2000

а) На практике, если применяется денитрификация, потребность в бикарбонате (щелочности) равна нулю.

Таблица 43: Оценка показателей устойчивости «SustainAqua» в модуле USB-MDR

9.1.4. Факторы успеха и ограничивающие факторы

В голландском примере интеграция реактора для денитрификации навоза (USB) в традиционную УЗВ имела следующие:

Факторы успеха

- Потребление воды, энергии и щелочности в традиционной УЗВ могут быть сильно сокращены
- Расход энергии значительно меньше, чем в традиционной УЗВ, поскольку: (а) контроль концентрации нитрата требует обмена и, соответственно, подогревания меньших объемов воды и (b) бактериальная биомасса вырабатывает значительное количество тепла путем повторного использования и окисления питательных веществ, которые иначе были бы потеряны.
- Если цикл рециркуляции содержит USB, то выпуск отходов является меньшим (разложение) и более концентрированным (из-за выбора процесса очистки), чем в традиционной УЗВ. Возможна дальнейшая концентрация отходов, очищая ил из USB с помощью системы «Geotubes®».

Перспективы

- В будущем в условиях рыбоводства, если нитратный азот не может контролироваться с помощью USB-MDR, составление (изменение) рецептур кормов с целью повышения соотношения C/N в отходах рыб может быть полезным методом для контроля аккумуляции нитрата путем денитрификации. Таким образом, потребление воды, энергии и щелочности может быть снижено.
- Дальнейшее повышение общественного признания устойчивости производства рыбы в УЗВ в будущем может потребовать использования кормов, содержащих растительные протеины. Настоящее исследование не выявило значимого влияния кормов с растительными протеинами

на эффективность работы USB-MDR. Однако концентрация ортофосфатного Р была значительно выше в УЗВ, где рыбы получали корма с растительными протеинами, чем в УЗВ, где они получали корма на основе рыбной муки.

Ограничивающие факторы

- Нильская тилляпия весом до ±150 г может выращиваться в рециркуляционных системах с почти закрытым водоснабжением, где водообмен составляет 30 л на килограмм корма в сутки (с USB), без отрицательного влияния на физическое благополучие рыб. С другой стороны, у более крупных рыб (±300 г), по-видимому, появляется тенденция к задержке роста, когда они выращиваются в УЗВ опытного масштаба с USB-MDR при таком же обмене воды. Однако этот эффект не наблюдался в коммерческой УЗВ (информация от ZonAquafarming BV)
- Эксплуатация системы требует больших инвестиций и большего объема знаний.

9.1.5. Преимущества применения системы

Общие преимущества и трудности применения USB-MDR в традиционной УЗВ основаны на примере гипотетического хозяйства, производящего тилляпию, мощностью 100 тонн (т.е. ежегодно реализующего 100 т рыбы). В примере были использованы научные данные (AFI-WUR) и данные по товарному выращиванию в УЗВ (ZONAQUAFARMING BV). Указанные преимущества и трудности основаны на сравнении традиционной УЗВ с УЗВ, интегрированной с инновацией USB-MDR.

Ожидаемыми преимуществами и трудностями применения USB-MDR и системы «Geotube®» в УЗВ по сравнению с УЗВ без USB-MDR и «Geotube®» являются:

Преимущества

Использование ресурсов:

- Снижение расходов на энергию: 3 кВт.ч/кг выловленной рыбы
- Снижение потребления воды: 200 л/ кг выловленной рыбы
- Снижение потребления бикарбоната: 252 г/кг выловленной рыбы

Повторное использование питательных веществ:

- Повторное использование питательных веществ бактериями и их преобразование в 0,5 кВт.ч/кг произведенной рыбы

Выпуск питательных веществ:

- Снижение на 81% в случае N,
59% в случае ХПК,
61% в случае ОПК,
30% в случае CO₂¹⁾
58% в случае TDS

Объем ила:

- Снижение объема: 7,3 л на кг корма, используя систему «Geotube®»
-

Трудности

- Большие инвестиции (±52800 евро за USB-MDR, дополнительный материал для биофильтра и дополнительный объем), чем в традиционной УЗВ
 - Может потребоваться барабанный фильтр с большей способностью к удалению TSS, поскольку TSS не полностью задерживается в USB-MDR. В экспериментах, проведенных в опытном масштабе, эффективность удаления TSS (%) в USB-MDR составляла 65 ± 18 (средняя ± S.D; N=7).
 - Эксплуатация УЗВ с USB-MDR требует больших знаний
 - Соотношение C:N в отходах жизнедеятельности рыб может ограничивать эффективность удаления нитрата
-

¹⁾ Снижение выпуска углекислого газа является следствием экономии ископаемого топлива.

В целом, в экономических условиях Нидерландов данный пример показывает снижение себестоимости обловленной рыбы на 10% в УЗВ с USB-MDR по сравнению с УЗВ без USB-MDR.

9.2. От примера до рыбного хозяйства: Интеграция денитрифицирующего USB-MDR в УЗВ мощностью 100 т для выращивания тилапии

9.2.1. Введение

В данном примере представлено влияние интеграции денитрифицирующего USB-MDR в УЗВ мощностью 100 т для выращивания тилапии на показатели устойчивости. Сравниваются традиционная УЗВ и УЗВ с USB-MDR. Отправной точкой служит концепция и результаты интенсивного выращивания тилапии в УЗВ «ZonAquafarming B.V.» (Рисунок 22).

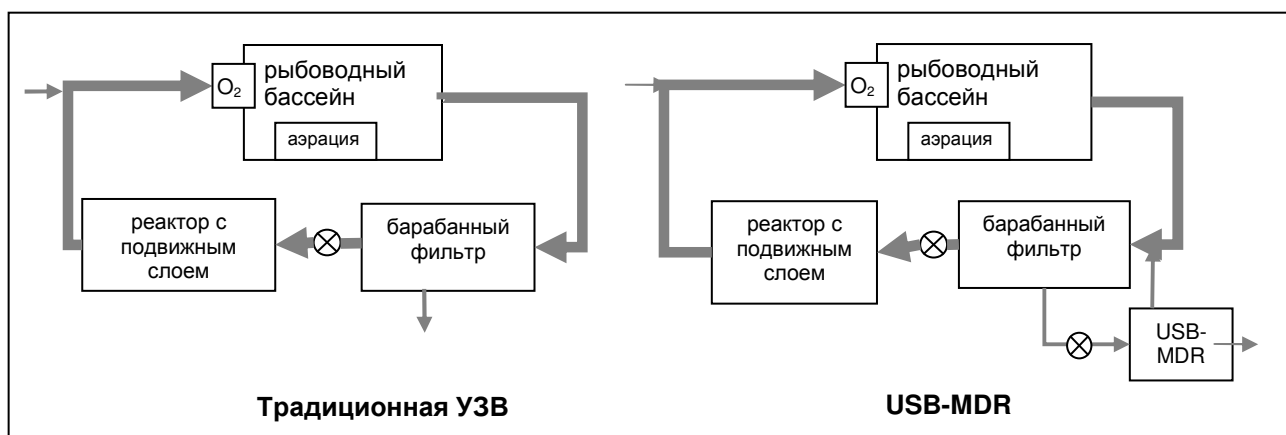


Рисунок 22: В настоящем примере сравниваются традиционная УЗВ и УЗВ с USB-MDR, обе согласно концепции ZonAquafarming B.V.

Данный пример представлен в форме руководства, дающего указания по разработке курса проектирования и эксплуатации USB-MDR. Шаги, необходимые для проектирования УЗВ, представлены в Таблица 44. Эти шаги будут обсуждаться в последующих разделах.

Объект аквакультуры	Тилапия		Производство отходов
Параметры роста			Состав рыб
Вес при посадке	70	граммов	Состав корма
Товарный вес	845	граммов	Усвояемость
Время	24	недель	Потребление кислорода рыбами
Потребление корма			Проточность
Кормовой коэффициент	1,34		Предельно допустимые показатели качества воды
Максимальная плотность рыб	140	кг/м ³	Водообмен рыбоводных бассейнов
Смертность	0,5	%	Водообмен системы
Производственный план			Проточность, необходимая для очистки
Проектная мощность	100	т/год	Системы очистки
Этапы выращивания	2		Результаты
Режим посадок/обловов	3	недели	Потоки N, P и ХПК
Максимальное количество корма	349	кг/сут.	Показатели устойчивости

Таблица 44: Шаги проектирования УЗВ

9.2.2. Осуществление

Объект выращивания

Первый необходимый выбор, выбор выращиваемого вида, уже сделан: это нильская тилапия (*Oreochromis niloticus*). Подобный выбор часто делается на основе рыночной стоимости рыбы. Главным аспектом, который необходимо принять во внимание для достижения экономической устойчивости, должна быть разница между рыночной ценой и себестоимостью, определяемой в интенсивных системах, главным образом, продуктивностью (кг/м³/год).

Параметры роста

Выбор объекта выращивания и его рыночной позиции в значительной мере определяет и параметры роста, т.е. вес при посадке и товарный вес. Кривая роста рыбы определена временем, необходимым для достижения товарного веса, что, в свою очередь, определяется потреблением корма и кормовым коэффициентом, которые оба зависят от массы тела. От массы тела зависит и смертность, которую необходимо знать для расчета количества рыб, высаживаемых в одном цикле. Наконец, выбор вида также определяет необходимые условия выращивания, такие как максимальная плотность рыб и требуемое качество воды (качество воды будет обсуждаться в разделе **Проточность**).

В данном примере были выбраны вес при посадке 70 г и вес при вылове 845 г, на основе показателей роста и потребления корма тилапии, выращиваемой в ZonAquafarming B.V. (см. Рисунок 23). Необходимо отметить, что линия тилапии, используемая в ZonAquafarming B.V., была выведена путем селекции в течение нескольких поколений. Большинство коммерческих пород тилапии растет менее быстро и, в частности, с трудом достигает веса более чем 600-700 г в интенсивных условиях.

Тилапия в настоящем примере достигала товарного размера за 24 недели при кумулятивной выживаемости 99,5%. Дальнейшие расчеты см. во вставке 1 раздела **Производственный план**.

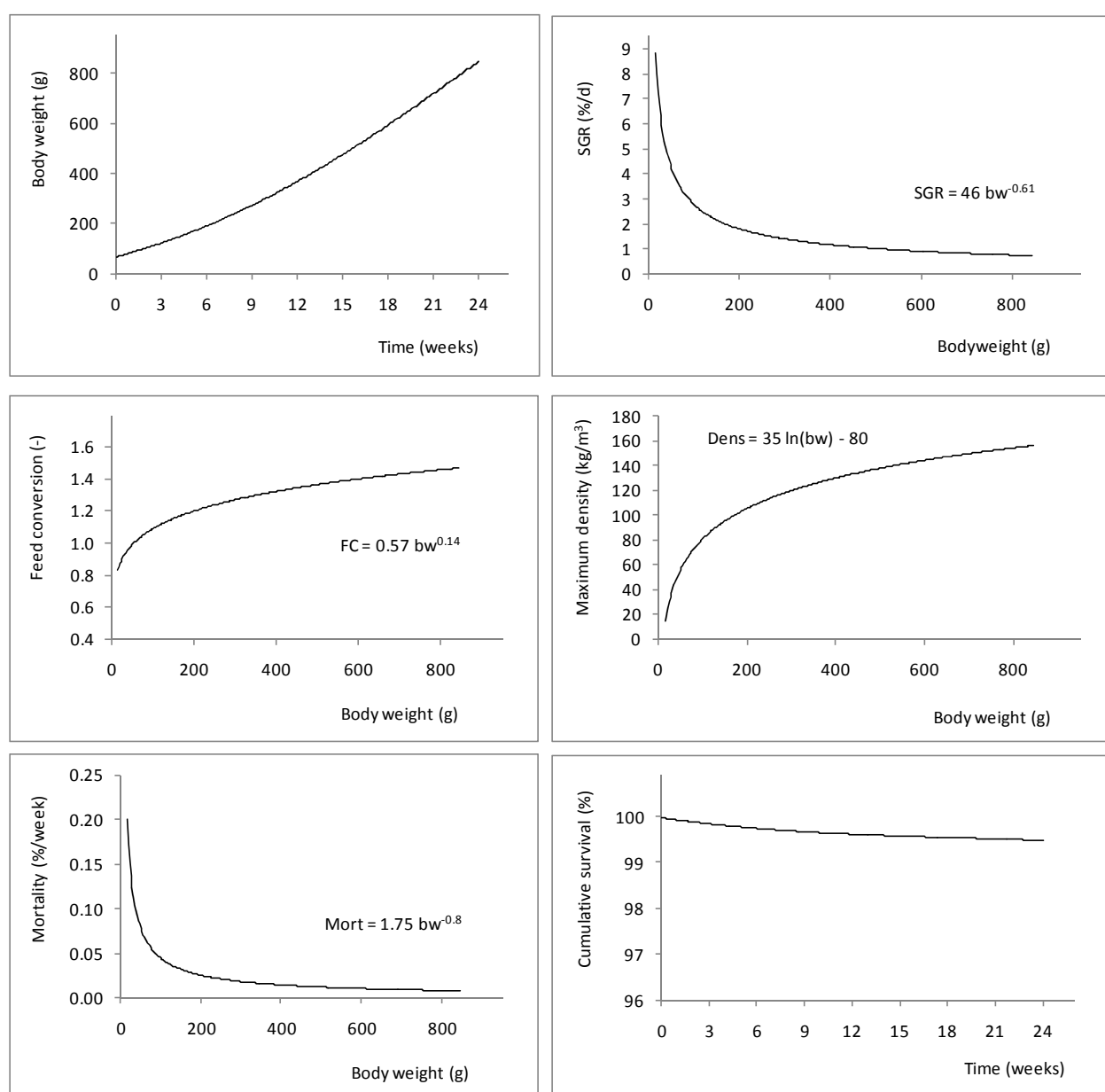


Рисунок 23: Параметры роста и производственные параметры тилапии в ZonAquafarming B.V. (Body weight - Масса тела; Time - Время; Weeks - Недели; SGR - УСП; Feed conversion - Кормовой коэффициент; Maximum density - Максимальная плотность; Mortality - Смертность; Cumulative survival - Кумулятивная выживаемость).

Производственный план

После выбора вида и параметров роста составляется производственный план. Он содержит проектную мощность (в данном случае, 100 т/год), число этапов выращивания (здесь 2, поделенных на середине срока, т.е. после 12 недель) и режим посадок/обловов (здесь каждые 3 недели).

Примечание: Хозяйство мощностью 100 т дает выход 100 т товарной рыбы. Так как это требует посадки 8,3 т посадочного материала, реальный прирост составляет только 91,7 т.

Из производственного плана можно определить, сколько возрастно-весовых групп рыб находится одновременно на хозяйстве, а зная вес и количество рыб в данных группах, можно рассчитать общую суточную потребность в кормах, выраженную в килограммах.

В производственном плане ZonAqua farming B.V. используются 12 рыбоводных бассейнов (24 недели/ 2 этапа выращивания). Они разделены на блоки по 3 бассейна, соединенные закрывающимися и открывающимися трубами, по которым рыбы могут перемещаться. Таким образом, рыбы из одного бассейна могут быть распределены в два бассейна, открыв трубу, ведущую в соседний пустой бассейн. Каждые 3 недели один из 3 бассейнов (не средний) зарыбляется 6 862 рыбами весом по 70 г. После 12 недель рыбы весом по 370 г распределяются по 2 бассейнам, как описано выше. Одновременно третий бассейн зарыбляется новой группой 70-граммовых рыб. После 24 недель 2 бассейна с товарной рыбой облавливаются, рыба в третьем бассейне распределяется по 2 бассейнам, а первый бассейн зарыбляется новой группой 70-граммовых рыб. Этот производственный план представлен в Таблица 45, вместе с итоговым планом хозяйства, формой и объемом бассейнов, объемом воды в системе и потребностью в труде.

Вставка 1. Расчеты при составлении производственного плана.

Количество вылавливаемой рыбы равно $100\ 000\ (\text{кг/год})/0,845\ (\text{кг/шт.}) = 118\ 343$ рыб в год или $118\ 343 \cdot (3/52) = 6\ 828$ рыб в возрастно-весовой группе. $3/52 =$ количество обловов/посадок в год.

Итак, количество высаживаемой рыбы равно $118\ 343/0,995$ (кумулятивная выживаемость) $\approx 118\ 946$ рыб в год или $118\ 946 \cdot (3/52) = 6\ 862$ рыб в возрастно-весовой группе.

Смертность за первую неделю равна $1,75 \cdot 70^{-0,8} = 0,058\%$; таким образом, количество рыб в бассейне после 1 недели составляет $6\ 862 \cdot (1 - 0,00058) = 6\ 858$.

Требуемый объем бассейнов равен максимальному требуемому объему в конце этапов 1 и 2. Итак, в данном случае, требуемый объем после 12 недель равен $2\ 516\ (\text{кг/бассейн}) / (35 \cdot \ln(368) - 80) = 19,8\ \text{м}^3$. По проектным соображениям реальный объем одного бассейна составляет $20,5\ \text{м}^3$, а общий объем всех бассейнов – $246\ \text{м}^3$.

После 1 недели биомасса в одном бассейне равна $6\ 858 \cdot 0,087\ (\text{кг/шт.}) = 597\ \text{кг}$. Итак, плотность рыб составляет $597/20,5 = 29\ \text{кг/м}^3$.

Прирост рыб после 1 недели равен $87 \cdot (46 \cdot 87^{-0,61})/100 = 2,6\ \text{г}$ на особь в сутки. Общая продукция в бассейне составляет $0,026 \cdot 6\ 858 = 18\ \text{кг}$ в сутки.

От начала работы хозяйства, биомасса находящаяся на хозяйстве рыб постепенно растет из-за их роста и посадки новых возрастно-весовых групп. В то же время, ввод корма, т.е. количество в килограммах, выдаваемое ежедневно, также растет (Таблица 46). Максимальный ввод корма достигается после 24 недель, когда первая группа достигает товарного веса. После этого колебания следуют так называемой «пилообразной» функции (Рисунок 24). Хозяйство спроектировано исходя из максимального ввода корма, в настоящем примере: 349 кг/сут.

