

А-З-3-7

*На правах рукописи*

**Жигин Алексей Васильевич**

**ПУТИ И МЕТОДЫ ИНТЕНСИФИКАЦИИ  
ВЫРАЩИВАНИЯ ОБЪЕКТОВ АКВАКУЛЬТУРЫ  
В УСТАНОВКАХ С ЗАМКНУТЫМ  
ВОДОИСПОЛЬЗОВАНИЕМ (УЗВ)**

Специальность: 06.02.04 – частная зоотехния, технология производства  
продуктов животноводства

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
доктора сельскохозяйственных наук

Москва 2002

Работа выполнена на кафедре аквакультуры Московской сельскохозяйственной академии имени К.А.Тимирязева

Научный консультант – доктор сельскохозяйственных наук,  
профессор **В.А. Власов**

Официальные оппоненты:

доктор сельскохозяйственных наук, профессор **В.Н. Раденко**;

доктор сельскохозяйственных наук **Ю.П. Мамонтов**;

доктор биологических наук, профессор **В.П. Панов**

Ведущая организация – Всероссийский научно-исследовательский институт пресноводного рыбного хозяйства (ВНИИПРХ)

Защита диссертации состоится "27" июня 2002 г. в "11" час.  
на заседании диссертационного совета Д-220.043.07 в Московской сельскохозяйственной академии им.К.А.Тимирязева

Адрес: 127550 г. Москва, ул.Тимирязевская, 49, Ученый совет МСХА.

С диссертацией можно ознакомиться в ЦНБ МСХА.

Автореферат разослан "21" июня 2002 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета, доцент



К.Н. Калинина

# 1. ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

## 1.1. Актуальность проблемы

Одной из сложнейших и насущных проблем современного мира является проблема обеспечения увеличивающегося населения планеты продуктами питания. Одновременно она теснейшим образом переплетается с проблемой охраны окружающей среды. Ушедшее тысячелетие завершает эпоху экстенсивной эксплуатации биосферы нашей планеты.

При общей тенденции к сокращению рыбных запасов в морях и океанах, особое значение приобретает аквакультура.

Мировое развитие объективно свидетельствует о неуклонном росте ее удельного веса в общем балансе производства рыбной продукции. Так, если в 1975 году аквакультура составляла около 11% от общего объема производства рыбопродукции, в 1985 – 12%, то к 1999 году объем производства достиг 28%.

Максимальный уровень развития аквакультуры в нашей стране отмечен в 1990 году, когда было выращено 254,3 тыс. тонн рыбы. Однако в дальнейшем, в силу целого ряда известных социально-экономических причин, производство рыбы сократилось почти в 5 раз.

Современная программа развития рыбного хозяйства России предполагает увеличить производство рыбы на 250 тыс. тонн к 2005 году.

При этом значительное увеличение производства рыбной продукции возможно только благодаря внедрению новых современных технологий, одной из которых является выращивание рыбы в установках с замкнутым водоиспользованием (УЗВ).

Подобные установки обеспечивают полную независимость производственного процесса от природно-климатических условий и времени года. При этом в 3-6 раз сокращается время выращивания гидробионтов, созревания производителей и формирования маточных стад. Водопотребление уменьшается в 160 раз. Достигается высокая рыбопродукция бассейнов.

Однако наряду с очевидными преимуществами, замкнутые системы имели ряд нерешенных задач, главными из которых являлись высокие капитальные и эксплуатационные затраты и в связи с этим высокая себестоимость получаемой рыбопродукции, что является сдерживающим фактором широкого их внедрения.

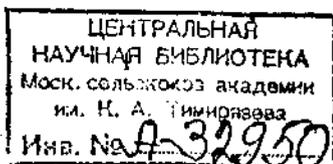
В этой связи разработка путей и методов повышения эффективности эксплуатации установок является весьма актуальной задачей.