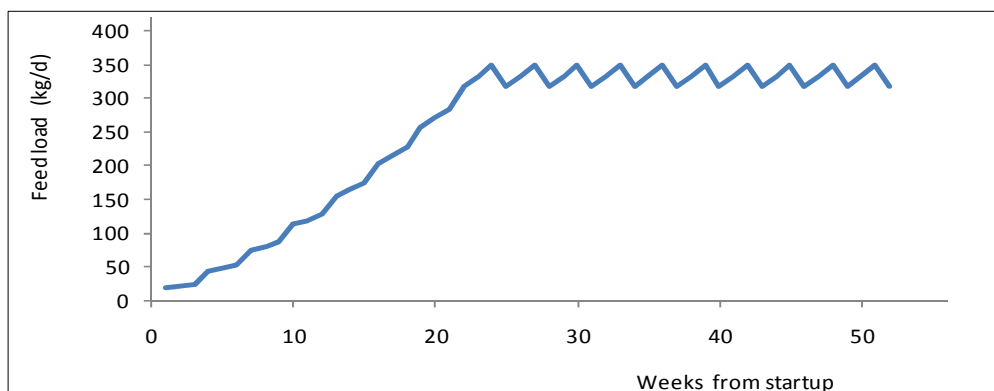


Рисунок 24: Максимальный ввод корма достигается после 24 недель, когда первая возрастно-весовая группа достигает товарного веса. В это время (см. таблицу 45) на хозяйстве находятся 8 групп. Когда первая вылавливается и заменяется мелкими рыбами, ввод корма падает, потом опять растет из-за роста рыб. Этот процесс продолжается, и в количестве введенного корма отмечаются пилообразные колебания. (Feed load - Ввод корма; Weeks from startup - Недели от начала эксплуатации)

РЫБОВОДНЫЕ БАССЕЙНЫ										
Количество бассейнов (блоков по 3 бассейна)	12	шт.		Количество выловленных рыб	6 828	шт./группа	118 343	шт./год		
Требуемый общий объем бассейнов	238	м3		Количество посаженных рыб	6 862	шт./группа	118 946	шт./год		
Требуемый объем одного бассейна	19,8	м3								
Общая глубина бассейна	1,6	м		Труд	общий	3	ч/сут.			
Ширина стенки бассейна	0,2	м			посадка	3	ч/группа			
Глубина воды в бассейне	1,3	м			облов	6	ч/группа			
Необходимая площадь одного бассейна	15	м2			итого	1251	ч/год			
Соотношение длина : ширина	4									
Проектная длина, округленная до 0,1 м	7,90	м								
Проектная ширина, округленная до 0,1 м	2,00	м								
Общая площадь бассейнов	190	м2		Вода в бассейнах	246	м3	Объем системы	384	м3	
Общая площадь бассейнов, вкл. стенки	239	м2								

РАЗМЕРЫ СИСТЕМЫ И ПОКАЗАТЕЛИ РОСТА ТИЛЯПИИ									
	Объем:	20,5	м3/бассейн	Бассейнов:	12	шт.			
Время недели	Вес г/рыба	Плотность кг/м3	Поголовье кг/бассейн	Посадка шт./бассейн	Прирост г/рыба	Производство кг/бас./сут.	КК	Корма кг/сут.	
1	87	29	597	6858	2,6	18	1,07	19	
2	106	35	727	6855	2,8	19	1,10	21	
3	126	42	863	6852	3,0	21	1,12	24	
4	147	49	1007	6849	3,2	22	1,15	25	
5	169	56	1157	6847	3,4	23	1,17	27	
6	193	64	1321	6845	3,6	25	1,19	30	
7	218	73	1492	6843	3,8	26	1,21	31	
8	245	82	1677	6842	3,9	27	1,23	33	
9	273	91	1868	6840	4,1	28	1,25	35	
10	303	101	2073	6839	4,3	29	1,27	37	
11	335	112	2291	6838	4,4	30	1,29	39	
12	368	122	2516	6836	4,6	31	1,30	40	
13	403	67	1377	3418	4,8	16	1,32	21	
14	439	73	1500	3417	4,9	17	1,34	23	
15	476	79	1626	3417	5,1	17	1,35	23	
16	514	85	1756	3417	5,2	18	1,37	25	
17	553	92	1889	3416	5,4	18	1,38	25	
18	592	98	2022	3416	5,5	19	1,39	26	
19	633	105	2162	3415	5,7	19	1,41	27	
20	674	112	2302	3415	5,8	20	1,42	28	
21	716	119	2445	3415	6,0	20	1,43	29	
22	759	126	2591	3414	6,1	21	1,44	30	
23	802	133	2738	3414	6,2	21	1,45	31	
24	845	140	2884	3414	6,4	22	1,46	32	

БЛОКИ ПО 3 БАССЕЙНА			
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РЫБ ПО 2 БАССЕЙНАМ			
Бассейн 1	Бассейн 2	Бассейн 3	
шт./бассейн	шт./бассейн	шт./бассейн	
6858	3418	3418	
6855	3417	3417	
6852	3417	3417	
6849	3417	3417	
6847	3416	3416	
6845	3416	3416	
6843	3415	3415	
6842	3415	3415	
6840	3415	3415	
6839	3414	3414	
6838	3414	3414	
6836	3414	3414	
3418	3418	6858	
3417	3417	6855	
3417	3417	6852	
3417	3417	6849	
3416	3416	6847	
3416	3416	6845	
3415	3415	6843	
3415	3415	6842	
3415	3415	6840	
3414	3414	6839	
3414	3414	6838	
3414	3414	6836	

Таблица 45: Производственный план выращивания тилапии в ZonAqua farming B.V. Потребность в труде и объем системы указаны для традиционной УЗВ.

СР.	333	кг/сут.	ПОСАДКА новых рыб в 1 бассейн каждые 3 недели											
МИН.	318	кг/сут.	ОБЛОВ товарной рыбы из 2 бассейнов каждые 3 недели											
МАКС.	349	кг/сут.												
неделя	кг корма	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	19	19												
2	21	21												
3	24	24												
4	44	25			19									
5	48	27			21									
6	53	30			24									
7	76	31			25			19						
8	81	33			27			21						
9	88	35			30			24						
10	113	37			31			25			19			
11	120	39			33			27			21			
12	129	40			35			30			24			
13	155	21	21	19	37			31			25			
14	165	23	23	21	39			33			27			
15	175	23	23	24	40			35			30			
16	204	25	25	25	21	21	19	37			31			
17	215	25	25	27	23	23	21	39			33			
18	228	26	26	30	23	23	24	40			35			
19	258	27	27	31	25	25	25	21	21	19	37			
20	271	28	28	33	25	25	27	23	23	21	39			
21	285	29	29	35	26	26	30	23	23	24	40			
22	318	30	30	37	27	27	31	25	25	25	21	21	19	
23	332	31	31	39	28	28	33	25	25	27	23	23	21	
24	349	32	32	40	29	29	35	26	26	30	23	23	24	
25	318	19	21	21	30	30	37	27	27	31	25	25	25	
26	332	21	23	23	31	31	39	28	28	33	25	25	27	
27	349	24	23	23	32	32	40	29	29	35	26	26	30	
28	318	25	25	25	19	21	21	30	30	37	27	27	31	
29	332	27	25	25	21	23	23	31	31	39	28	28	33	
30	349	30	26	26	24	23	23	32	32	40	29	29	35	
31	318	31	27	27	25	25	25	19	21	21	30	30	37	
32	332	33	28	28	27	25	25	21	23	23	31	31	39	
33	349	35	29	29	30	26	26	24	23	23	32	32	40	
34	318	37	30	30	31	27	27	25	25	25	19	21	21	
35	332	39	31	31	33	28	28	27	25	25	21	23	23	
36	349	40	32	32	35	29	29	30	26	26	24	23	23	
37	318	21	21	19	37	30	30	31	27	27	25	25	25	
38	332	23	23	21	39	31	31	33	28	28	27	25	25	
39	349	23	23	24	40	32	32	35	29	29	30	26	26	
40	318	25	25	25	21	21	19	37	30	30	31	27	27	
41	332	25	25	27	23	23	21	39	31	31	33	28	28	
42	349	26	26	30	23	23	24	40	32	32	35	29	29	
43	318	27	27	31	25	25	25	21	21	19	37	30	30	
44	332	28	28	33	25	25	27	23	23	21	39	31	31	
45	349	29	29	35	26	26	30	23	23	24	40	32	32	
46	318	30	30	37	27	27	31	25	25	25	21	21	19	
47	332	31	31	39	28	28	33	25	25	27	23	23	21	
48	349	32	32	40	29	29	35	26	26	30	23	23	24	
49	318	19	21	21	30	30	37	27	27	31	25	25	25	
50	332	21	23	23	31	31	39	28	28	33	25	25	27	
51	349	24	23	23	32	32	40	29	29	35	26	26	30	
52	318	25	25	25	19	21	21	30	30	37	27	27	31	

Таблица 46: Изменения ввода корма от начала эксплуатации. Максимальная нагрузка после 24 недель (красная рамка)

Производство отходов

Производство рыбы неизбежно сопровождается производством отходов. Примерами являются производство экскрементов, выделение аммиака (NH₃) и углекислого газа (CO₂), а также потребление кислорода (O₂). Эти отходы выделяются в воду, где обитают рыбы, тем самым ухудшая ее качество. Их удаление требует постоянного протока воды. Для расчета необходимого протока (см. раздел **Проточность**) надо знать количество отходов, произведенных за единицу времени.

Для этого в данном примере количество азота (N), фосфора (P) и химического потребления кислорода (ХПК) определяется с помощью модели баланса питательных веществ (Рисунок 25). ХПК равно количеству кислорода, необходимого для окисления 1 кг вещества, и, таким образом, может использоваться как общий показатель содержания органического вещества в рыбах, кормах, отходах и бактериальном материале. Органическая фракция состоит из белков, жиров и углеводов. Окисление белков не является полным – органический азот не окисляется. Зная состав органического вещества, ХПК может быть рассчитано как сумма белков * 1,38, жиров * 2,78 и углеводов * 1,21.

Примечание: Органический азот может окисляться, как и NH₄-N, до NO₃-N. Это теоретически требует 4,57 г O₂/г N. Прибавив это к значению ХПК, мы получим общее потребление кислорода (ОПК). Рыбы в процессе утилизации кормов и роста также окисляют часть органического вещества кормов. Поэтому потребление кислорода рыбами (дыхание) может быть выражено непосредственно как ХПК (1).

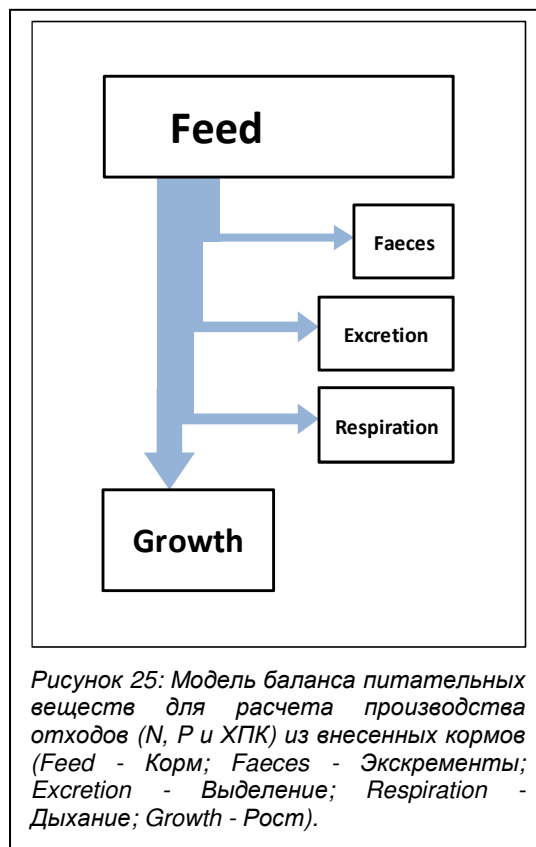


Рисунок 25: Модель баланса питательных веществ для расчета производства отходов (N, P и ХПК) из внесенных кормов (Feed - Корм; Faeces - Экскременты; Excretion - Выделение; Respiration - Дыхание; Growth - Рост).

Вес рыб		Белки	Жиры	Зола	P	E	ХПК	Усв _N	Усв _P	Усв _{ХПК}
При посадке	При вылове	%	%	%	%	кДж/г	г/кг	%	%	%
70	845	38	11	11,1	1,2	18,4	1 192	0,90	0,60	0,85

Таблица 47: Состав корма и усвояемость N, P и ХПК.

Для расчета количества произведенных отходов при скармливании 1 кг корма, необходимо знать состав и усвояемость данного корма (Таблица 47) и состав тела рыб (Рисунок 26). Выделение N и P может быть рассчитано как разница между усвояемой частью съеденного корма (корм минус экскременты) и ростом. Потребление кислорода рыбой может быть рассчитано как:

$$\text{ХПК}_{\text{дыхание}} = (\text{ME}_m + [1 - k_g] * \text{ED}) / \text{ОСЕ} \quad (1)$$

где:

ME_m = потребность в энергии для поддержания физиологического состояния; в случае тилляпии, 65 кДж/кг^{0,8}/сут.

ED = отложение энергии (прирост, выраженный в энергии, кДж/рыба/сут.)

k_g = предельная эффективность отложения энергии; в случае тилляпии, 0.7

ОСЕ = калорический эквивалент кислорода, 14,2 кДж/г O₂

На основе этих шагов, производство отходов при максимальной кормовой нагрузке в настоящем примере, т.е. хозяйстве мощностью 100 т для производства тилляпии, представлено в Таблица 48. Хотя рыбы непосредственно не выделяют ХПК, небольшое количество ХПК отсутствует из баланса (ХПК_{остаток}). Это количество, вероятно, происходящее из растворенных несъеденных кормов и экскрементов, считается как «ХПК_{выделение}».

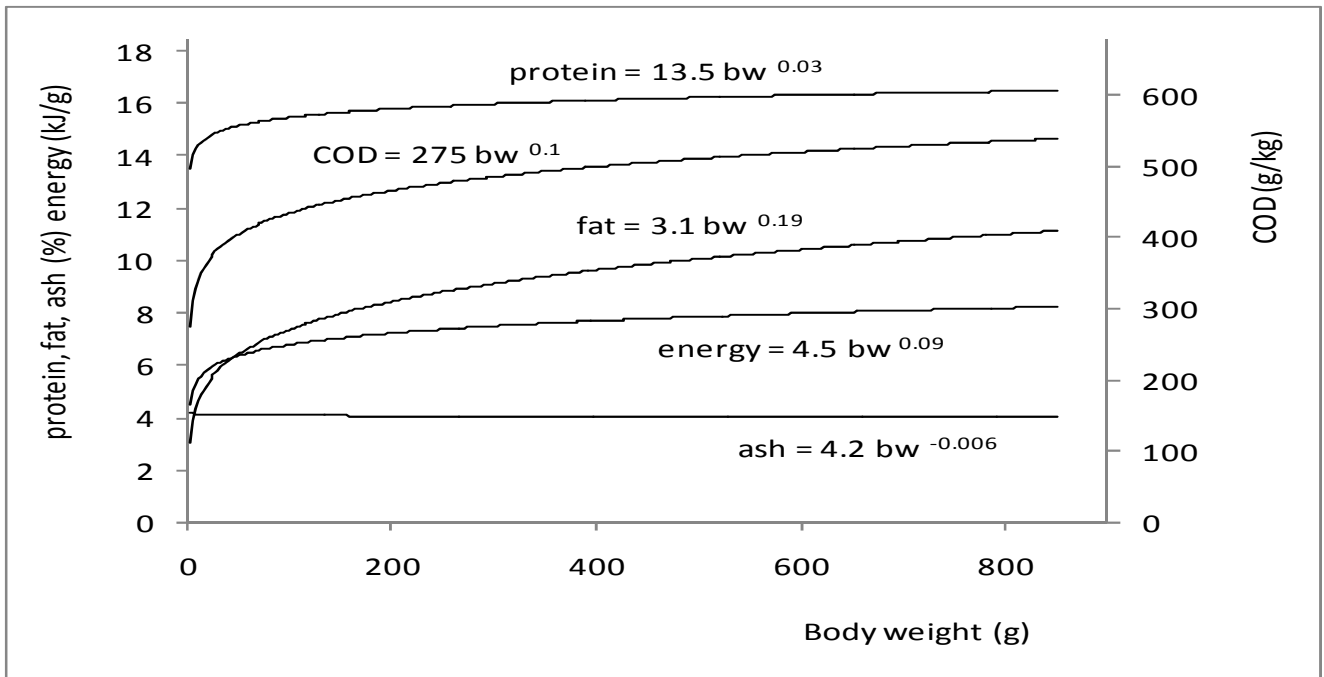


Рисунок 26: Состав всего тела тилпии в ZonAquaculture B.V. в зависимости от массы тела (Protein - Белок; Fat - Жир; Ash - Зола; Energy - Энергия; COD - ХПК; Body weight - Масса тела).

Вставка 2. Расчет производства отходов при максимальном вводе корма.

Состав тела рыб из возрастно-весовой группы 8: $N_{\text{рыба}} = 0,16 * 13,5 * 126^{0,03} * 10 = 25,0$ г N/кг, $P_{\text{рыба}} = 0,17 * 4,2 * 126^{-0,006} * 10 = 6,9$ г P/кг, $XPK_{\text{рыба}} = 275 * 126^{0,1} = 446$ г ХПК/кг и $E_{\text{рыба}} = 4,5 * 126^{0,09} = 7,0$ МДж/кг. **Примечание:** Белок рыб содержит 16% N, а зола рыб – 17% P.

Состав и усвояемость корма берутся из таблицы 47. Белок корма также содержит 16% N.

Количество скормленных N, P и ХПК могут быть рассчитаны, например, $N_{\text{скормленный}} = 24$ (кг съеденного корма) * 0,0608 (кг N/кг корма) $\approx 1,43$ кг N/сут.

Количества N, P и ХПК в экскрементах могут быть рассчитаны из усвояемости, например, $N_{\text{экскременты}} = (1 - 0,9) * 1,43 = 0,14$ кг N/сут.

Количества N, P и ХПК в приросте могут быть рассчитаны как, например, $N_{\text{прирост}} = 21$ (кг прироста) * 0,025 (кг $N_{\text{рыба}}/\text{кг}$) $\approx 0,52$ кг N/сут.

Выделение N и P может быть рассчитано как, например, $N_{\text{скормленный}} - N_{\text{прирост}} - N_{\text{экскременты}} = 1,43 - 0,52 - 0,14 = 0,76$ кг N/сут.

Чтобы рассчитать ХПК, окисленное при дыхании рыб, сначала требуется рассчитать отложение энергии: $ED = 21$ (кг прироста) * 7,0 (МДж/кг) = 147 МДж/сут. Итак, $XPK_{\text{дыхание}} \text{рыба} \text{ составляет } [(65/1000 * 0,126^{0,8} * 6\ 852) + (1 - 0,7) * 147] / 14,2 \approx 9,6$ кг ХПК/сут.

Бассейн	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Итого	
Группа	1a	1b	5	2a	2b	6	3a	3b	7	4a	4b	8		
Недель	24	24	12	21	21	9	18	18	6	15	15	3		
Масса тела	845	845	368	716	716	273	592	592	193	476	476	126	24,5	макс. вес (т)
Количество	3414	3414	6836	3415	3415	6840	3416	3416	6845	3417	3417	6852		
Корм	32	32	40	29	29	35	26	26	30	23	23	24	349	кг/сут.
КК	1,46	1,46	1,30	1,43	1,43	1,25	1,39	1,39	1,19	1,35	1,35	1,12	1,34	-
Рост	22	22	31	20	20	28	19	19	25	17	17	21	261	кг/сут.
N _{рыба}	26,4	26,4	25,8	26,3	26,3	25,6	26,2	26,2	25,3	26,0	26,0	25,0		
R _{рыба}	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9		
XПК _{рыба}	540	540	496	531	531	482	521	521	465	509	509	446		
E _{рыба}	8,3	8,3	7,7	8,1	8,1	7,5	8,0	8,0	7,2	7,8	7,8	7,0		
N _{корм}	60,8	60,8	60,8	60,8	60,8	60,8	60,8	60,8	60,8	60,8	60,8	60,8		
R _{корм}	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0		
XПК _{корм}	1192	1192	1192	1192	1192	1192	1192	1192	1192	1192	1192	1192		
УСВ _N	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90		
УСВ _R	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60		
УСВ _{XПК}	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85		
N _{скормленный}	1,96	1,96	2,46	1,74	1,74	2,13	1,61	1,61	1,81	1,40	1,40	1,43	21,2	кг/сут.
N _{прирост}	0,58	0,58	0,80	0,53	0,53	0,72	0,50	0,50	0,63	0,44	0,44	0,52	6,8	кг/сут. 32 % съеденного
N _{экскременты}	0,20	0,20	0,25	0,17	0,17	0,21	0,16	0,16	0,18	0,14	0,14	0,14	2,1	кг/сут. 6 г/кг корма
N _{выделение}	1,18	1,18	1,41	1,04	1,04	1,20	0,95	0,95	1,00	0,82	0,82	0,76	12,3	кг/сут. 35 г/кг корма
R _{скормленный}	0,39	0,39	0,48	0,34	0,34	0,42	0,32	0,32	0,36	0,28	0,28	0,28	4,2	кг/сут.
R _{прирост}	0,15	0,15	0,21	0,14	0,14	0,19	0,13	0,13	0,17	0,12	0,12	0,15	1,8	кг/сут. 43 % съеденного
R _{экскременты}	0,15	0,15	0,19	0,14	0,14	0,17	0,13	0,13	0,14	0,11	0,11	0,11	1,7	кг/сут. 5 г/кг корма
R _{выделение}	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,04	0,05	0,05	0,02	0,7	кг/сут. 2 г/кг корма
XПК _{скормленное}	38,4	38,4	48,2	34,1	34,1	41,7	31,6	31,6	35,5	27,4	27,4	28,1	416	кг/сут.
XПК _{прирост}	11,9	11,9	15,4	10,6	10,6	13,5	9,9	9,9	11,6	8,7	8,7	9,4	132	кг/сут. 32 % съеденного
XПК _{экскременты}	5,8	5,8	7,2	5,1	5,1	6,3	4,7	4,7	5,3	4,1	4,1	4,2	62	кг/сут. 179 г/кг корма
XПК _{дыхание}	18,1	18,1	19,9	16,0	16,0	16,2	14,0	14,0	12,9	11,9	11,9	9,6	179	кг/сут. 512 г/кг корма
XПК _{остальное}													43	кг/сут. 124 г/кг корма

Таблица 48: Производство отходов при максимальном вводе корма

Проточность

Удаление отходов и пополнение кислорода в такой мере, чтобы качество воды оставалось в пределах, приемлемых для рыб, требует постоянного протока воды через бассейны. Очистные сооружения также требуют постоянного течения воды, снабжающей их удаляемыми отходами. Общей формулой для расчета необходимой проточности является следующая:

$$q = \text{abs} [k * P / \Delta C] \quad (2)$$

q = проточность в данном блоке (м³/время)

k = фактор поправки на суточные колебания в производстве отходов (k ≥ 1)

P = производство отходов (или потребление O₂) (г/время)

ΔC = разница между C_{лимит} (ограничивающей (=выходящей) концентрацией данного вещества) и C_{вход} (входящей концентрацией данного вещества), обеих в г/м³.

Абсолютное значение берется потому, что некоторые значения продукции давали отрицательную величину, а также поскольку в случае рыбоводных бассейнов и очистных сооружений разницы концентраций были с обратными знаками. Указанная формула действительна только в случае более или менее идеально смешанных компонентов и, поэтому, не применима к взвешенным твердым веществам, размер частиц которых может варьировать в широких пределах, от целых частиц кормов или экскрементов, размером несколько миллиметров, до частиц, измеряющихся микрометрами. Некоторые различия возможны также в условиях экстремального поршневого режима потока, например, в длинных прямоугольных бассейнах с долгим временем гидравлического задержания. В Таблица 49 представлены предельно допустимые показатели качества воды и факторы k для тилипии, а также величины, выбранные в настоящем примере и некоторые показатели качества воды для нитрификации и денитрификации (см. также раздел **Системы очистки**).

Показатели качества воды	Рыбы				Нитрификация	Денитрификация
	Интервал	Выбор	Интервал	Выбор		
Температура (°C)	24-28	27			27	27
pH (-)	5,5-7,5	7			7	7
NH ₃ -N (г/м ³)	0,01-0,1	0,01				
TAN (г/м ³)		1,5	1-2	1,4		
NO ₂ -N (г/м ³)	0,05-1	1				
NO ₃ -N (г/м ³)	100-200	165	1-2	1		10
O ₂ (г/м ³)	4-6	4,5	1-1,2	1,2	4,5	
CO ₂ (г/м ³)	15-20	15	1-1,2	1,2		
Растворенное ХПК (г/м ³)	100-300	200	1-2	1		
Взвешенные твердые вещества (г/м ³)		25				

Таблица 49: Предельно допустимые показатели качества воды и факторы k для поправки на суточные колебания в производстве отходов

В разделе **Производство отходов** было показано, что производство отходов (P) удобнее всего выразить на единицу веса корма, из чего следует, что проточность должна быть выражена так же. Проточность различных блоков аквакультурной системы, в зависимости от ее конфигурации (проточная, оборотная, УЗВ), показана в таблице 50. Видно, что проточная система требует значительных объемов воды, так как водообмен системы равен проточности бассейнов. Если добавить водоочистные установки, водообмен системы может быть снижен за счет дополнительной проточности. Некоторые методы обработки воды, применяющиеся в воде, поступающей в рыбоводные бассейны (оксигенация) или в самих бассейнах (аэрация), не требуют дополнительной проточности. Более того, оксигенация и аэрация снижают потребность в протоке воды через рыбоводные бассейны, а также, соответственно, и водообмен системы. Системы, где водообмен сокращен до 15% водообмена проточной системы, называются оборотными системами водоснабжения, при большем сокращении мы говорим об установках замкнутого водоснабжения

(УЗВ). Видно, что, в то время как традиционная УЗВ сокращает требуемый водообмен системы до 1% водообмена проточной системы, интеграция с USB-MDR снижает его еще больше, до 0,15%.

	Проточная	Оборотная	Традиционная	USB-MDR
Водообмен одного бассейна				
TAN	32	32	61	74
O ₂	204	59	59	59
CO ₂	94	37	70	74
Взвешенные твердые частицы	?	?	?	?
Выбор (максимум из указанных)	204	59	70	74
Водообмен системы				
Водообмен одного бассейна	204	59		
NO ₃ -N			0,187	0,029
Проточность для удаления TSS				
Водообмен одного бассейна	н/п	н/п	70	74
Проточность для нитрификации				
Водообмен одного бассейна	н/п	н/п	70	74
Проточность для денитрификации				
NO ₃ -N	н/п	н/п	н/п	0,210

н/п = не применимо

Таблица 50: Проточность блоков системы, выраженная в м³/кг корма.

Вставка 3. Расчет проточности в УЗВ с USB-MDR.

Водообмен одного бассейна

Для TAN, в проточных и оборотных системах водоснабжения $\Delta C = C_{\text{лимит}}$ (предполагая, что входящая вода не содержит TAN), вследствие чего, $q = \text{abs}[1,5 * 35 / 1,5] = 35 \text{ м}^3/\text{кг}$ корма. В УЗВ проток воды через рыбоводные бассейны для TAN равен требуемой проточности через нитрификационный фильтр (Вставка 7): $61 \text{ м}^3/\text{кг}$ корма в случае традиционной УЗВ и $75 \text{ м}^3/\text{кг}$ корма в случае УЗВ с USB-MDR.

Для O₂, P = -512 г O₂/кг корма и $\Delta C = -10,5 \text{ г}/\text{м}^3$ (Вставка 4), поэтому $q = \text{abs}[1,2 * -512 / -10,5] \approx 59 \text{ м}^3/\text{кг}$ корма.

Для CO₂, P = 633 г CO₂/ кг корма (RQ_{рыба} = 0,9) и $\Delta C = 10,3 \text{ г}/\text{м}^3$ (Вставка 5), поэтому $q = \text{abs}[1,2 * 633 / 10,3] = 74 \text{ м}^3/\text{кг}$ корма.

Водообмен системы

Для NO₃-N, P, остающееся после денитрификации, как спонтанной, так и в USB-MDR = 4,8 г N/кг корма (= 1,7 кг N/349 кг корма) и $\Delta C = 165 - 0 = 165 \text{ г}/\text{м}^3$, поэтому $q = \text{abs}[1 * 4,8 / 165] = 0,029 \text{ м}^3/\text{кг}$ корма

Проточность для денитрификации

Для NO₃-N, P, остающееся после спонтанной денитрификации = $(15 \text{ 800}/349) * 0,85 = 38,5 \text{ г N}/\text{кг}$ корма (Вставка 10), из чего 85% денитрифицируется, и $\Delta C = 10 - 165 = -155 \text{ г}/\text{м}^3$, поэтому $q = \text{abs}[1 * (38,5 * 0,85) / -155] \approx 0,210 \text{ м}^3/\text{кг}$ корма.

Системы очистки

В разделе **Проточность** было показано, что добавление систем очистки может уменьшить водообмен системы. Выбор используемого метода очистки зависит от первого ограничивающего компонента отходов. Например, из таблицы 50 видно, что если к проточной системе добавить оксигенацию, требуемый водообмен системы снижается с 203 до 94 м³/кг корма, т.е. первым ограничивающим отходом является кислород (его потребление). Следующим ограничивающим отходом является CO₂ и т.д. В этом разделе системы очистки будут обсуждаться в порядке ограничивающих отходов. Для большинства систем очистки будут описаны лишь основы. Денитрификация, в частности, с использованием USB-MDR, будет изложена более подробно. Будут кратко упомянуты также две системы очистки, не снижающие водообмен рыбоводной системы, но повышающие ее устойчивость: теплообмен вентиляции и обработка шлама.

Оксигенация

Кислород может добавляться в воду для выращивания путем аэрации, т.е. обеспечения соприкосновения воды с воздухом, либо оксигенации, т.е. обеспечения ее соприкосновения с газом, обогащенным кислородом (техническим кислородом). Аэрация может увеличить содержание кислорода только до точки насыщения. С помощью оксигенации поступающая вода может быть перенасыщена. Это не значит, что вода в рыбоводных бассейнах перенасыщена, в полностью смешанных системах вода в бассейнах равна вытекающей концентрации (см. раздел **Проточность**). В настоящем примере оксигенация воды происходит на месте ее впуска в рыбоводные бассейны в низконапорных оксигенаторах с соотношением газа и жидкости (соотношение Г/Ж) 0,05.

Контролирующие параметры

Поверхность и время контакта, соотношение газа и жидкости.

Вставка 4. Оксигенация

С помощью низконапорных оксигенаторов, концентрация O_2 в воде, поступающей в рыбоводный бассейн, повышена до насыщенности $200\% = 15 \text{ г/м}^3$. Поскольку ограничивающая концентрация O_2 (= концентрация на выходе) для рыб равна $4,5 \text{ г/м}^3$, $\Delta C = -10,5 \text{ г/м}^3$.

Примечание: Исходя из потребления технического кислорода на практике, предполагается, что оксигенация удовлетворяет всю потребность рыб и бактерий в O_2 и что технический кислород используется с эффективностью 80% (т.е. использование кислорода = $1.25 \cdot$ потребность O_2)

Удаление углекислого газа

Удаление углекислого газа происходит с помощью дегазации. Удаление может осуществляться путем аэрации или перекачивания воды через колонку дегазации с набивным слоем (Packed Bed Stripping Tower, капельный фильтр). В настоящем примере используется продувка воздухом, как в рыбоводных бассейнах, так и в нитрификационном реакторе с подвижным слоем.

Контролирующие параметры

Поверхность и время контакта, соотношение газа и жидкости.

Вставка 5. Удаление CO_2

Аэрация в рыбоводных бассейнах увеличивает эффективную $\Delta C = C_{\text{лимит}} - C_{\text{ввод}} CO_2$, или, поскольку $C_{\text{лимит}}$ является постоянной (15 г/м^3), снижает эффективную $C_{\text{ввод}}$. При эффективности удаления SE, эффективная $\Delta C = \Delta C / (1 - SE)$. В УЗВ мы не знаем фактическую $C_{\text{ввод}}$, но из производства CO_2 рыбами (Вставка 3) и факта, что на практике проточность, равная $70 \text{ м}^3/\text{кг}$ корма, бывает достаточна в традиционной УЗВ, можно рассчитать, что эффективность удаления равна 0,4 а эффективная $C_{\text{ввод}} = 4,2 \text{ г/м}^3$ ($\Delta C = 10,8 \text{ г/м}^3$). В УЗВ с USB-MDR в биологических фильтрах производится больше CO_2 и эффективная $C_{\text{ввод}}$ рыбоводных бассейнов составляет $C_{\text{ввод}} = 4,7 \text{ г/м}^3$ ($\Delta C = 10,3 \text{ г/м}^3$).

Удаление взвешенных твердых частиц

Удаление взвешенных твердых частиц из воды, используемой в аквакультуре, происходит гравитационными методами (седиментация, флотация, гидроциклон) или фильтрацией (фильтры грубой очистки, микрофильтры). Устройство всех этих систем зависит от гранулометрического состава, либо косвенно, через распределение массы частиц в случае гравитационных методов, либо непосредственно, в случае фильтрационных методов. В настоящем примере использовался барабанный микропористый фильтр (размер пор 80 мкм).

Контролирующие параметры

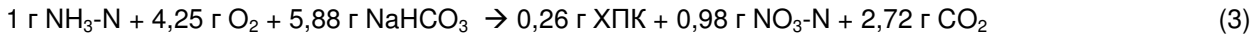
Гранулометрический состав.

Вставка 6. Барабанный фильтр

При проектировании барабанного фильтра, его конкретный тип может быть выбран (<http://www.hydrotech.se/en/solutions/drumfilters>) на основе матрицы проточности (л/с), температуры ($^{\circ}C$), ожидаемого ввода взвешенных твердых частиц (г/м^3) и размера пор (мкм).

Нитрификация

В аквакультурных системах удаление TAN из воды для выращивания обычно происходит путем нитрификации. Нитрификация является биологическим окислением аммиака (NH₃) до нитрата (NO₃) бактериями. Реакция проходит в двух этапах, за которые ответственны различные группы бактерий. Промежуточным продуктом является нитрит (NO₂). Общая формула реакции следующая:



Из этой реакции видно, что процесс потребляет кислород и щелочность и производит, кроме NO₃, бактериальную биомассу и CO₂. На каждый грамм TAN требуется 4,25 г O₂ и около 1 эквивалента щелочности, а также производится около 0,26 г ХПК. В аквакультурных системах нитрифицирующие бактерии обычно растут на пластиковом субстрате, в форме так называемой «био пленки». Поэтому скорость реакции выражена на единицу поверхности пластикового субстрата, в г/м²/сутки. Поскольку субстраты реакции, TAN и O₂, должны диффундировать в био пленку, скорость реакции зависит от концентрации лимитирующего субстрата. Из-за кинетики диффузии эта зависимость принимает форму реакции 1/2 порядка; скорость зависит от концентрации в 1/2 степени (или √[концентрация]).

$$\text{Скорость нитрификации } r \text{ (г/м}^2\text{/сут.)} = a * \sqrt{[\text{TAN}]} + b \quad (4)$$

Значения a и b зависят от типа используемого нитрификационного реактора. Для реактора с подвижным слоем, используемого в настоящем примере, a = 0,65, b = -0,1.

Соотношение концентраций O₂ и TAN, при которых тот или иной становится субстратом, ограничивающим скорость реакции, равно 3,6. Данные взаимоотношения показаны на рисунке 27, на котором видно, что при низких концентрациях TAN скорость реакции зависит от данной концентрации TAN, тогда как при более высоких концентрациях такой зависимости нет. Переходная концентрация TAN, а также максимальная скорость нитрификации, зависят от концентрации O₂. **Примечание:** Если C_{лимит} TAN близка к [O₂]/3,6, в течение некоторого отрезка дня средняя концентрация TAN будет ниже чем [O₂]/3,6, так же, как и средняя скорость нитрификации. Возможно сделать поправку на это, если взять [TAN]_{ср} = C_{лимит} / k (значение k см. в уравнении 2 в разделе **Проточность**). Необходимая проточность через нитрификационный фильтр равна:

$$q \text{ (м}^3\text{/время)} = P / \Delta C \quad (5)$$

Итак, контролирующими параметрами при проектировании нитрификационного реактора являются средние концентрации TAN и O₂. Они определяют реальную скорость нитрификации и, следовательно, общую поверхность, требуемую для нитрификации и необходимую проточность через нитрификационный реактор. Зная удельную поверхность материала биофильтра (м²/м³), возможно рассчитать его требуемый объем.

Контролирующие параметры

Концентрации TAN и O₂ в нитрификационном реакторе.

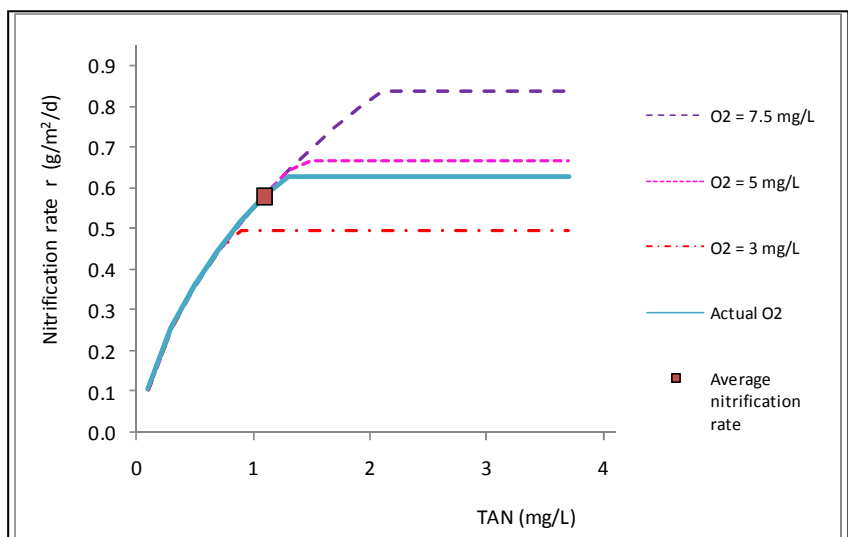


Рисунок 27: Скорость нитрификации (в TAN/м²/сут.) в зависимости от концентраций TAN и O₂. Также показана средняя скорость нитрификации в хозяйстве мощностью 100 т для производства телят, представленном в настоящем примере. (Nitrification rate - Скорость нитрификации; Actual O₂ - Актуальный O₂; Average nitrification rate - Средняя скорость нитрификации)

Вставка 7. Нитрификационный реактор с подвижным слоем.

Поскольку $C_{\text{лимит TAN}} = 1,5 \text{ г/м}^3$ и $[O_2] = 4,5 \text{ г/м}^3$, $[O_2]/[TAN]$ близко к 3,6 и, соответственно, средняя $[TAN]$ в нитрификационном реакторе составляет $[TAN]_{\text{ср}} = 1,5/1,4 \approx 1,1 \text{ г/м}^3$, а скорость нитрификации $r = 0,65 * \sqrt{[1,1] - 0,1} \approx 0,58 \text{ г N/м}^2/\text{сут.}$

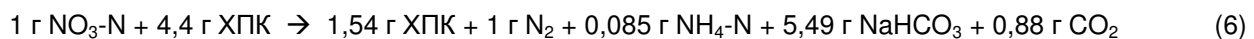
Фильтр с подвижной загрузкой наполнен биокольцами с удельной поверхностью $800 \text{ м}^2/\text{м}^3$. Если при максимальном вводе корма количество окисляемого N равно 12,6 кг N (в традиционной УЗВ, см. вставку 9), то требуется $12\,600 / 0,58 / 800 = 28 \text{ м}^3$ биокоец. Коэффициент заполнения в реакторе с подвижным слоем составляет 0,4, поэтому общий объем равен $27 / 0,4 = 71 \text{ м}^3$. Предполагается также, что 95% общего объема составляет вода, поэтому ее объем в нитрификационном реакторе равен $0,95 * 75 = 67 \text{ м}^3$.

Требуемая проточность через реактор с подвижным слоем составляет $q = 12\,600 / 0,59 \approx 21\,360 \text{ м}^3/\text{сут.}$ или $21\,360 / 349 = 61 \text{ м}^3/\text{кг корма}$. **Примечание:** ΔC и проточность были определены вместе путем итерации.

В УЗВ с USB-MDR необходимо окислить больше N (15,8 кг N в сутки, вставка 10), поэтому требуется 34 м^3 биокоец (общий объем: 85 м^3 , объем воды: 81 м^3), а необходимая проточность через реактор с подвижным слоем составляет $74 \text{ м}^3/\text{кг корма}$.