## 1.2 Цель и задачи исследований

Основной целью исследований является разработка путей комплексной интенсификации аквакультуры в замкнутых системах, повышения эффективности их эксплуатации и снижения себестоимости выращиваемой продукции.

В задачи исследований входило:

- освоение выращивания в УЗВ новых, более ценных объектов аквакультуры: осетровых, тлялий и пресноводных креветок с использованием различных методов повышения продукции бассейнов;



- разработка метода расчета плотности посадки рыб при выращивании в поликультуре;
- разработка и практическая проверка метода повышения рыбопродукции бассейнов - товарного полицикла;
- изучение общих закономерностей процессов загрязнения и очистки оборотной воды;
- создание новых, малогабаритных, высокоэффективных аппаратов водоочистки;
- оптимизация технологической схемы циркуляции воды в УЗВ, отработка технологического регламента ее эксплуатации;
- изучение основных свойств образующихся осадков, разработка метода и технологической схемы их утилизации и вторичного использования с применением гидропоники, компостирования и вермикультуры;
- оценка основных экономических показателей выращивания гидробионтов в УЗВ с использованием предложенных разработок.

### 1.3. Научная новизна

На основе 20-летних исследований разработаны основные пути и методы интенсификации аквакультуры в установках с замкнутым водоиспользованием, базирующиеся на принципах интеграции биотехнических, технических и экологических методов эксплуатации УЗВ. При этом установлен и теоретически обоснован ряд новых положений и закономерностей:

- впервые разработаны и использованы в составе УЗВ малогабаритные высокопроизводительные фильтры механической очистки воды, азротенк-отстойники и денитрификаторы-отстойники с пористым плавающим наполнителем (защищены патентами);
- впервые разработана технологическая схема циркуляции воды с денитрификацией, где предложено использовать неочищенную оборотную воду в качестве органического субстрата для бактерий – денитрификаторов, взамен вносимых извне источников органики (защищена патентами);
- впервые разработан метод повышения рыбопродукции бассейнов, названный нами товарный полицикл (защищен патентом);
- впервые разработан метод расчета и выведена формула определения плотности посадки основного объекта выращивания и тилапии в поликультуре УЗВ; осуществлена практическая проверка метода в поликультуре карп + тилапия и сибирский осетр + тилапия;
- разработана новая технологическая схема безотходной эксплуатации УЗВ с утилизацией и вторичным использованием образующихся осадков (защищена патентом);
- впервые осуществлено опытное выращивание дождевых червей местной популяции на базе полученного компоста из осадка УЗВ, изучены основные качественные и количественные показатели компоста и биогумуса.

#### **1.4. Практическая ценность и реализация результатов исследований**

Разработаны основные пути и методы интенсификации аквакультуры в установках с замкнутым водоиспользованием, базирующиеся на комплексном использовании биотехнических, технических и экологических методов.

Разработан ряд модификаций аппаратов механической и биологической очистки воды, позволяющий снизить соотношение объема бассейнов к объему очистных сооружений до уровня 1:1 при полном обеспечении качества циркулирующей воды и рыбопродукции 100 кг/м<sup>3</sup>.

Разработан ряд рациональных, экономичных технологических схем циркуляции воды, в том числе с утилизацией и вторичным использованием образующихся осадков.

Предложен метод расчета плотности посадки рыбы в поликультуре УЗВ, а также ряд других способов повышения продуктивности бассейнов.

Снижены в 2-6 раз удельные капитальные затраты на единицу продукции по сравнению с существующими аналогами. Также снижена в 2-3 раза доля энергетических затрат в структуре общей себестоимости продукции. Определен ориентировочный минимальный безубыточный уровень годового объема производства сибирского осетра, стерляди, тилляпии и креветки в УЗВ.

Годовой экономический эффект от внедрения результатов исследований в среднем составляет 9792 рубля на 1 тонну выращиваемой рыбы (в ценах декабря 2001 года) и позволяет получать дополнительную продукцию в виде компоста, биогумуса и биомассы дождевых червей на сумму не менее 3 тыс. рублей.

Результаты исследований внедрены в подсобном рыбоводном хозяйстве ТЭЦ-22 Мосэнерго, использованы при проектировании рыбоводного комплекса Ульяновской ТЭЦ-2 и разработке рыбоводно-биологических обоснований реконструкции рыбокомплекса Московского завода "Электрощит", создания рыбоводно-гидропонного комплекса в АО "Заречье" Московской области, кроме того отдельные результаты исследований использованы еще на 20 предприятиях СНГ.

#### **1.5. Апробация работы**

Результаты научных исследований, составляющих основу диссертации доложены и обсуждены на научной конференции ТСХА (1983 г.), семинаре МРХ СССР по новой технике (1984 г.) на Всесоюзных семинарах (1984, 1985 гг.) Всесоюзных совещаниях ВНИИПРХ по рыбоводству в замкнутых системах 1986, 1991 гг., научной сессии АН СССР "Химия и экология" (1989 г.), Международной конференции КЭМРОН-VIII "Химия и устойчивое развитие" (1992 г.), совещаниях Икhtiологической комиссии (1999, 2001 гг.), Международной конференции "Проблемы сохранения биоразнообразия в наземных и морских экосистемах Севера" (Апатиты, 2001 г.); 2-ой научно-практической конференции "Животные в городе" (Москва, 2002 г.).

Результаты исследований были представлены на выставках: "Наш край" (г. Люберцы, 1982 г.), Всесоюзной выставке "Прогресс-85" (г. Москва), Всесоюзных выставках научно-технического творчества молодежи (г. Москва, 1986,

1987, 1988 гг.), Международной коммерческой выставке "Технология машиностроения", (Москва, 1989 г.), региональной выставке "Экологические проблемы Москвы и Московской области", (1990 г.), Международной большой апрельской ярмарке в Милане (Италия, 1990 г.), Всесоюзной межотраслевой выставке "Изобретения и научно-технический прогресс" (Москва, 1990 г.), Международной выставке "Ирыбпром-90" (г. Санкт-Петербург), Международной выставке "Агрокомплекс-90" (ЧСФР), Всесоюзной выставке "Конверсия – экология" (Москва, 1991 г.), Брюссельской международной выставке-ярмарке (Бельгия, 1996 г.), Международной выставке "Продэкспо-2001", Международной выставке "Интерфуд" (С.-Петербург, 2001 г.).

Результаты исследований освещались во Всесоюзной телевизионной программе "Здоровье" (1989 г.) и "Добрый вечер, Москва" (1990), а также в других средствах массовой информации (с 1986 по 1999 г.).

Работа, выполненная во время исследований, удостоена пяти серебряных (1987, 1988, 1991 г.) и двух бронзовых (1987 г.) медалей ВДНХ СССР, серебряной медали и диплома Брюссельской международной выставки (Бельгия, 1996 г.), большой золотой медали Международной выставки "Интерфуд" (г. С.-Петербург, 2001 г.).

#### **1.6. Публикации**

Основные положения диссертации изложены в 32 научных статьях. Получено 5 патентов на изобретения.

#### **1.7. Объем и структура диссертации**

Работа включает введение, обзор литературы, методику исследований, результаты опытов, экономический анализ работы, заключение, выводы и рекомендации производству. Список литературы включает 749 источников, в том числе на иностранных языках – 191.

Материал изложен на 33/страницах машинописного текста, содержит 43 таблицы, 22 рисунка. В приложении 5 страниц.