Денитрификация

Удаление нитрата (NO_3) из воды для выращивания возможно путем денитрификации. Денитрификация является биологическим восстановлением NO_3 до газообразного N_2 бактериями. За денитрификацию ответственны факультативно аэробные гетеротрофные бактерии. Реакция денитрификации происходит в нескольких этапах, с NO_2 , NO и N_2O в качестве промежуточных продуктов. Общая формула реакции является следующей:



Из реакции видно, что процесс потребляет ХПК и производит, кроме N_2 , щелочность и бактериальную биомассу. Каждый грамм $NO_3\text{-N}$ может «окислить» 2,86 г ХПК, в то время как производится также около 0,91 эквивалента щелочности и 1,54 г ХПК (0,35 г ХПК/г ХПК). Поэтому общая потребность в ХПК составляет $2,86 / (1 - 0,35) = 4,4 \text{ г ХПК} / \text{г N}$. Однако, если количество ХПК меньше, скорость реакции также будет меньшей (Рисунок 29). **Примечание:** Небольшое эндогенное («голодающее») удаление $NO_3\text{-N}$ есть даже тогда, когда ХПК полностью отсутствует. ХПК, используемое денитрифицирующими бактериями, может быть внутреннего (экскременты и несъеденный корм) или внешнего (например, метанол) происхождения.

Денитрифицирующие бактерии могут расти на пластиковом субстрате, в форме так называемой «биопленки», или во взвешенном виде, как бактериальный суп (ил). В настоящем примере используется перемешиваемый реактор с восходящим потоком воды через слой анаэробного ила (Upflow Sludge Bed Reactor, USB). Содержимое реактора перемешивается для облегчения удаления газообразного азота из слоя ила. В системе используется внутреннее ХПК, называемое также навозом, поэтому она называется USB-реактор для денитрификации навоза (USB Manure Denitrifying Reactor, USB-MDR)(Рисунок 28).

Необходимый объем ила в денитрификационном реакторе определяется по удельной способности удаления $NO_3\text{-N}$ ($\text{г N/м}^3/\text{сут.}$). Эта удельная способность удаления зависит от соотношения ХПК/ $NO_3\text{-N}$ в иле, поступающем в реактор (Рисунок 30) и от количества присутствующих бактерий, т.е. плотности ила (г VSS/м^3), что, в свою очередь, зависит от скорости течения (м/ч) (Рисунок 29).

Общий объем реактора определяется соотношением объем ила/общий объем. Диаметр и высота реактора могут быть рассчитаны из общего объема и скорости восходящего потока.

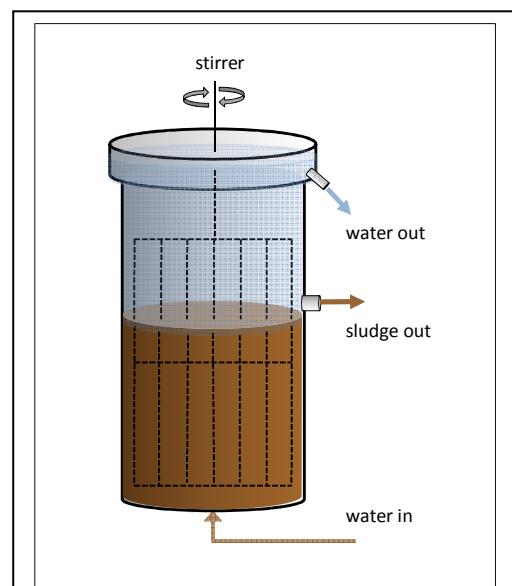


Рисунок 28: Реактор для денитрификации навоза с восходящим потоком воды через слой анаэробного ила (USB-MDR) (Stirrer - Мешалка; Water - Вода; Sludge - Ил).

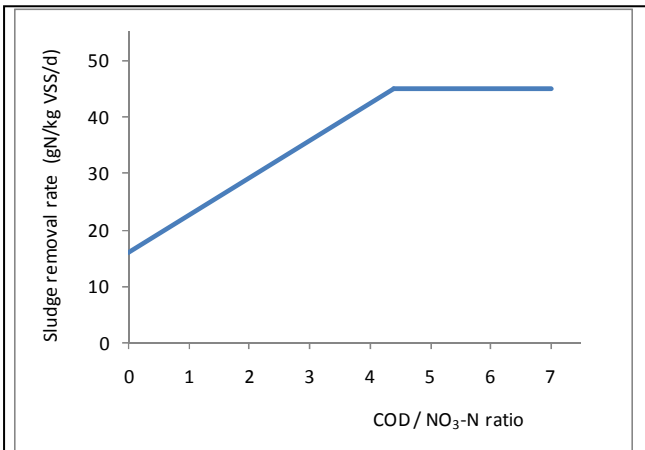


Рисунок 30: Удельная скорость удаления в зависимости от соотношения ХПК/NO₃-N в поступающих отходах. В случае отходов ХПК с интенсивного хозяйства, производящего телят, максимальная скорость удаления составляет 45 г N/кг VSS. Скорость эндогенного удаления равна 16 г N/кг VSS. Для простоты предполагается, что скорость удаления ила уменьшается линейно со снижением соотношения ХПК/N. (Sludge removal rate - Скорость удаления ила; COD/NO₃-N ratio - Соотношение ХПК/ NO₃-N)

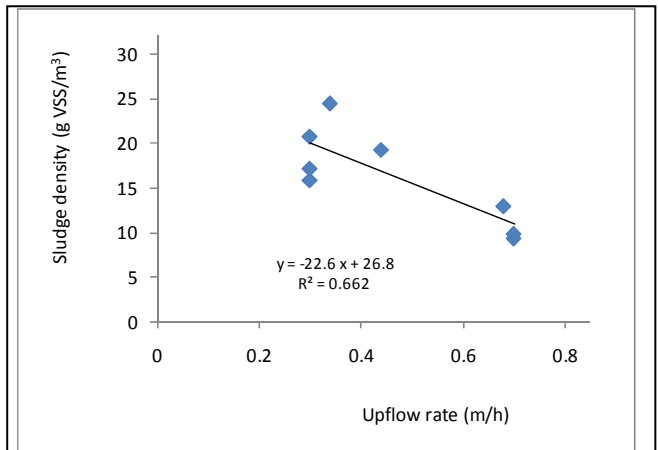


Рисунок 29: Плотность ила в зависимости от скорости восходящего потока в USB-MDR. (Sludge density - Плотность ила; Upflow rate - Скорость восходящего потока)

Контролирующие параметры

Соотношение ХПК/NO₃-N в поступающих отходах, скорость восходящего потока.

Вставка 8. Реактор для денитрификации навоза с восходящим потоком воды через слой анаэробного ила (USB-MDR).

Соотношение ХПК/NO₃-N в отходах, поступающих в USB-MDR, равно 5,1 (Вставка 10), т.е. выше, чем 4,4 (Уравнение 6), поэтому скорость удаления ила является максимальной при 45 г N/кг VSS/сут. (Рисунок 29).

В настоящем примере скорость восходящего потока была выбрана как 0,38 м/ч, поэтому плотность ила равна $-22,6 * 0,38 + 26,8 = 18$ кг VSS/м³ (Рисунок 30), а удельная скорость удаления составляет $0,045 * 18 \approx 0,82$ кг N/м³/сут.

Так как после спонтанной денитрификации остается 11,3 кг NO₃-N, требуется $11,3 / 0,82 = 13,9$ м³ ила. Общий объем USB-MDR равен $2 * 13,9 = 27,7$ м³, вследствие чего, время гидравлического задержания ВГЗ = $27,7 / (349/24 * 0,210) = 9$ ч. Время пребывания ила может быть рассчитано из количества имеющегося ила ($13,9 \text{ м}^3 * 18 \text{ кг VSS/м}^3 = 250 \text{ кг}$) и его суточного производства ($14,9/1,42=10,5 \text{ кг}$, вставка 10), по формуле ВП = $250 / 10,5 = 24$ сут.

Диаметр USB-MDR может быть рассчитан из площади его поперечного сечения, которая, в свою очередь, рассчитывается из проточности через USB-MDR (Вставка 3) и скорости восходящего течения. Для большей гибкости было решено установить 3 блока USB-MDR, каждый диаметром $2 * \sqrt{[(349/24 * 0,210/3) / \pi]} = 1,8$ м. Таким образом, высота USB-MDR составляет $(27,7/3)/[(1,8/2)^2 * \pi] \approx 3,4$ м.

Теплообмен при вентиляции

Интенсивное хозяйство по производству телят должно проветриваться, чтобы концентрация CO₂ в воздухе оставалась в приемлемых пределах. Потери тепла через вентиляционный воздух могут быть значительными, 40 кВт в традиционной УЗВ, представленной в настоящем примере, что равно 44 000 м³ газа в год. Пропускание вентиляционного воздуха через теплообменник может сэкономить около 11 кВт (12 000 м³ газа) в год, а также снизить испарение воды с 2,7 до 0,5 л/кг корма.

Обработка шлама

Во избежание выпуска большого количества разбавленных твердых веществ (промывочная вода барабанного фильтра содержит менее чем 0,1% сухого вещества) и для снижения расходов на удаление шлама возможно его уплотнение. Это может быть сделано с использованием

вышеупомянутых методов удаления твердых частиц, седиментации (септик-тенк), флотации и микрофльтрации. Еще одним методом фильтрации является использование «Geotubes», прочных плетеных мешков из полипропиленового геотекстильного материала, часто используемых для хранения и обезвоживания ила.

В настоящем примере ил от промывки барабанного фильтра традиционной УЗВ уплотняется путем флотации, что повышает содержание сухого вещества в конечном иле до 2%. Ил из USB-MDR в УЗВ с USB-MDR уплотняется с использованием «Geotubes» и полимеров, доводя содержание сухого вещества в конечном иле до 9%.

9.2.3. Оценка результатов традиционной УЗВ со сравнением с УЗВ, имеющей модуль MDR

Результаты традиционной УЗВ

Потоки, поведение и распределение компонентов отходов при максимальной кормовой нагрузке в традиционной УЗВ показаны на рисунке Рисунок 31. Из качества воды, реально наблюдавшегося в традиционной УЗВ ZonAquaculture, можно сделать вывод, что 98% растворенного N и 50% растворенного ХПК окисляются. Кроме того, предполагается спонтанная денитрификация 10% окисленного N.

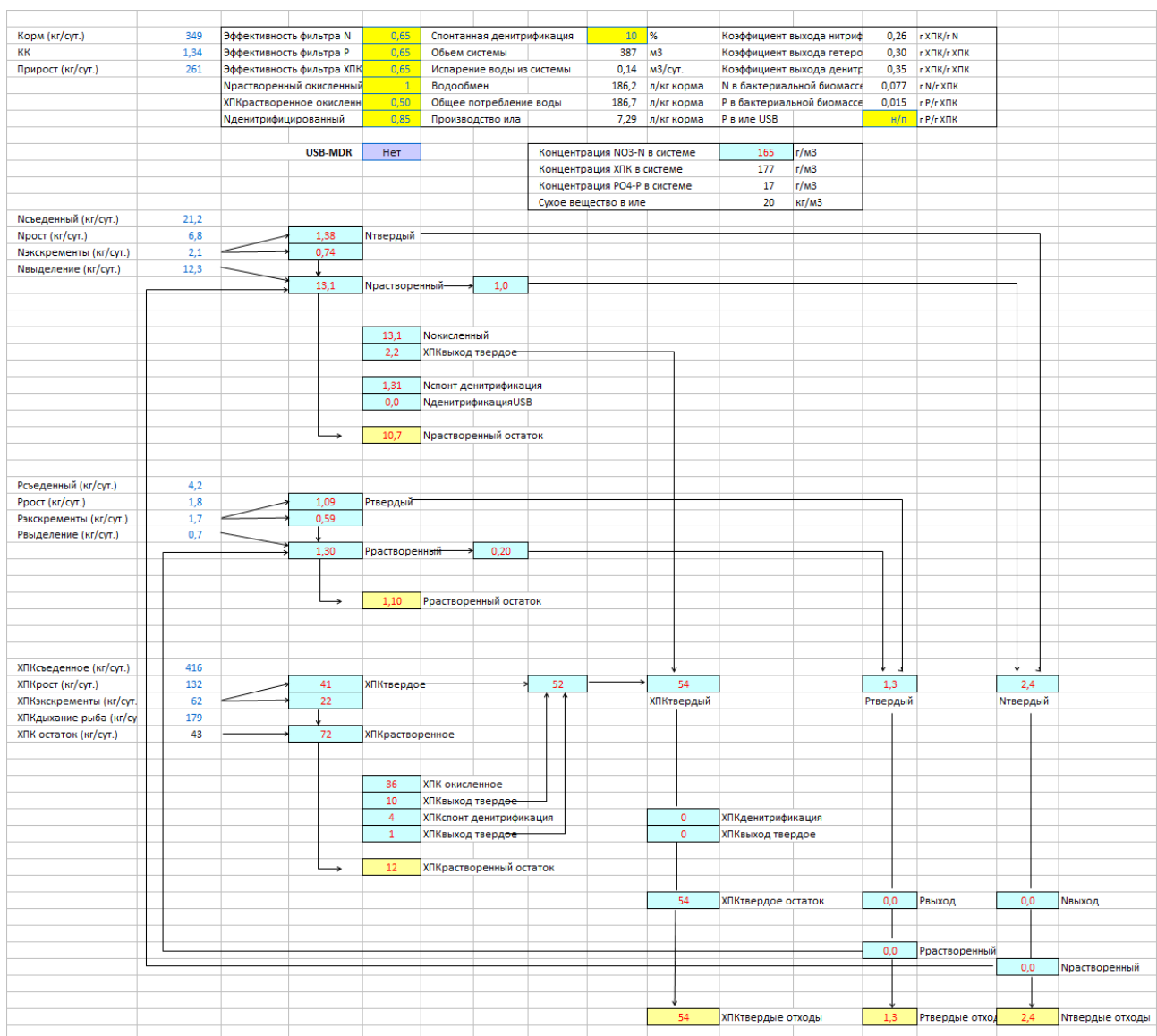


Рисунок 31: Диаграмма потоков N, P и ХПК в традиционной УЗВ.

Результаты УЗВ с USB-MDR

Потоки, поведение и распределение компонентов отходов при максимальной кормовой нагрузке в УЗВ с USB-MDR показаны на рисунке 32. Из качества воды, реально наблюдавшегося в УЗВ с денитрификацией ZonAquaculture, можно сделать вывод, что 56% растворенного ХПК окисляются. Также предполагается спонтанная денитрификация 15% окисленного N, тогда как 85% оставшегося NO₃-N денитрифицируется. Водообмен системы может быть сокращен еще больше, NO₃ и ХПК имеются. Однако с дальнейшим уменьшением водообмена аккумуляция всех известных и неизвестных веществ увеличивается экспоненциально.

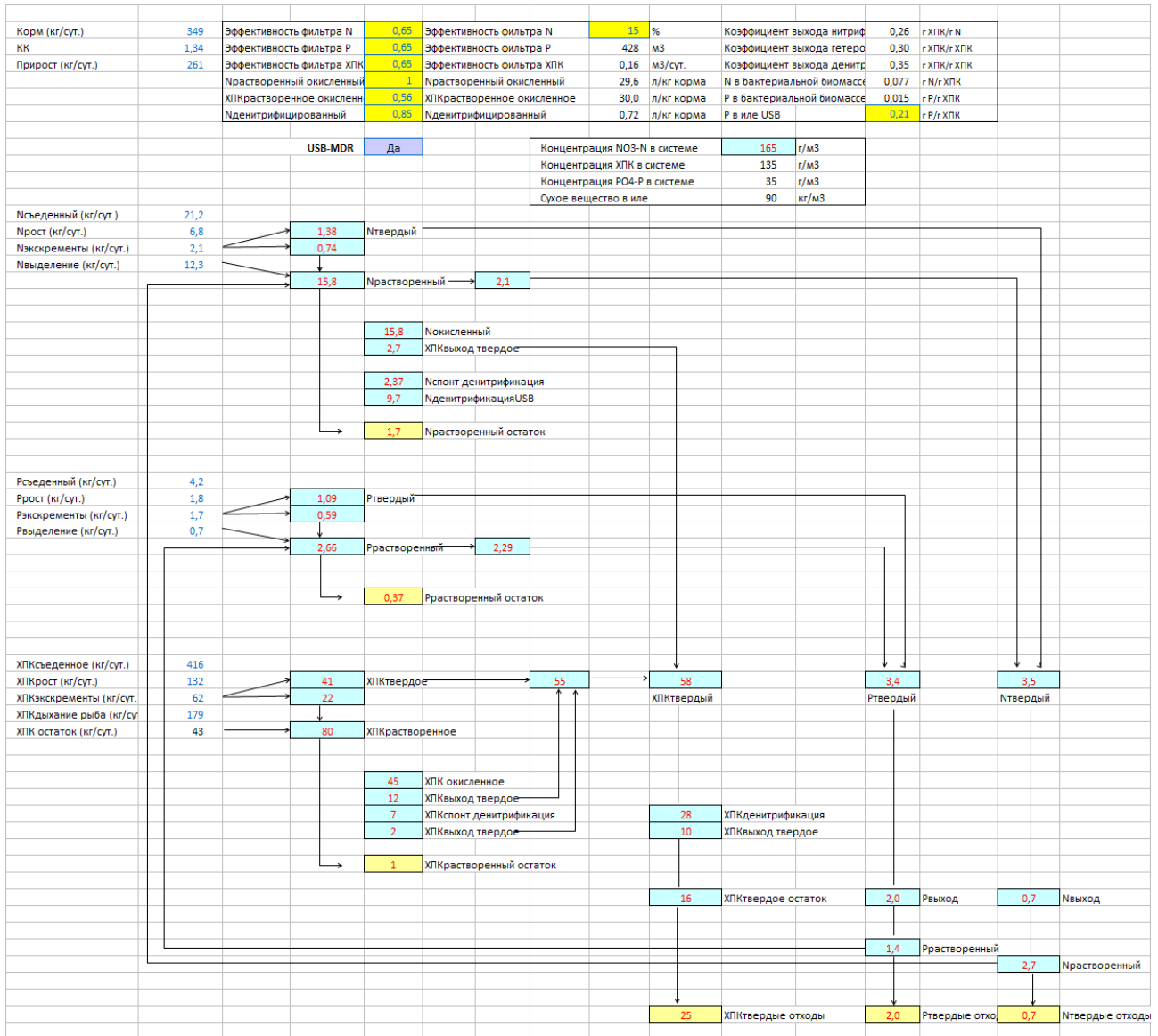
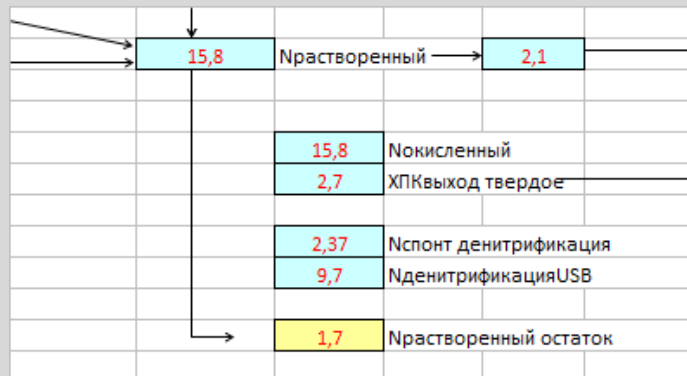
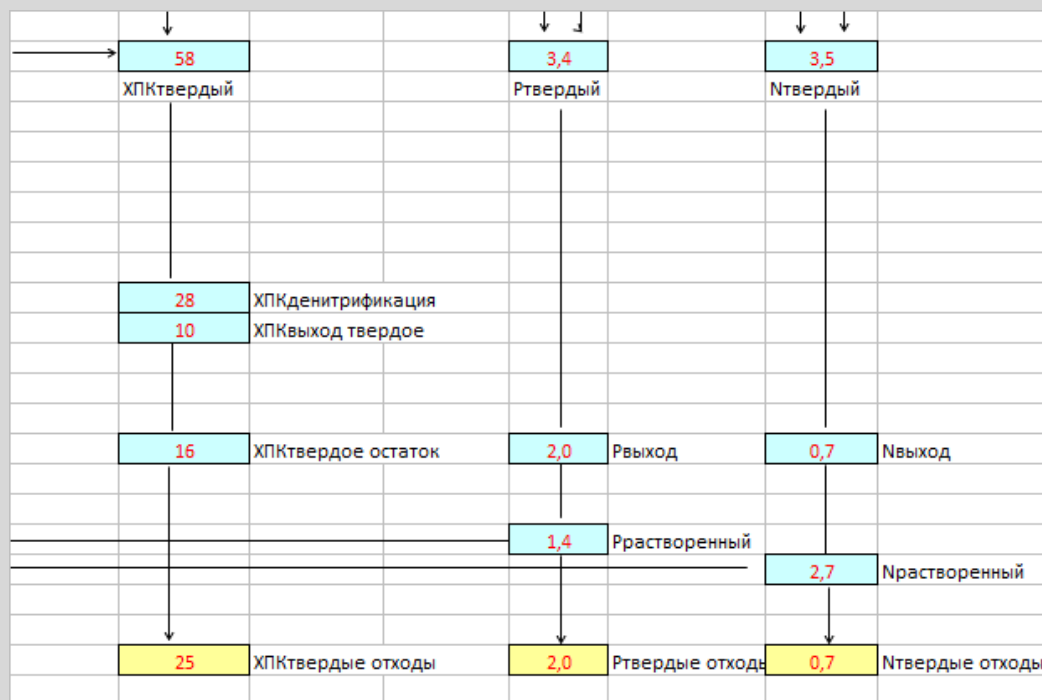


Рисунок 32: Диаграмма потоков N, P и ХПК в УЗВ с USB-MDR

Вставка 10. Влияние денитрификации на потоки N, P и ХПК в УЗВ с USB-MDR.



В случае УЗВ с USB-MDR, в USB-MDR повторно растворяется на 2,7 кг больше N (см. ниже), что увеличивает общее количество $N_{\text{растворенный}}$ до 15,8 кг, что, по предположению, полностью окисляется. После спонтанной денитрификации (15%, 2,4 кг), и учитывая весь N, задержанный в бактериальной биомассе (2,1 кг), предполагается, что 85% оставшегося $\text{NO}_3\text{-N}$ (11,4 кг) денитрифицируется, что оставляет 1,7 кг $\text{NO}_3\text{-N}$. Чтобы удерживать концентрацию $\text{NO}_3\text{-N}$ в системе на уровне 165 г/м^3 , ее водообмен должен быть $1700/165 = 10 \text{ м}^3/\text{сутки}$, или $10000/349 = 30 \text{ л/кг}$ корма. **Примечание:** значение 85% было выбрано на основе практических наблюдений, чтобы удерживать водообмен системы на уровне около 30 л/кг корма.



В случае УЗВ с USB-MDR также имеется большее количество доступного $\text{ХПК}_{\text{твердое}}$ (58 кг). Соотношение $\text{ХПК}/\text{NO}_3\text{-N}$ в отходах, поступающих из USB-MDR, равно $58/11,4 = 5,1 \text{ г ХПК/г N}$. **Примечание:** Видно также, что $\text{ХПК}_{\text{твердое}}$ в отходах, поступающих из USB-MDR, состоит на 70% (41 кг/58 кг) из «свежих» (экскрементов) и на 30% из «использованных» отходов (бактериальной биомассы).

9,7 кг денитрифицированного $\text{NO}_3\text{-N}$ «окисляет» 28 кг ХПК ($9,7 * 2,86$), производя в процессе $[2,86/(1-0,35)-2,86] * 9,7 = 14,9 \text{ кг ХПК}_{\text{выход}}$, из которого 65% (около 10 кг) задерживается барабанным фильтром. Вместе с 15 кг $\text{ХПК}_{\text{остаток}}$, общий выпуск твердого ХПК составляет 25 кг. Из этого «Geotubes» задерживают около 95%. При содержании ХПК в иле $95,9 \text{ кг/м}^3$ (90 кг/м^3 сухого вещества, содержание золы 25%), проточность ила равна $(25 * 0,95)/95,9 = 0,25 \text{ м}^3/\text{сутки}$, или $250/349 \approx 0,7 \text{ л/кг}$ корма.

Из качества воды, реально наблюдавшегося в УЗВ с денитрификацией ZonAquaculture, т.е. концентрации ХПК около 200 г/м^3 и фосфатного P около 35 г/м^3 , можно сделать вывод, что 56% растворенного ХПК окисляются, а также, что система должна иметь сток фосфора, так как $R_{\text{выход}}$, необходимый для поддержания такой концентрации (P в иле USB = $0,21 \text{ г P/г ХПК}$), не наблюдается на практике.

9.2.4. Параметры устойчивости

Параметры устойчивости, использование ресурсов на кг выловленной рыбы, использование питательных веществ, выраженное в процентах от их ввода и выпуск отходов на кг выловленной рыбы показаны в таблице 51, как для традиционных УЗВ, так и для УЗВ с USB-MDR. Видно, что УЗВ с USB-MDR требует значительно меньше тепла, воды и бикарбоната. Несмотря на то, что потребность УЗВ с USB-MDR в электричестве, кислороде, труде (и инвестициях) несколько выше, реальная себестоимость килограмма выловленной рыбы на 10% ниже, чем в традиционных УЗВ. Использование USB-MDR снижает выпуск отходов на 81% в случае N, 59% – в случае ХПК, 61% – в случае ОПК, 30% – в случае CO₂ и 58% – в случае TDS.

	<i>Традиционная УЗВ</i>	<i>УЗВ с USB-MDR</i>		<i>Традиционная УЗВ</i>	<i>УЗВ с USB-MDR</i>
Использование ресурсов			Выпуск отходов		
Сеголетки (шт./кг)	1,2	1,2	Азот		
Корма (кг/кг)	1,22	1,22	Твердый (г/кг)	8.5	2.6
Электричество (кВт.ч/кг)	1,8	2,2	Растворенный (г/кг)	37.4	5.9
Отопление (кВт.ч/кг)	3,4	0,0	Фосфор		
Вода (л/кг)	238	38	Твердый (г/кг)	4.5	7.2
Кислород (кг/кг)	1,18	1,26	Растворенный (г/кг)	3.8	1.3
Бикарбонат (г/кг)	252	107 ^a	ХПК		
Труд (ч/т)	12,5	13,1	Твердые (г/кг)	189	84
			Растворенные (г/кг)	40	9
Использование питательных веществ			ОПК		
Азот (% от ввода)	32	32	Твердые (г/кг)	227	95
Фосфор (% от ввода)	43	43	Растворенные (г/кг)	48	11
ХПК (% от ввода)	32	32	CO ₂ (кг/кг, в т.ч. газ)	1.58	1.10
ОПК (% от ввода)	32	32	TDS (г/кг)	62	28
			Удельная проводимость (мкСм/см)	1060	2000

а) На практике, если применяется денитрификация, потребность в бикарбонате (щелочности) равна нулю.

Таблица 51: Параметры устойчивости, использование ресурсов на кг выловленной рыбы, использование питательных веществ в % от их ввода и выпуск отходов на кг выловленной рыбы.

9.3. Модуль «Перифитонный фильтр» (PTS)

9.3.1. Общее описание приведенного примера

Перифитонный фильтр (Periphyton Turf Scrubber, PTS) является естественно развивающимся гетерогенным сообществом прикрепленных микроорганизмов, в т.ч., микроводорослей и бактерий, колонизирующих какую-либо подводную поверхность при фототрофных условиях. Прикрепленные микроорганизмы имеют высокую относительную скорость роста и быстро восстанавливаются после повреждений. В перифитоне преобладают бентические диатомеи (*Centrales*, *Pennales*, одноклеточные и нитчатые), коккоидные и нитчатые цианобактерии и бентические нитчатые зеленые водоросли. В нем также встречаются бактерии, одноклеточные и многоклеточные организмы (например, мелкие кольчатые и круглые черви и микроскопические рачки).

Перифитон в естественных водоемах является отличным источником пищи для многих видов рыб. Чем больше доступных питательных веществ имеется в среде выращивания, тем выше его питательная ценность. Во время роста перифитон задерживает твердые и растворенные органические и неорганические вещества и, таким образом, поддерживает качество воды, подходящее для водных организмов. Из-за постоянной аэрации, обеспеченной волновым перемешиванием воды над PTS, перифитонная биопленка развивается в среде, богатой кислородом, что способствует нитрификации. Итак, выгоды от PTS включают в себя производство перифитона, как дополнительного корма для рыб, и улучшение качества воды.

Инновационным является использование PTS в установке замкнутого водоснабжения (УЗВ). В настоящем проекте изучались проектные критерии использования PTS в УЗВ. Применение PTS для очистки воды в УЗВ не является коммерчески целесообразным, поскольку для этого требуется большая освещенная площадь в закрытом помещении, откуда перифитон должен регулярно удаляться, из-за чего, высокая потребность в электричестве и труде стоит очень дорого. Однако есть факты, указывающие на то, что водоросли снижают количество кишечных палочек в третичной сточной воде и, таким образом, помогают поддерживать благоприятное микробиологическое качество воды в рыбоводных бассейнах УЗВ. Достижение этого возможно путем интеграции небольшого PTS в УЗВ для предотвращения чрезмерного развития бактерий, тогда как за поддержание благоприятного качества воды отвечают системы удаления твердых частиц и биофильтрации. Таким образом, проектные параметры интенсивной УЗВ, должны позволить внедрение технологии PTS, либо как небольшого блока в УЗВ, либо как более крупного блока в системах на открытом воздухе.

9.3.2. Принципы модуля

В экспериментах использовались четыре одинаковых установки замкнутого водоснабжения (УЗВ) лабораторного масштаба. Каждая состояла из одного рыбоводного бассейна объемом 70 л, одного отстойника также объемом 70 л, содержащего один погружной насос (Eheim 1250219, 28 Вт, 230 В/50 Гц, с максимальной подачей 20 л/мин, обеспечивающий капельный фильтр протоком воды 6 л/мин), один электрический нагреватель (Heizer 300, 300 Вт, 230 В, поддерживающий температуру воды на уровне $25 \pm 2^\circ\text{C}$), и один бассейн для PTS объемом 40 л. Рыбоводный бассейн был размещен таким образом, чтобы вибрации от PTS (причиненные разбрызгивающейся водой из опрокидывающегося ковша в PTS) не достигали его. Воздух подавался в каждую систему через распылители. Каждая система была дополнена небольшим капельным фильтром, чтобы избежать пиков концентраций NO_2^- . Общий объем каждой системы составлял 185 л.

В каждой системе площадь бассейна для PTS составляла $1,96 \text{ м}^2$, а его глубина – около 1 см. В каждом бассейне для PTS имелась сетка из нержавеющей стали с ячейей 3 мм, являющаяся субстратом для перифитона, а также по одному пластиковому опрокидывающемуся ковшу, наполняющемуся и опорожняющемуся 4 раза в минуту, который создавал волны над сеткой (6 л/мин).

Вода из рыбоводного бассейна поступала в бассейн для PTS, а оттуда – в отстойник, где она нагревалась и подавалась на капельный фильтр, прежде чем вернуться в рыбоводный бассейн.

Каждая система была зарыблена нильской тилепией (*Oreochromis niloticus*) с плотностью посадки между 2 и 5 кг на всю систему. Рыбы получали коммерческий корм с содержанием белков 43-47% в количестве $8 - 11 \text{ г кг}^{-0.8} \text{ сут.}^{-1}$. Индивидуальный вес рыб при посадке составлял 30-70 г.

9.3.3. Факторы успеха и ограничивающие факторы

Предельно допустимая нагрузка (HSL) и соотношение C/N изучались при малой интенсивности освещения. Эксперимент, сравнивающий большую и малую интенсивности освещения, показал, что освещение сильно влияет на качество воды в системе, но имеет меньшее влияние на количество произведенного перифитона.

В прудах, где перифитон растет на колах или на мелководном дне, ил не задерживается перифитоном и его большая часть оседает на дно, где остается меньше кислорода, чем в PTS, и чрезмерная аккумуляция органического вещества здесь быстро приводит к анаэробным условиям. Если увеличить соотношение C/N с 10 до 20, минерализация органики происходит быстрее и на дне накапливается меньше органического вещества. Поэтому в действующих перифитонных системах рекомендуется поддержание высокого соотношения C:N.

При малой интенсивности освещения удавалось собрать 70 г сухого вещества без золы (AFDM) перифитона на кг корма (91% сухого вещества), при большой – 158 г. СВ собранного перифитона состояло на 52% из белков, что показывает хорошее качество перифитона как корма для рыб. КК AFDM перифитона может достичь 1,34, а учитывая продуктивность перифитона, в пруде площадью 1 га, где поверхность субстрата для развития перифитона равна площади пруда, может быть достигнута продукция тилляпии $5000 \text{ кг га}^{-1} \text{ год}^{-1}$ (предполагая продуктивность перифитона $2,5 \text{ г м}^{-2} \text{ сут.}^{-1}$ и его 75%-ное использование).

Комбинация PTS и капельного фильтра во всех экспериментах была достаточна для поддержания благоприятного качества воды для производства нильской тилляпии. Нитрификация в капельном фильтре и PTS составляла значительную часть нитрификации всей системе, а для того, чтобы концентрация $\text{NO}_3\text{-N}$ не достигала 150 мг л^{-1} , во всех случаях требовался водообмен. Из внесенного при кормлении N 20-30% выпускалось с обменной водой.

Малая часть внесенного N удалялась с перифитоном; в эксперименте по соотношению C/N – 3%, в исследовании HSL – 9%, а в исследовании интенсивности освещения – 5,6 – 9,0%. В случае фосфора, задержанные количества составляли 1,6% в исследовании по соотношению C/N, 12% в исследовании HSL и 3,2 – 4,9% в исследовании интенсивности освещения. Как видно, продукция перифитона в трех исследованиях сильно различалась, даже при одинаковой интенсивности освещения. Она особенно сильно снизилась во время эксперимента по соотношению C/N, тогда как во время эксперимента по интенсивности освещения такого не наблюдалось. Причина этого неясна.

9.3.4. Выгоды от применения

Ил, накапливающийся в системе, задерживал в себе много питательных веществ. Приблизительно около 50% ила аккумуляровалось в PTS, другие 50% – в отстойнике. Скорость накопления была схожей, независимо от того, удалялся ил из PTS только в конце эксперимента, или еженедельно. Согласно балансу массы азота, в исследовании HSL из PTS с илом было удалено 7% внесенного N, в исследовании по соотношению C/N – 10%, а в исследовании интенсивности освещения – 5-9%. В случае фосфора, 11, 7-8 и 13-17% внесенного количества были удалены в исследованиях по HSL, соотношению C/N и интенсивности освещения, соответственно. В случае комбинированного удаления ила и перифитона из PTS, возможно собрать и переработать для дальнейшего использования около 15-30% внесенного N или P. Это представляет преимущество по сравнению с открытыми системами, где питательные вещества исчезают из системы без возможности к использованию.

9.4. От примера до рыбного хозяйства: Как управлять опытным рыбоводным прудом, производящим 5 тонн рыбы в год, с модулем PTS

В исследовании PTS производство перифитона и его эффект на качество воды рассчитывались на м^2 биопленки. Научно-исследовательская группа в Вагенингене детально изучала воздействие перифитона на производство в интенсивных прудах. Показатели эффективности примера PTS использовались для разработки концепции интенсивного пруда как части рециркуляционной системы.

9.4.1. Описание производственной системы

Параметры интенсивного карпового пруда, как части УЗВ, представлены в Таблица 51. Максимальная плотность рыб в рыбоводном бассейне/пруде составляет 15 кг/м^3 , его размер равен 333 м^3 . Глубина воды составляет 80-100 см. Аэрация, циркуляция и слив воды осуществляется эрлифтами (работающими на сжатом воздухе). Напор воды, созданный ими, является достаточным для циркуляции воды по всей системе. Из рыбоводного бассейна/пруда вода поступает в пруд с ямой-отстойником. Яма (объемом около 10 м^3) опорожняется еженедельно. Собранный ил может

Рыбоводный бассейн	333 м2
Пруд-отстойник	300
Пруд с перифитоном	1000
Поверхность субстрата	2000
Проточность	15 л/с
Объект выращивания	Рыбоводный бассейн : карп
	Пруд с перифитоном : тилляпия/карп
<i>Таблица 51: Параметры производственной системы</i>	

использоваться в качестве удобрения. Отсюда вода, через переливную цистерну, поступает самотеком в пруд с перифитоном. Это пруд с дополнительной поверхностью, в два раза превышающей площадь пруда. Максимальная плотность рыб здесь составляет 0,5 кг/м².

Продолжительность выращивания равна приблизительно 6 месяцам. Плотность посадки карпа составляет 28 50-граммовых рыб на м³. Рыбы вырастают до 500-550 г за 180 дней. Выловленная биомасса равна ± 5000 кг. Содержание протеина в рационе составляет 40%. Ввод корма сперва составлял 10,1 кг сут.⁻¹, в конце – 67,8 кг сут.⁻¹.

Приблизительно через 1,5 месяца после посадки карпа, пруд с перифитоном был зарыблен однополым стадом 25-граммовых самцов тилляпии с плотностью посадки 2 рыбы м⁻². Рыбы выросли до максимального размера 300 г за 4,5 месяца. Кормления не было.

Баланс питательных веществ на хозяйстве

Ил со дна пруда богат N и P и обеспечивает хорошее удобрение для сельскохозяйственных культур.

В систему было внесено 6200 кг корма с содержанием белка 40%. 17% внесенного N и 23% P попали в ил. В пруде с перифитоном N и P задерживаются фитопланктоном и перифитоном. Из-за питания тилляпии, планктон и перифитон остаются в продуктивном состоянии (Таблица 52).

Использование воды

С хозяйства нет выпуска воды, только ила. Потери воды из-за испарения компенсируются. Все новые пруды строятся с полимерной пленкой, из-за которой потери от инфильтрации незначительны. Общая площадь составляет около 2000 м², ожидаемые потери от испарения равны 3000 м³.

9.4.2. Преимущества и недостатки системы с интенсивным прудом/перифитоном

Преимущества:

- Задержание и возврат N и P в системе очень высоки: 38% внесенного N и 60% P задержаны в рыбах. Кроме того, значительная часть внесенных N и P остаются в иле, который дает отличное удобрение.
- Большая биофильтрующая поверхность системы (площадь пруда + поверхность колов) стабилизирует качество воды. Скорость водооборота в рыбоводном бассейне/пруде составляет 4 раза в сутки, а время пребывания воды в пруде с перифитоном – 1,6 суток. Это время слишком коротко для развития фитопланктона, что препятствует его чрезмерному размножению, тогда как для прикрепленной биопленки это не представляет проблем.
- Очень низкое воздействие на окружающую среду
- Малый риск заражения патогенными организмами и паразитами
- Малая потребность в медикаментах и химических препаратах для лечения
- Годовой цикл производства с посадкой тилляпии в наиболее жаркие месяцы года.
- Если рядом с отстойником имеется земля, можно получить дополнительный доход от производства овощных культур.
- Риск отравления аммиаком ничтожен.
- Продукция в 5-10 раз выше, чем в традиционном экстенсивном прудовом рыбоводстве, поэтому нужна меньшая площадь. Для охраны природы или другой деятельности остается больше земли.

Недостатки:

- Требуется относительно большая производственная площадь и большие начальные инвестиции.
- Необходима постоянная аэрация, что ведет за собой высокие затраты на энергию.
- Необходим запасной источник энергии.
- Каждой весной требуется надежный источник посадочного материала
- Мощность 5 т все еще очень мала. Необходима проверка опытной системы на практике.