#### **2. Материал и методы исследований**

Экспериментальные исследования по представленной работе проведены в период с 1981 по 2001 гг. на базе аквариальной кафедры МСХА, подсобных рыбоводных хозяйств ЛНПО "Союз" и ТЭЦ-22 АО "Мосэнерго" г. Дзержинский Московской области. Материалом исследований служили сеголетки, годовики и двухлетки карпа, сибирского и русского осетров, стерляди, серюги, тилляпий, молодь креветок. Наряду с этим изучали рост дождевых червей. биоценоз активного ила, образующийся в УЗВ осадок, компост и биогумус. Общая схема исследований представлена на рисунке 1, а их объем в таблице 1.

Анализ современного уровня развития рыбоводства в установках с замкнутым водопользованием позволил определить три основных направления исследований на пути повышения эффективности эксплуатации рыбоводных установок:



Рис. 1. Общая схема исследований

Таблица 1

Объем исследований	
Наименование	Количество
Физико-химические показатели воды	9830 опр.
Измерение, взвешивание гидробионтов	25600 экз.
Химический состав тела гидробионтов	65 проб
Гидробиологические	10 проб
Микробиологические	15 проб
Токсикологические	9 проб
Концентрация ила в аэротенке-отстойнике	42 пробы
Физико-химические показатели осадков, компоста и биогумуса	310 опр.
Прорастивание семян в надосадочной воде	8 опытов
Санитарно-паразитологические	5 проб
Измерение, взвешивание червей	650 экз.
Испытания: аппаратов водоподготовки	12 типов
технологических схем	7 типов

1. Техническое направление включает:

- создание экономичной, простой и надежной технологической схемы циркуляции воды;
- создание высокопроизводительных, малогабаритных аппаратов водоподготовки;

Во время проведения этого направления исследований осуществлялось выращивание карпа, как наиболее дешевого модельного объекта.

2. Биотехническое направление включает:

- выращивание новых ценных объектов аквакультуры (осетровых, тлялий и креветок);
- использование товарного полицикла при выращивании рыбы;

3. Экологическое направление включает:

- разработку методов утилизации и вторичного использования осадков с применением гидропонии и компостирования;
- использование вермикультуры для переработки компоста с получением биогумуса и биомассы дождевых червей.

По результатам технологического и экологического направлений разработана новая безотходная технологическая схема УЗВ.

По окончании исследований проведена экономическая оценка научно-исследовательской работы, сформулированы основные выводы и рекомендации производству.

Основные технические характеристики УЗВ, в которых проведены исследования, представлены в таблице 2.

Рост подопытных гидробионтов определяли путем проведения контрольных ловов через каждые 10-15 суток, при этом необходимым весовым и линейным измерениям подвергали 10% выращиваемых особей с последующим их

возвратом в бассейны. При закладке и окончании каждого опыта измерениям подвергали от 20 до 100% особей. Линейный рост определяли методом измерения рыб (Правдин И.Ф., 1966) и креветок (Хмелева Н.Н., Гигиняк Ю.Г., Кулеш В.Ф., 1988).

Таблица 2

Основные технические характеристики используемых УЗВ

Показатели	ЛНПО "Союз" (исходная)	ТЭЦ-22 "Мосэнерго"	
		для выращивания молоди	для товарного выращивания
Объемы, м <sup>3</sup> :			
бассейнов	28,0	28,5	233,0
бака-накопителя	6,0	-	-
механических фильтров	0,2	-	1,6
азротенков-отстойников	42,0	21,6	118,0
денитрификаторов	10,0	-	-
оксигенаторов	1,0	0,9	17,3
Общий объем УЗВ, м <sup>3</sup>	87,2	51,0	369,9
Соотношение объема бассейнов к объему водоподготовки	1:2,1	1:0,8	1:0,6
Расход циркулирующей воды, м <sup>3</sup> /час	28,0	20,0	160,0
Расход воды на подпитку, % от общего объема воды	5,1	10,0	20,0
Соотношение рыбы и общего объема воды, кг/м <sup>3</sup>	32,1	41,0	28,4

Кроме того в опытах определяли затраты корма на величину прироста ихтиомассы, среднесуточный прирост особей, удельную скорость роста, коэффициент вариации по массе, выживаемость, рыбопродукцию бассейнов и некоторые другие общепринятые рыбоводные показатели. В некоторых опытах определяли коэффициент упитанности по Фультону (Козлов В.И., Абрамович Л.С., 1982).