Описание	кг	
Все корма (40% прот., 1,2% P)	6 200	
Общий N в кормах	397	
N в иле	77	
N в перифитоне	40	
N в фитопланктоне	24	
Общий P в кормах	74	
P в иле	17,5	
P в перифитоне	3,6	
P в фитопланктоне	3,3	
N, задержанный в карпе	136	
P, задержанный в карпе	40	
N, задержанный в тилляпии	16	
P, задержанный в тилляпии	4,8	%
Остальной N	104	26
Остальной P	5,7	8

Таблица 52: Данные по N и P в системе для интенсивного производства карпа/тилляпии

10. Производство тропических растений и рыб в поликультуре согласно интегрированной концепции «Тропенхаус» - Пример Швейцарии

10.1. Введение – Общая концепция «Тропенхаус» в Швейцарии

Концепция «Тропенхаус» была разработана для экономической утилизации отходящего тепла газомоторной станции, обслуживающей газопровод, ведущий из Нидерландов в Италию, которая находится в Швейцарии, в кантоне Люцерн. Ежегодная продукция отходящего тепла составляет около 100 ГВт.ч.



Рисунок 33: Газомоторная станция, как источник отходящего тепла для поликультурного хозяйства «Русвиль» (Densification plant - Газомоторная станция; Waste heat - Отходящее тепло; Ruswil Polyculture - Поликультурное хозяйство «Русвиль»)

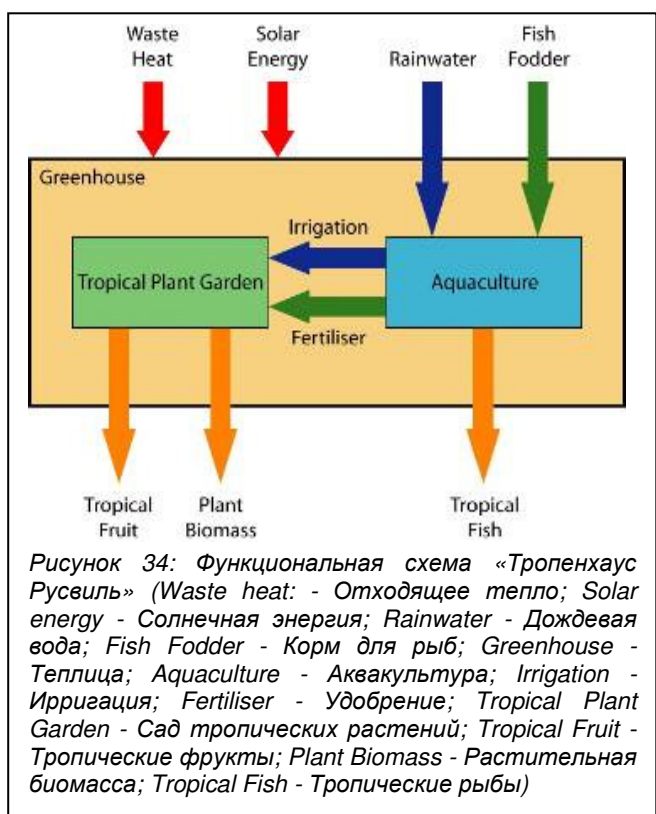
Система «Тропенхаус», производящая свежую, экологически выращиваемую папайю, гуаяву, бананы, карамболу и тилапию, используя сбросное тепло и органическое сырье, является образцовым примером экологической инженерии и устойчивости. Главными целями проекта являются:

- отношение к отходам как к ресурсу,
- поиск принципов проектирования, принимающих во внимание экосистему,
- стремление к большей диверсификации,
- стремление к большей интеграции системы,
- использование возобновляемой и нейтральной по отношению к CO₂ энергии.

В 1999 г., на основе южно-азиатских подходов к поликультурному производству, началось опытное интегрированное производство рыбы и тропических фруктов в теплице площадью 1 500 м². С тех пор ведутся и прикладные работы НИОКР по качественной и количественной оптимизации производства.

Центральным элементом «Тропенхаус» является модуль устойчивой аквакультуры для производства тилапии. Богатая органикой вода от производства тилапии используется для ирригации и в качестве удобрения для тропических фруктов, выращиваемых в теплице.

10 лет непосредственного опыта, полученного в ходе проекта «Тропенхаус Русвиль», ясно доказывают, что качественные, экологически выращенные рыба и фрукты могут производиться экономически жизнеспособным путем, используя отходящее тепло в качестве главного источника энергоснабжения. Из-за



оптимизации сроков облова и коротких расстояний транспортировки между «Тропенхаус» и конечными покупателями (частными лицами, ресторанами, супермаркетами и т.д.), качество продукции (выраженное во вкусе) выше, чем в случае импортированных тропических рыб и фруктов.

На основе многообещающих результатов опытного проекта недавно было разработано два более масштабных проекта с общим объемом инвестиций около 40 млн. евро. В настоящее время оба находятся в фазе строительства, ожидается, что они начнут работу в середине 2009 г. Торговая сеть «Кооп», одна из двух крупнейших сетей розничной торговли в Швейцарии, является убежденной сторонницей концепции «Тропенхаус» и подходов проекта «SustainAqua», и активно пропагандирует продукцию «Тропенхаус». Это позволяет начать расширение рынка с целью поддержать решения рыбоводов о больших инвестициях в более устойчивое рыбоводство. Новая система «Тропенхаус» в следующие годы будет служить платформой для популяризации концепции устойчивой аквакультуры и распространения результатов «SustainAqua» среди широкой публики. Таким образом, она, как привлекательный «образцовый пример устойчивости», будет содействовать лучшей информированности рыбоводов, потребителей, продавцов и т.д. об устойчивом рыбоводстве.

Необходимыми условиями применения системы «Тропенхаус» являются:

- Отходящее тепло от технологического тепла промышленных фабрик, теплостанций на биогазе, геотермальных установок и т.д. (1,5 – 2 МВт / 10 000 м²)
- Доступ к рынку тропических фруктов и рыб
- Почва: Особых требований нет, но желательно, чтобы грунтовая вода не была холодной
- Топография: Плоская или со слабым наклоном
- Облучение: Хорошее солнечное облучение

Система «Тропенхаус» изучалась и получила дальнейшее развитие в рамках проекта «SustainAqua». Исследования были направлены на решение следующих вопросов:

- Интеграция ракообразных в производство тилапии
- Изготовление кормов из биомассы, полученной в «Тропенхаус» в качестве побочной продукции
- Применимость гидропонического фильтра

После краткого изложения результатов по ракообразным и кормам для рыб, еще недостаточно разработанным для рыночного применения, гидропонический фильтр представлен более подробно.

10.2. Интеграция ракообразных в производство тилапии и рыбные корма из тропических растений

10.2.1. Общее описание инновации

Ракообразные

В «Тропенхаус» буйно растут тропические растения (среди прочих, папайя, гуаява, бананы и карамбола), в результате чего производятся большие объемы растительного материала, до сих пор интенсивно не использовавшегося. Как правило, ракообразные умеют очень хорошо использовать растительный материал и отходы аквакультуры, такие как ил, экскременты рыб или мертвые рыбы. Интеграция ракообразных в существующее производство тилапии содействует:

- диверсификации продукции
- улучшению управления питательными веществами
- более интенсивному использованию водных ресурсов и
- повышению экономической эффективности системы

Равноногий рачок *Asellus aquaticus* хорошо переносит плохое качество воды и недостаток кислорода. Его выращивание в бассейнах, интегрированных в рециркуляционную систему и получающих сточную воду из аквакультуры, является нетрудным и может дополнить комбикорма выращиваемых рыб естественной пищей, богатой биологически активными веществами. Отходы интенсивной аквакультуры, такие как взвешенные твердые частицы и растворенные питательные вещества, могут, среди прочего, сыграть роль в питании рыб, как дополнительные корма. Естественная пища обеспечивает незаменимые аминокислоты, жирные кислоты и другие питательные вещества, необходимые для подходящего развития организма рыб. Исследования по физическому благополучию радужной форели, выращиваемой в прудовом рыбоводстве на искусственных кормах с небольшой долей естественного корма, показала значительное улучшение качества мяса и жизнеспособности рыб по сравнению с рыбами из интенсивных наземных проточных систем, кормленными исключительно искусственными гранулированными кормами.

Корма для рыб из биомассы «Тропенхаус»

Климат теплицы неблагоприятен для компостирования растительных побочных продуктов; это приводит к дополнительным расходам по обращению с данными веществами и их компостированию. Использование этих материалов в качестве корма для рыб может улучшить круговорот питательных веществ в теплице и уменьшить количество потребляемых коммерческих рыбных кормов.

10.2.2. Принципы модулей

Ракообразные

Asellus aquaticus содержался вместе с нитчатыми водорослями в неглубоком бассейне. Небольшая часть воды, циркулирующей между рыбоводным бассейном и фильтром, отводилась в бассейн с рачками, откуда она возвращалась систему для рыбоводства. *Asellus* кормился илом (экскрементами рыб, рыбными кормами и т.д.), накопившимся в воде рыб, нитчатыми водорослями, растущими в самом бассейне с рачками, а также упавшими плодами папайи.

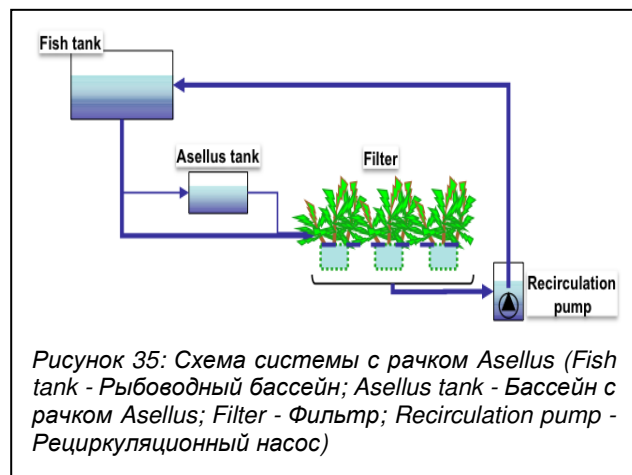
Корма для рыб из биомассы «Тропенхаус»

Побочные продукты тропических растений, выращиваемых в «Тропенхаус», измельчались или обрабатывались компостированием. Часть гранул коммерческих кормов, используемых в экспериментах по кормлению рыбы или рачков, была заменена этим материалом.

10.2.3. Оценка экспериментов

Ракообразные

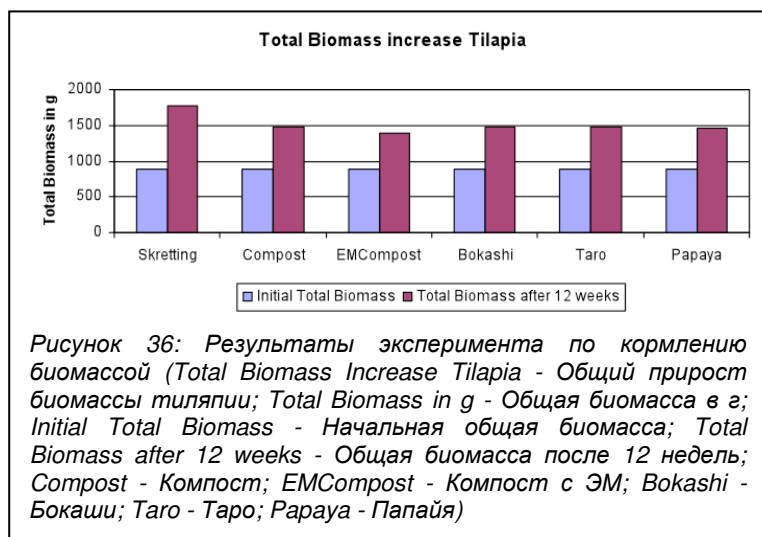
Популяция рачка *Asellus* развивалась хорошо и стабильно. Сравнение пригодности различных субстратов для выращивания данного вида показало, что интеграция раководства в



рециркуляционные рыбоводные системы может принести и другие выгоды. Продукция рачка была бесспорно наилучшей, когда в качестве субстрата использовались нитчатые водоросли (*Cladophora*). Данный субстрат выгоден также тем, что он, вместе с прикрепленными к нему рачками, растущими на водорослях, пригоден для непосредственного кормления тилапии. Кроме того, плотное сплетение водорослей также может эффективно удалять взвешенные твердые вещества (органические частицы). Задержанные органические частицы обеспечивают отличную кормовую базу для рачка (а также представляют собой подходящий корм для тилапии, когда дополнительная биомасса водорослей с прикрепленными к ним рачками используется непосредственно для кормления).

Когда в качестве субстрата использовался ил из фильтров, продукция рачка *Asellus* была менее высокой, но, все же, эффективной.

Преимущество ила как субстрата состоит в эффективной очистке и использовании некоторых отходов УЗВ, но только в очень малой степени. Похожая продукция рачка была достигнута с использованием аквариумных и декоративных растений *Ludwigia* и *Eichhornia* в качестве субстрата. Кроме пользы от производства рачков, некоторого задержания взвешенных твердых частиц (особенно в случае *Eichhornia*) и удаления питательных веществ, данные растения также являются побочными продуктами, пригодными к реализации.



Корма для рыб из биомассы «Тропенхаус»

На рисунке 36 подведены итоги этого задания. Замена кормов Skretting компостом, компостом с эффективными микроорганизмами (ЭМ), бокаши, таро или папайей дала отличные результаты. Тем не менее, использование корма на основе биомассы рекомендуется только в качестве дополнительного кормления вместе с кормами Skretting.

10.2.4. Факторы успеха и ограничивающие факторы

Оба модуля требуют дополнительных исследований. Возможные факторы успеха и ограничивающие факторы указаны ниже.

Ракообразные

Опыт «Тропенхаус», вместе с экспериментами по субстрату, показывает, что выращивание рачка *Asellus aquaticus* осуществимо в такой тепловодной аквакультурной системе, как «Тропенхаус». Оно может содействовать производству естественных кормовых организмов, богатых биологически активными веществами, в качестве дополнения к привычному рациону выращиваемых рыб. *Asellus* может питаться твердыми частицами, взвешенными в воде рыб, а также остатками растений. Если в качестве субстрата используются нитчатые водоросли, они, вместе с прикрепленными к ним рачками, могут использоваться для кормления рыб. Плотное сплетение водорослей *Cladophora* также может эффективно удалять взвешенные твердые вещества (органические частицы). Задержанные органические частицы представляют собой отличную кормовую базу для производства рачка, а также подходящий корм для тилляпии, когда дополнительная биомасса водорослей с прикрепленными к ним рачками используется непосредственно в качестве корма.

Корма для рыб из биомассы «Тропенхаус»

Использование в качестве рыбного корма растительной биомассы, произведенной в «Тропенхаус», является перспективной возможностью для диверсификации рациона рыб. Она не может заменить традиционные корма, но может стать дополнительной естественной пищей, богатой биологически активными веществами. Поскольку при традиционном кормлении тилляпии ее желудок не наполняется полностью, дополнительная свежая пища не конкурирует с комбикормом, а дополняет его.

10.3. Тепловодный гидропонический фильтр в системе «тропической» поликультуры

10.3.1. Общее описание инновации

Каждый аквакультурный модуль «Тропенхаус» состоит из следующих элементов:

- одного рыбоводного бассейна,
- одного прудового фильтра в качестве водоочистой установки и
- насоса для циркуляции воды.

В одном модуле был установлен и оценен новый аквапонический фильтр, состоящий из пластиковых ящиков с щелями, наполненных керамзитовыми гранулами, в которых выращиваются тропические растения. Вода из рыбоводных бассейнов подается в верхнюю часть ящиков, откуда она стекает по керамзитовым гранулам. Щели на дне и боках ящиков облегчают доступ воздуха к фильтру, препятствуя возникновению анаэробных условий. Корни, растущие в нижней части фильтра, улучшают механическую эффективность фильтра и обеспечивают субстрат для микроорганизмов.



Система гидропонического фильтра с тропическими фруктами (Фотография: IEES)

10.3.2. Принципы модуля

Для сравнения отдельных результатов использовались система с гидропоническим фильтром и система с использовавшимся ранее прудовым фильтром. Каждая из этих систем имела по круглому стальному бассейну с внутренним покрытием из полиэтиленовой пленки и системой донного отопления. Диаметр бассейнов составлял 5,5 м и они содержали 10 м³ воды. Температура воды удерживалась на уровне 25°C. Вода пропусклась через блоки фильтрации два раза в час. Дневные температуры были равны приблизительно 23°C, а ночные – 18°C. Вода из рыбоводных бассейнов использовалась для ирригации теплицы. Бассейны подпитывались дождевой водой, собранной на крыше теплицы.

Гидропонический фильтр состоял из 40 пластиковых ящиков с щелями на дне и боках. Каждый ящик был наполнен 60 л керамзитовых гранул диаметром 13 – 20 мм. Общий объем фильтра составлял 2,4 м³. Вода из рыбоводного бассейна поступает в каждый ящик через трубу.

Гидропонический фильтр содержит следующие основные инновации:

- Очистка воды: Водоем заменен керамзитовыми гранулами
- Объекты выращивания: Водные растения заменены фруктами и овощами
- Конструкция: Возможно установление на поверхности земли

Система представлена на следующем рисунке:

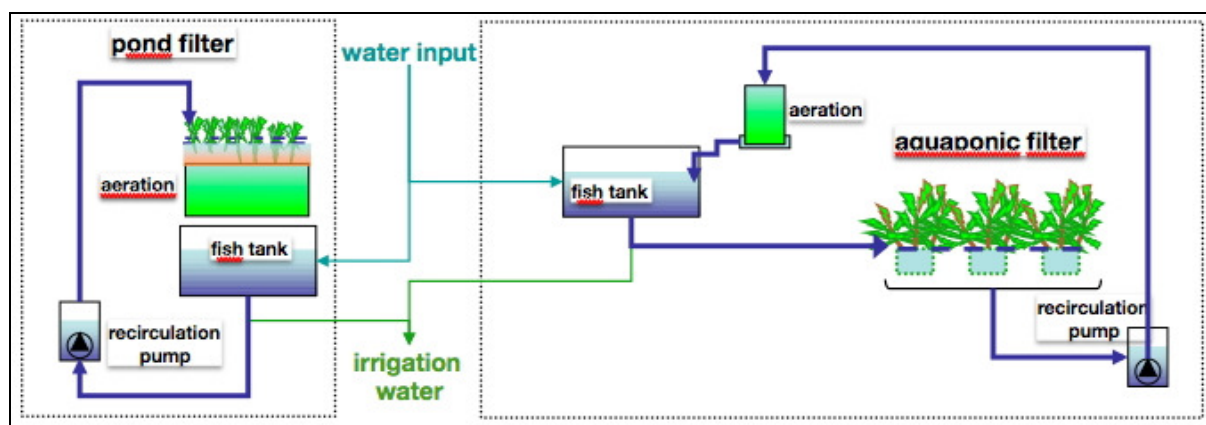


Рисунок 37: Схема системы с гидропоническим фильтром в сравнении со «старым» прудовым фильтром (Pond filter - Прудовый фильтр; Aeration - Аэрация; Fish tank - Рыбоводный бассейн; Recirculation pump - Рециркуляционный насос; Water input - Поступление воды; Irrigation water - Вода для орошения; Aquaponic filter - Гидропонический фильтр)

10.3.3. Оценка избранных показателей устойчивости «SustainAqua»

Таблица 53 суммирует результаты, относящиеся к показателям устойчивости «SustainAqua», сравнивая инновационный гидропонический фильтр с прудовым фильтром. Она ясно показывает улучшение эффективности использования и выпуска питательных веществ, а также улучшение продуктивности, снижающее трудовые затраты.

Результаты	Система с гидропоническим фильтром		Система с прудовым фильтром	
Эффективность использования энергии	Расход энергии при производстве теляпии [кВт.ч/кг]		Расход энергии при производстве теляпии [кВт.ч/кг]	
	Всего	214,43	Всего	157,41
	Тепло	214,38	Тепло	157,36
	Электричество	0,05	Электричество	0,05
Потребление воды	Потребление воды при производстве теляпии [м3/кг]	1,4	Потребление воды при производстве теляпии [м3/кг]	1,4
Выпуск воды	Выпуск воды при производстве теляпии [м3/кг]	1,4	Выпуск воды при производстве теляпии [м3/кг]	1,3
Питательные вещества: Эффективность использования	N в биомассе теляпии / N введенный [кг/кг]	0,28	N в биомассе теляпии / N введенный [кг/кг]	0,24
	P в биомассе теляпии / P введенный [кг/кг]	0,32	P в биомассе теляпии / P введенный [кг/кг]	0,27
Выпуск питательных веществ	Выпуск N со сточной водой / Ввод N (рыбы кости) [кг/кг]	0,21	Выпуск N со сточной водой / Ввод N (рыбы кости) [кг/кг]	0,22
	Выпуск P со сточной водой / Ввод P (рыбы кости) [кг/кг]	0,17	Выпуск P со сточной водой / Ввод P (рыбы кости) [кг/кг]	0,29
Повторное использование питательных веществ в ценных побочных продуктах	Содержание N в побочных продуктах / Ввод N (рыбы кости) [кг/кг]	0,01	Содержание N в побочных продуктах / Ввод N (рыбы кости) [кг/кг]	0,00
	Содержание P в побочных продуктах / Ввод P (рыбы кости) [кг/кг]	0,01	Содержание P в побочных продуктах / Ввод P (рыбы кости) [кг/кг]	0,00
Увеличение продуктивности на единицу труда	Затраты времени на управление системой / продукция [ч/кг]	0,04	Затраты времени на управление системой / продукция [ч/кг]	0,27

Таблица 53: Ключевые результаты гидропонического фильтра

Колебания концентраций аммиака, нитрита, нитрата, O₂ и ХПК

Концентрация аммиака в течение долгого времени была неизменной и относительно низкой в обоих рыбоводных бассейнах. В конце августа уровень аммиака в обоих бассейнах резко вырос. Однако измеренные концентрации в бассейне с прудовым фильтром оказались выше, чем в бассейне с гидропоническим фильтром. Концентрация нитрита, как правило, также оставалась низкой. Однако в рыбоводном бассейне с прудовым фильтром в данном случае также отмечались пики, тогда как в бассейне с гидропоническим фильтром концентрация нитрита оставалась более уравновешенной. Концентрация нитрата в обоих бассейнах менялась приблизительно в одинаковых пределах. Концентрация кислорода варьировала между 1,5 и 7,2 в рыбоводном бассейне с прудом, и между 5,9 и 7,9 в рыбоводном бассейне с гидропоническим фильтром. Уровень ХПК был приблизительно равным в обоих бассейнах, не считая повышение в гидропоническом бассейне в середине апреля.

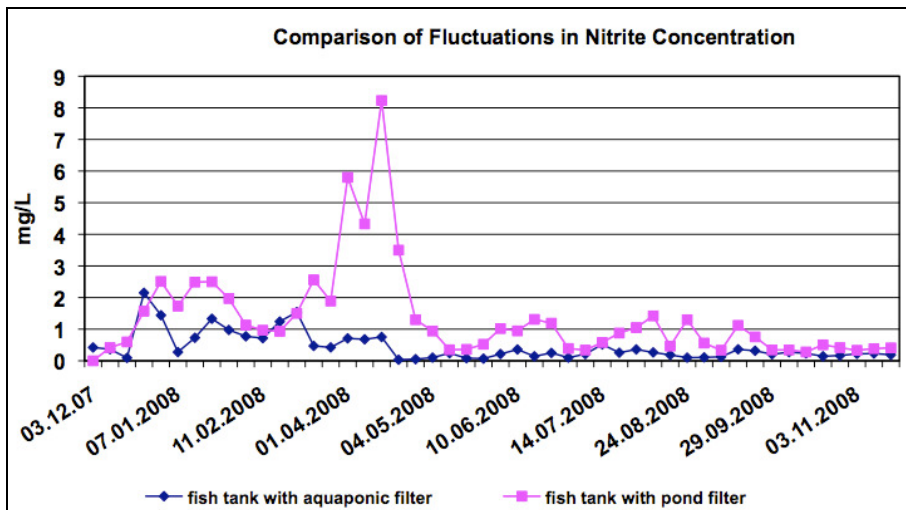


Рисунок 38: Сравнение изменений концентрации нитрита (Fish tank with aquaponic filter - Рыбоводный бассейн с гидропоническим фильтром; Fish tank with pond filter - Рыбоводный бассейн с прудовым фильтром)

10.3.4. Факторы успеха и ограничивающие факторы

Было доказано, что гидропонический фильтр является экономически эффективным способом очистки воды в таких системах, как «Тропенхаус», где аквакультура комбинируется с выращиванием растений. Он может быть установлен на возделываемой площади теплицы, и здесь может быть достигнута такая же продуктивность, как на оставшейся части возделываемой площади. По сравнению с прудовым фильтром, он требует меньше работы по уходу за очистной системой (в частности, по удалению ила). Выращивание растений является не более трудоемким, чем в обычном растениеводстве. Гидропонический фильтр также имеет большую биологическую эффективность, чем прудовой фильтр, особенно в отношении таких параметров, как аммоний и нитрит, которые оба токсичны для рыб.

Если интеграция гидропонического фильтра в возделываемую площадь неосуществима, потребность в дополнительной площади может оказаться недостатком по сравнению с прудовой системой, установленной над рыбоводным бассейном. Другим недостатком является необходимость подачи воды в каждый ящик фильтра, что требует комплексной системы распределения.

10.3.5. Выгоды от применения

По сравнению с прудовым фильтром, исследованный гидропонический фильтр имеет несколько основных преимуществ:

- Добавленная стоимость из-за большего экономического выхода от выращиваемых культур
- Меньшие колебания концентрации питательных веществ в рыбоводном бассейне
- Легкость интеграции в существующие системы без дорогостоящего строительства
- Уход за фильтром требует меньше работы

Новый гидропонический фильтр является образцовым примером экологической инженерии, в которой «экосистемные концепции служат обществу» и «отходы считаются ресурсами». Дорогостоящее ручное или механическое удаление ила заменено бесплатными природными процессами. Сточная вода прудов для производства теляпии используется для производства качественных побочных продуктов (тропических фруктов и овощей), улучшая экономическую эффективность интегрированной системы производства. Это подтверждается и бизнес-планом нового, расширенного проекта «Тропенхаус», в который входит и производство фруктов на основе нового гидропонического фильтра.

10.4. От примера до рыбного хозяйства: Проектирование тепловодной системы с гидропоническим фильтром в «Тропенхаус Вольхузен»

10.4.1. Введение: «Тропенхаус Вольхузен»

«Тропенхаус Вольхузен» опирается на десятилетний опыт «Тропенхаус Русвиль», где крытая тропическая поликультурная система получала энергию из вторичных промышленных энергоресурсов. «Тропенхаус Вольхузен», построенный в 2009 г., имеет тепличную площадь 5 400 м², используемую для производства. Здесь также построен центр для посетителей, принимающий около 55 000 человек в год.

Тропическая аквакультура включает в себя как тропический сад, где выращиваются папайя, бананы и другие тропические культуры, так и аквакультурный блок с гидропоническими фильтрами для производства тилапии. Энергию для поликультуры обеспечивает источник отходящего тепла и солнечная энергия, а рыбные корма служат в качестве источника питательных веществ. Дождевая вода улавливается на крыше теплицы. Вода из-под рыб, обогащенная остатками рыбных кормов, используется для ирригации тропического сада и удобряет растения. Продуктами системы являются тропические фрукты, рыбы и растительная биомасса.

Центр для посетителей занимает площадь 2 100 м² и содержит тропический сад, аквакультурный блок для выращивания тилапии, ресторан и помещения, где посетители могут увидеть декоративные тропические растения, а также растения, используемые в теплице для производства.

«Тропенхаус Вольхузен» расположен на высоте 680 м над уровнем моря в холмистой местности альпийского предгорья центральной Швейцарии. Данный регион является типично аграрным и теплица окружена сельскохозяйственными землями. Климатические условия могут считаться умеренными. Годовое количество солнечных часов составляет 1 300-1 400. Среднегодовое количество осадков равно приблизительно 1 200 мм.

Теплица подключена к источнику промышленного отходящего тепла, обеспечивающему теплую воду температурой около 60 °С, используемую для отопления теплицы и воды для рыб. Целевая температура теплицы равна 23 °С днем и 18 °С ночью. Температура воды рыб составляет 26 °С.

Обрабатываемая площадь составляет около 4 000 м², а годовая продукция тропических фруктов (главным образом папайи и бананов) – около 60 т или более.

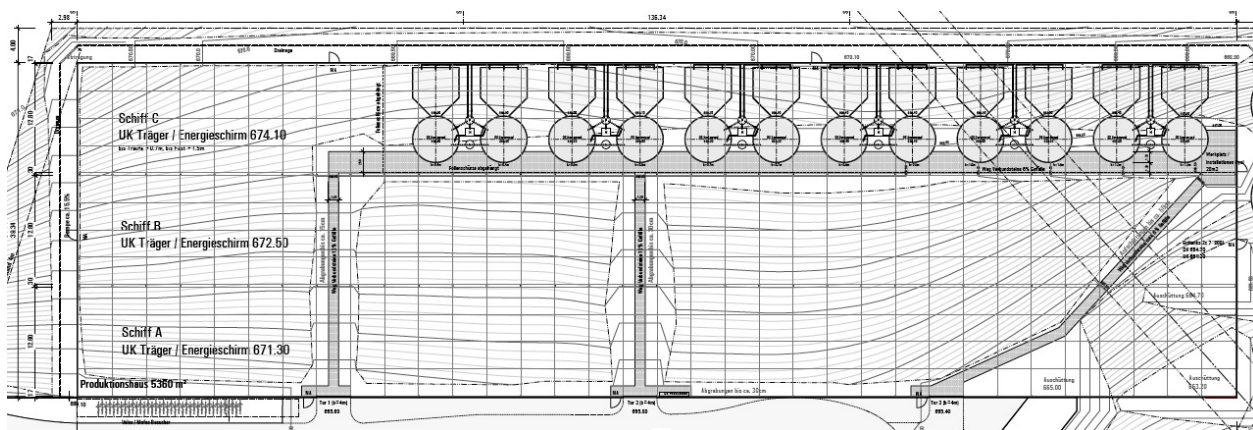
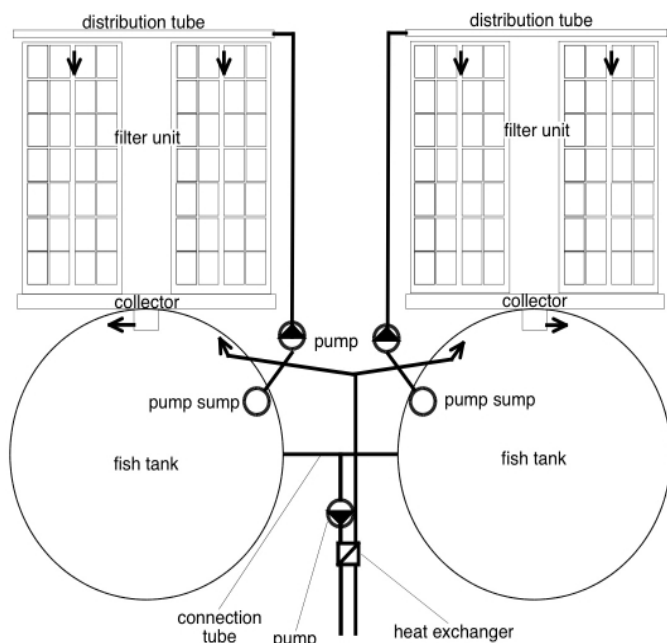


Рисунок 39: План «Тропенхаус Вольхузен» с аквакультурным блоком

10.4.2. Описание аквакультурного блока

Рыбоводный компонент состоит из шести аквакультурных блоков, каждый из которых имеет два рыбоводных бассейна и два гидропонических фильтра. Площадь, необходимая для модуля, составляет около 180 м², включая 32 м², требуемых для гидропонического фильтра.



Аквакультурный модуль в стадии строительства
(Фотография: IEES)

Рисунок 40: Схема аквакультурного модуля (Distribution tube - Распределительная труба; Filter unit - Блок фильтров; Collector - Коллектор; Pump - Насос; Pump sump - Приемник насоса; Fish tank - Рыбоводный бассейн; Connection tube - Соединительная труба; Heat exchanger - Теплообменник)

Два рыбоводных бассейна модуля соединены трубой в целях гидравлической компенсации. Вода для ирригации теплицы берется из одного бассейна. В этот же бассейн направляется и дождевая вода. Добыча воды для полива контролируется ирригационным компьютером, подпитка водой – регулятором уровня в бассейне.

Рыбоводные бассейны являются круглыми стальными бассейнами, изолированными полиэтиленовой пленкой. Их диаметр равен 5,5 м, высота – 1,6 м, глубина воды – 1,3 м, а объем воды – 30 м³. Плотность посадки составляет 20 кг рыбы на кубометр воды, а годовой вылов рыбы – 920 кг из каждого бассейна.



Рыбоводный бассейн в стадии строительства
(Фотография: IEES)

10.4.3. Гидропонический фильтр, разработанный на основе результатов рассмотренного примера

Гидропонический фильтр построен из пластиковых ящиков, наполненных керамзитовыми гранулами. Дно и стенки ящиков имеют щели, облегчающие движение воды и воздуха. В ящиках выращиваются тропические растения. Основными культурами являются папайя и бананы, как и в остальной части теплицы, но также выращиваются перец чили, лимонное сорго, таро и калган. Продукция данных культур на поверхности фильтра в пересчете на квадратный метр является не меньшим, чем на остальной площади теплицы.

Фильтр одного рыбоводного бассейна имеет 56 ящиков-фильтров. Вода постоянно поступает на фильтр с проточностью 1 м³ в минуту или около 18 л в минуту на ящик. Размеры пластиковых ящиков равны 60 x 40 x 32, щели на боковых стенках и на дне имеют ширину 5 мм. Ящики наполнены 60 л керамзитовых гранул, размером 8 – 16 мм. Вода подается с помощью насоса в распределитель, откуда по трубам поступает в каждый ящик фильтра.



Слева: Ящики фильтра с трубой для подачи воды и перцем чили, справа: банан, растущий в ящике фильтра (Фотографии: IEES)

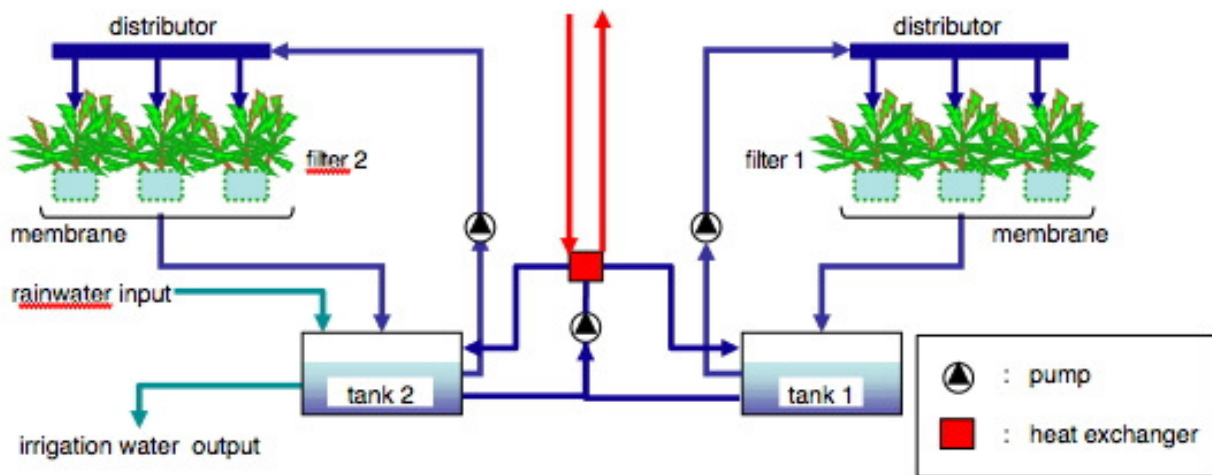


Рисунок 41: Схема аквакультурного модуля «Тропенхаус Вольхузен» (Distributor - Распределитель; Filter - Фильтр; Membrane - Пленка; Rainwater input - Приток дождевой воды; Tank - Бассейн; Irrigation water output - Отток воды для полива; Pump - Насос; Heat exchanger - Теплообменник)

Аквакультурный блок расположен на склоне, таким образом, фильтр находится выше, чем рыбоводный бассейн, и вода из фильтра поступает в бассейн самотеком.

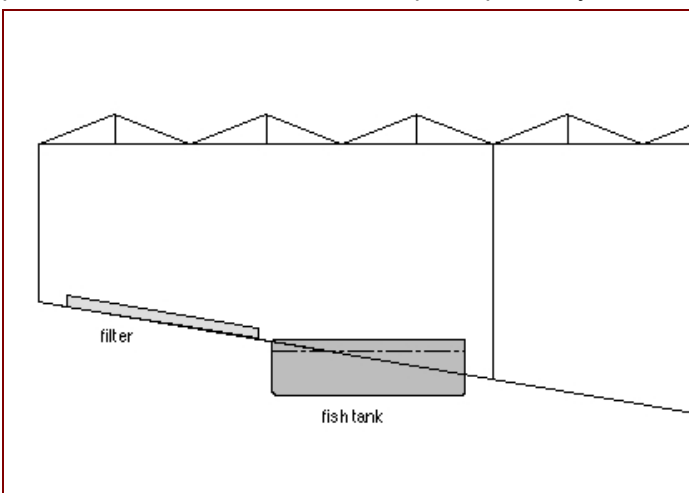


Рисунок 42: Аквакультурный блок в поперечном разрезе (Filter - Фильтр; Fish tank - Рыбоводный бассейн)

10.4.4. Стоимость и человеко-часы

В следующей таблице представлена стоимость строительства вышеописанного аквакультурного модуля. Стоимость строительства модуля разделена на материальные затраты и человеко-часы труда, потраченного на постройку системы. Строительство должно быть поручено квалифицированному работнику, под надзором которого могут работать неквалифицированные рабочие. Инженерные расходы и стоимость земляных работ, необходимых для углубления рыбоводных бассейнов в землю, не включены. Материальные затраты указаны в евро без налогов, но могут включать в себя некоторые таможенные пошлины.

Таблица 54: Стоимость аквакультурного модуля

	€	%	ч	%
Рыбоводный бассейн с изоляцией, водоснабжением и сливом воды	12 048	45%	71	29%
Гидропонический фильтр	3 611	14%	83	34%
Насос фильтра, арматура, трубы	7 138	27%	59	24%
Отопление; преобразователь, насос, арматура	3 891	15%	32	13%
Итого	26 687	100%	245	100%

10.4.5. Преимущества и недостатки гидропонического фильтра

В таких системах, как «Тропенхаус», где аквакультура комбинируется с выращиванием растений, гидропонический фильтр является экономически эффективным способом очистки воды. Он может быть установлен на возделываемой площади теплицы, обеспечивая такую же продуктивность, как на оставшейся части возделываемой площади. По сравнению с прудовым фильтром, он требует меньше работы по уходу за очистной системой (в частности, по удалению ила). Выращивание растений является не более трудоемким, чем в обычном растениеводстве. Гидропонический фильтр также имеет большую биологическую эффективность, чем прудовой фильтр, особенно в отношении соединений, токсичных для рыб, таких как аммоний и нитрит.

Если интеграция гидропонического фильтра в возделываемую площадь неосуществима, потребность в дополнительной площади может оказаться недостатком по сравнению с прудовой системой, установленной над рыбоводным бассейном, как в случае «Тропенхаус». Необходимость подачи воды в каждый ящик фильтра требует комплексной системы распределения.



Новый гидропонический фильтр после семи месяцев эксплуатации (Фотография: IEES)

Использованная и рекомендуемая литература

Информация о проекте «SustainAqua»

Интернет:

www.sustainaqua.org – веб-сайт проекта

wiki.sustainaqua.org – онлайн ресурс на основе Википедии для предоставления информации о результатах проекта

Устойчивость в аквакультуре

Интернет:

www.euraquaculture.info – портал проекта «CONSENSUS», концентрирующий на теории устойчивости в аквакультуре

EIFAC/EC Working Party on Market Perspectives for European Freshwater Aquaculture, Brussels, Belgium, 14 – 16 May 2001: 84-94

BEVERIDGE, M.C.M.; PHILLIPS, M.J. & MACINTOSH, D.J. (1997): Aquaculture and the environment: the supply of and demand for environmental goods and services by Asian aquaculture and the implications for sustainability. In: Aquaculture Research 28, 797-807 CEC [COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES] (2005): Proposal for a Council Regulation on organic production and labelling of organic products. COM(2005)671 final. - Brussels

CEU [COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION] (2006): Proposal for Council Regulations on organic production and labelling of organic products, amending Regulation (EC) no 2092/91, 10782/06. - Brussels

FAO [FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS] (1988): Aspects of FAOs policies, programmes, budget and activities aimed at contributing to sustainable development. Document to the ninety-fourth Session of the FAO Council, Rome, 15-25 November 1988. Rome, FAO,CL94/6.

FAO [FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS] (1995): Code of conduct for responsible fisheries. - Rome

FEAP [FEDERATION OF EUROPEAN AQUACULTURE PRODUCERS] (2000): Code of conduct for European Aquaculture. - Bonnelles, Belgium

FOCARDI, S.; CORSI, I.; FRANCHI, E. (2005): Safety issues and sustainable development of European aquaculture: new tools for environmentally sound aquaculture. In: Aquaculture International 13, 3-17

FRANKIC, ANAMARIJA & HERSHNER, CARL (2003): Sustainable aquaculture: developing the promise of aquaculture. In: Aquaculture International 11: 517-530

HALBERG, NIELS; VAN DER WERF, HAYO M.G.; BASSET-MENS, CLAUDINE; DALGAARD, RANDI; DE BOER, IMKE J.M. (2005): Environmental assessment tools for the evaluation and improvement of European livestock production systems. In: Livestock Production Science 96, 33-50

SECOND INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SUSTAINABLE AQUACULTURE IN OSLO (1997): Holmenkollen guidelines for sustainable aquaculture. - Oslo

WURTS, W. A. (2000): Sustainable Aquaculture in the Twenty-First Century. In: Reviews in Fisheries Science 8 (2), 141-150

BELL, S. & STEPHEN MORSE, 1999.- Sustainability indicators: measuring the immeasurable?. Earthscan, ISBN 185383498X, 9781853834981, 175 pp.
http://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=FZvLx3x9tYsC&oi=fnd&pg=PR7&dq=%22Bell%22+%22Sustainability+indicators:+measuring+the+immeasurable%3F%22+&ots=Fr5MxY7Ocv&sig=f6OR5AcsGy7eA_QkriVyYBjo5vA

FAO/ICLARM/IIRR, 2003.- Integrated agriculture-aquaculture. A primer. FAO Fisheries Technical Paper, n 407. 149 p. (in English)
<http://www.fao.org/DOCREP/005/Y1187E/Y1187E00.HTM>

MEA, 2005.- Ecosystems and Human Well-being. A Framework for Assessment.
<http://www.millenniumassessment.org/en/Framework.aspx>

Рекомендуемая литература об искусственных водно-болотных угодьях и интегрированных экстенсивно-интенсивных системах

- AZIM, M.E., VERDEGEM, M.C.J., VAN DAM, A.A., BEVERIDGE, M.C.M. (2005). Periphyton: ecology, exploitation and management. CABI Publishing, Cambridge, MA 02139, USA.
- COSTA-PIERCE, B.A. (1998). Preliminary investigation of an integrated aquaculture-wetland ecosystem using tertiary-treated municipal wastewater in Los Angeles County, California. *Ecological Engineering*, 10: 341-354.
- GOPAL, B. (2003). Perspectives on wetland science, application and policy. *Hydrobiologia*, 490: 1-10.
- GÁL, D., PEKÁR, F., KEREPECZKI, É., VÁRADI, L. (2007). Experiments on the operation of a combined aquaculture-algae system. *Aquaculture International*, 15: 173-180.
- GÁL D., KEREPECZKI É., SZABÓ P., PEKÁR F. (2008). A survey on the environmental impact of pond aquaculture in Hungary. *European Aquaculture Society, Special Publication No. 37*, pp. 230-231.
- KADLEC, R.H., KNIGHT, R.L. (1996). *Treatment wetlands*. Lewis Publishers, Boca Raton, USA.
- KEREPECZKI É., GÁL D., SZABÓ P., PEKÁR F. (2003). Preliminary investigations on the nutrient removal efficiency of a wetland-type ecosystem. *Hydrobiologia*, 506-509: 665-670.
- KEREPECZKI, E., PEKAR, F. (2005). Nitrogen dynamics in an integrated pond-wetland ecosystem. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 29: 877-879.

Рекомендуемая литература о прудовой поликультуре и каскадных системах

- SZUMIEC, M.A., AUGUSTYN, D. 2002. Dynamics of the surface water circulation between a river and fishponds in a sub-mountain area. IN: Rizzoli A.E. & Jakeman A.J. (Eds), *Integrated assessment and decision support. Proceedings of the First biennial meeting of the International Environmental Modelling and Software Society*, Lugano (Switzerland), 1, 358-362
- BOYD, C. 1995. *Bottom soils, sediment and pond aquaculture*. Chapman & Hall, New York, p. 348
- EL SAMRA, M., OLÁH. 1979. Significance of nitrogen fixation in fish ponds. *Aquaculture*, 18:367-372
- RAHMAN, M. M., 2006. *Food web interactions and nutrient dynamics in polyculture ponds* PHD. Thesis. Wageningen University, 168 p. <http://library.wur.nl/wda/dissertations/dis3980.pdf>
- WHO, 2006.- *Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater . Volume 3 Wastewater and excreta use in aquaculture*. World Health Organization, ISBN 9241546840, 9789241546843, 158 pp.
- MARA, DUNCAN & SANDY CAIRNCROSS, 2003.- *Guidelines for the Safe Use of Excreta and Wastewater in Agriculture and Aquaculture*, Executive summary -UNEP- WHO Publications, 32 p. <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/who/waste1.pdf>
- <http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IscScript=iah/iah.xis&src=google&base=REPIDISCA&ang=p&nextAction=lnk&exprSearch=11401&indexSearch=ID>
- YEO, S. E., BINKOWSKI F.P & MORRIS, J.P., 2004.- *Aquaculture Effluents and Waste By-Products. Characteristics, Potential Recovery, and Beneficial Reuse*. NCRAC Publications Office North Central Regional Aquaculture Center. Iowa State University. <http://www.aqua.wisc.edu/publications/PDFs/AquacultureEffluents.pdf>

Рекомендуемая литература об опытных форелевых хозяйствах

Интернет:

- <https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=12998> - Bekendtgørelse om Ferskvandsdambrug, BEK nr. 1325 af 20/11/2006.
- <https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=13002> - Bekendtgørelse om Modeldambrug, BEK nr 1327 af 20/11/2006.
- <http://www.blst.dk/> - Data from By- og Landskabsstyrelsen 2007

- BUREAU, D.P. AND CHO, C.Y. , 1999. Phosphorus utilization by rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): estimation of dissolved phosphorus waste output. *Aquaculture* 179: 127-140.
- CHO, C.Y., SLINGER, S.J., AND BAYLEY, H.S. 1982. Bioenergetics of salmonid fishes: energy intake, expenditure and productivity. *Comp. Biochem. Physiol.* 73B: 25-41.

- DALSGAARD, J., EKMANN, K.S., PEDERSEN, P.B., AND VERLHAC, V., 2008. Effect of supplemented fungal phytase on performance and phosphorus availability by phosphorus-depleted juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), and on the magnitude and composition of phosphorus waste output. *Aquaculture*, doi:10.1016. 2008
- JOKUMSEN, A. (2002). Udredning vedr. vandforbrug ved produktion af regnbueørreder i danske dambrug. DFU-rapport nr. 106-02. Report in Danish.
- LOKALENERGI 2008:1: Energioptimalt design af dambrug.
- PEDERSEN, P.B.; GRØNBORG, O.; SVENDSEN, L.M. (2003): Modeldambrug. Specifikationer og godkendelseskrav. Arbejdsrapport fra DMU, nr. 183, 2003. Report in Danish.
- SUGIURA, S.H., DONG F.M., AND HARDY, R.W., 2000b. Primary responses of rainbow trout to dietary phosphorus concentration. *Aquacult. Nutr.* 6: 235-245.
- SVENDSEN, L.M., SORTKJÆR, O., OVESEN, N.B., SKRIVER, J., LARSEN, S.E., BOUTTRUP, S., PEDERSEN, P. B., RASMUSSEN, R.S., DALSGAARD, A.J.T., AND SUHR, K, 2008. Modeldambrug under forsøgsordningen. Faglig slutrapport for måle- og dokumentationsprojekt for modeldambrug "(in Danish)". DTU Aqua rapport nr.193-08 . DTU Aqua, Technical University of Denmark.
- SVENDSEN, L.M., SORTKJÆR, O., OVESEN, N.B., SKRIVER, J., LARSEN, S.E., PEDERSEN, P. B., RASMUSSEN, R.S. AND DALSGAARD, A.J.T., 2008. Ejstrupholm Dambrug - et modeldambrug under forsøgsordningen. Statusrapport for 2. måleår af monitoringsprojektet med væsentlige resultater fra første måleår ("In Danish"). DTU Aqua rapport nr.188-08 . DTU Aqua, Technical University of Denmark.

Рекомендуемая литература о новых методах в УЗВ

Рекомендуемая литература о выращивании тилляпии в УЗВ

- BOVENDEUR, J., EDING, E.H., HENKEN, A.M., 1987. Design and performance of a water recirculation system for high-density culture of the African catfish, *Clarius gariepinus* (Burchell 1822). *Aquaculture* 63, 329–353
- EDING, E.H., WEERD, J.H. VAN, 1999. Grundlagen, Aufbau und Management von Kreislaufanlagen. In: M.Bohl (Ed.), *Zucht und Produktion von Süßwasserfischen*, DLG –Verlag, Frankfurt, München, 2nd edn., pp. 436-491.
- EDING, E.H., KAMSTRA, A., VERRETH, J.A.J., HUISMAN, E.A., KLAPWIJK, A., 2006. Design and operation of nitrifying trickling filters in recirculating aquaculture: a review. *Aquaculture Engineering* 34, 234–260.
- HEINSBROEK, L.T.N. AND KAMSTRA, A., 1990. Design and performance of water recirculation systems for eel culture. *Aquacult. Engineering* 9 (3), 87–207.
- Schneider, O., Sereti, V., Eding, E.H., and J.A.J. Verreth, (2005). Analysis of nutrient flows in integrated intensive aquaculture systems. *Aquacultural Engineering* 32, 379–401.
- TIMMONS, M.B. AND J.M. EBELING, 2007. *Recirculating Aquaculture*, Cayuga Aqua Ventures, Ithaca, New York

Рекомендуемая литература о прудовой технологии PTS:

- ASADUZZAMAN, M., WAHAB, M.A., VERDEGEM, M.C.J., HUQUE, S., SALAM, M.A., AZIM, M.E., 2008. C/N ratio control and substrate addition for periphyton development jointly enhance freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* production in ponds. *Aquaculture* 280, 117-123.
- AZIM, M.E., VERDEGEM, M.C.J., VAN DAM, A.A., BEVERIDGE, M.C.M., 2005. *Periphyton : ecology, exploitation and management*. CABI Publishing, Cambridge, MA 02139, USA.
- RAHMAN, M.M., YAKUPITIYAGE, A., 2006. Use of fishpond sediment for sustainable aquaculture-agriculture farming. *International Journal of Sustainable Development and Planning* 1, 192-202.

Рекомендуемая литература о проекте «Тропенхаус»

- ADLER, PAUL R., 1998.- Phytoremediation of aquaculture effluents. *Aquaponics Journal*, IV4, 10-15. <http://www.cepis.org.pe/bvsair/e/repindex/rep84/vleh/fulltext/acrobat/phytoaqu.pdf>
- ADLER, PAUL R., STEVEN T. SUMMERFELT, D. MICHAEL GLENN, FUMIOMI TAKEDA 2002. Mechanistic approach to phytoremediation of water. *Ecological Engineering* 20, 251/264

- <http://www.ars.usda.gov/SP2UserFiles/Place/19310000/FTakeda/2003EcolEng20251-264.pdf>
 DEZSERY, A., 1999.- Growing Notes--Australian Aquaponics--Whole Fresh Fish and a Side Salad Please!.
 The Growing Edge Magazine, 11(2)
http://www.growingedge.com/magazine/back_issues/view_article.php3?AID=110217
- DIVER S, 2006.- Aquaponics-Integration of Hydroponics with Aquaculture.
http://attra.ncat.org/new_pubs/atrapub/PDF/aquaponic.pdf?id=NewYork
- HUGHEY, T. W. 2005.- Barrel- Ponics. Aquaponics in a Barrel.
<http://www.aces.edu/dept/fisheries/education/documents/barrel-ponics.pdf>
- JACKSON, L. & MYERS J., 2002.- Alternative Use of Produced Water in Aquaculture and Hydroponic
 Systems at Naval Petroleum Reserve No. 3.
http://www.gwpc.org/GWPC_Meetings/Information/PW2002/Papers/Lorri_Jackson_PWC2002.pdf
- JONES S., 2002.- Evolution of aquaponics . Aquaponics Journal , n 24 (1st Quarter, 2002). In :
<http://www.aquaponicsjournal.com/articleEvolution.htm>
- LENNARD W., 2004.- Aquaponics, the theory behind the integration. In GAIN (Gippsland Aquaculture
 Industry Network) <http://www.growfish.com.au/content.asp?contentid=1060>
- WILSON, G. 2002a.- Saltwater aquaponics. The Growing Edge, Volume 13, Number 4, March/April 2002,
 page 26.
http://www.growingedge.com/magazine/back_issues/view_article.php3?AID=130426

Авторы справочника

Редакторы

Д-р Ласло Варади (Институт рыболовства, аквакультуры и ирригации - НАКИ)

Тамаш Бардоц (Ассоциация «Аквапарк»)

Список авторов отдельных глав:

1. **SustainAqua – Введение**
Александра Обердик - ttz Bremerhaven
2. **Устойчивость в аквакультуре**
Кристиан Хильдманн – Университет им. Мартина Лютера, Галле, Виттенберг
Александра Обердик - ttz Bremerhaven
3. **Технологии и продукция важнейших пресноводных аквакультурных систем Европы**
Тамаш Бардоц - Ассоциация «Аквапарк»
4. **Система регуляции европейской пресноводной аквакультуры и ее управление**
Тамаш Бардоц - Ассоциация «Аквапарк»
Ласло Варади – Институт рыболовства, аквакультуры и ирригации (НАКИ)
5. **Качество и диверсификация продукции – Рыночные возможности для реализации рыбных продуктов и побочных продуктов, производимых рыбоводами**
Александра Обердик - ttz Bremerhaven
6. **Очистка воды интенсивных аквакультурных систем с помощью водно-болотных угодий и экстенсивных рыбоводных прудов – Примеры из Венгрии**
Денеш Гал, Ева Керепецки, Тюнде Кошарош, Река Хегедюш, Ференц Пекар, Ласло Варади – Институт рыболовства, аквакультуры и ирригации (НАКИ)
7. **Новые методы в форелеводстве для уменьшения количества сбросных вод на хозяйствах – Пример Дании**
Альфред Йокумсен, Пер Б. Педерсен, Анне Йоханне Т. Дальсгор, Иуар Лунн, Хельге Паульсен, Ричард С. Расмуссен, Грете Хюльдиг – Национальный институт водных ресурсов Датского технического университета (DTU Aqua)
Лисбет Й. Плесснер, Коре Микельсен, Кристиан Лаурсен – Датская организация аквакультуры (ODA)
8. **Улучшенная естественная продукция в экстенсивных рыбоводных прудах – Пример Польши**
Мачей Пилярчик, Иоанна Поницкая, Магдалена Станна – Институт ихтиобиологии и аквакультуры Польской академии наук (GOLYSZ)
9. **Производство тропических растений и рыб в поликультуре согласно интегрированной концепции «Тропенхаус» - Пример Швейцарии**
Йоаннес Хеб, Филипп Висс – Международное общество экологической инженерии (IEES)
Зденек Адамек – Институт рыбоводства и гидробиологии Юго-чешского университета (USB)
10. **Выращивание тилляпии в установках замкнутого водоснабжения (УЗВ) – Пример Нидерландов**
Эп Эдинг, Марк Вердегем, Катарина Мартинс, Гертые Схламанн, Леон Хейнсбрук, Йохан Веррет - Группа аквакультуры и рыболовства Вагенингенского университета (WU-AFI)
Франс Артсен, Виктор Бирбомс - Viskwekerij Royaal B.V./ ZonAquafarming B.V. (ROYAAL)

Русский перевод справочника сделан Петером Ленделом (НАКИ).

Благодарности

Настоящий справочник является одним из результатов коллективного научно-исследовательского проекта «SustainAqua», финансируемого Европейской Комиссией в рамках ее Шестой рамочной программы (FP6). Научные исследования и обучение осуществлялись консорциумом, состоящим из следующих двадцати трех партнеров:

ttz Bremerhaven (ttz), Германия; International organisation for the development of fisheries in Eastern and Central Europe (EUROFISH), Дания; Akvapark Association (AKVAPARK), Венгрия; Verband der Deutschen Binnenfischerei e.V. (VDBi), Германия; Vattenbrukarnas Riksförbund (VRF), Швеция; Stowarzyszenie Producentów Ryb Lososiowatych (PTBA), Польша; Organización de Productores Piscicultores (OPP), Испания; Österreichischer Fischereiverband (ÖFV), Австрия; Su Ürünleri Tanitim Dernegi (BTG), Турция; Danish Aquaculture Organisation (ODA), Дания; International Ecological Engineering Society (IEES), Швейцария; AquaBioTech Ltd. (ABT), Мальта; Aranyonty Halászati Zrt. (ARANY), Венгрия; Aquakultur Kahle (KAHLE), Германия; Hodowla Ryb "SALMO" (SALMO), Польша; Liman Enegre Balıkçılık Sanayii ve Ticaret Ltd.STI. (LIMAN), Турция; Viskwekerij

Royal B.V. (ROYAAL), Нидерланды; University of South Bohemia in Ceske Budejovice (USB), Чехия; Wageningen University - Aquaculture and Fisheries Group (WU-AFI), Нидерланды; Polska Akademia Nauk, Zakład Ichtiobiologii i Gospodarki Rybackiej (GOLYSZ), Польша; Martin-Luther-University Halle Wittenberg (MLU), Германия; Research Institute for Fisheries, Aquaculture and Irrigation (NAKI), Венгрия; Technical University of Denmark - National Institute of Aquatic Resources (DTU-AQUA), Дания

Работа по подготовке настоящего справочника являлась совместным усилием многих людей. Из-за их большого количества мы не можем выразить им благодарность по отдельности, но мы выделяем следующих лиц, которые внесли особенно большой вклад:

Тамаш Бардоц (AKVAPARK), Александра Обердик (ttz), Денеш Гал (NAKI), Альфред Йокумсен (DTU-AQUA), Мачей Пилярчик (GOLYSZ), Эп Эдинг и Марк Вердегем (WU-AFI), Иоаннес Хеб & Филипп Висс (IEES)

Мы благодарны им за их самоотверженный труд.



Консорциум «SustainAqua» (Фотография: ttz Bremerhaven)

Обложка и дизайн: EUROFISH

© SustainAqua, июнь 2009 г. Все права защищены.

Распространение не ограничено.

Дальнейшая информация: www.sustainaqua.org

Просим ссылаться на настоящий документ следующим образом:

«SustainAqua» – «Интегрированный подход к устойчивой и здоровой пресноводной аквакультуре» (2009). Справочник «SustainAqua» – Справочник для устойчивой аквакультуры