Химический состав тела гидробионтов определяли по инструкции Лиманского В.В. и др. (1986).

Микробиологические исследования оборотной воды, активного ила и осадков проводили по методикам, рекомендованным Минздравом РФ (1997, 2000).

Гидробиологические исследования биоценоза активного ила проводили по рекомендациям Минводхоза РФ (1987).

Токсикологические исследования загрузочного материала сооружений биоочистки, и оксигенаторов проводили по методике, зарегистрированной в Природоохранных нормативных документах Федерации (ПНДФ). 14.1:2:3:4.3-99 (1999).

Физико-химические свойства осадков рыбоводных установок, компоста и

биогазуса определялись в соответствии с методикой ПНДФ 16.1:2.3-96 (1996).

Санитарно-паразитологические исследования осадков осуществляли по методикам, рекомендованным Минздравом РФ (2000).

Гидрохимический режим контролировали ежедневно по кислороду и температуре, ежедневно по аммонийному азоту, нитритам и нитратам, окисляемости (по ХПК), активной реакции среды (рН) и углекислоте. Ежемесячно проводили анализы воды на жесткость, щелочность, хлориды, сульфаты, общее железо, фосфаты на входе и выходе рыбоводных бассейнов. При этом использовали методики ПНДФ 14.1:2.1-157-95-99 (1995-1999), а также автоматическую станцию "АС-Вода-10М" и кислородомер КЛ-115.

Температуру воды на установке ЛНПО "Союз" контролировали постоянно приборами ЭМД-247 и "АС-Вода-10М" с записью параметра, а в установках ТЭЦ-22 водяными термометрами.

Полученные результаты исследований обработаны биометрически (Кенур М.Г., 1979, Лакин Г.Ф., 1980), с использованием ПЭВМ.

### **3. Результаты исследований**

#### **3.1. Создание высокопроизводительных аппаратов и рациональных технологических схем УЗВ**

В условиях, когда циркуляционные установки располагаются в закрытых помещениях, площади и объемы аппаратов водоподготовки играют существенную роль в стоимости установки и эксплуатационных затратах. Не менее важным резервом интенсификации выращивания гидробионтов в УЗВ является разработка простой и рациональной технологической схемы циркуляции воды, учитывающая как состав и последовательность расположения используемых аппаратов, так и их размещение в цехе относительно друг друга.

Качество циркулирующей воды при выращивании рыбы в УЗВ имеет первостепенное значение.

Результаты исследований показали, что по всем основным показателям качество воды, поступающей в бассейны установки ЛНПО "Союз" находилось на уровне оптимальных значений (табл. 3), кроме случаев, когда опыты были связаны с физико-химическими процессами, изменяющими гидрохимические показатели.

Как видно из данных таблицы, качество воды, поступающей в рыбоводные бассейны, было относительно стабильным в течение всего цикла выращивания карпа, несмотря на значительное постепенное увеличение ихтиомассы и, соответственно, рост нагрузки на аппараты водоподготовки. Стабильность гидрохимических показателей является большим преимуществом данной УЗВ.

Таблица 3

## Качество воды в УЗВ ЛНПО "Союз"

Показатели	Результаты анализов	
	на входе бассейны	на выходе из бассейнов
Растворенный кислород, мг/л	15,0 ± 2,7	5,2 ± 1,4
Аммонийный азот, мг/л	0,7 ± 0,7	1,0 ± 0,5
Нитриты, мг/л	0,15 ± 0,05	0,15 ± 0,05
Нитраты, мг/л	24,0 ± 3,2	24,0 ± 3,2
Окисляемость, мг О <sub>2</sub> /л	24,3 ± 3,3	34,2 ± 3,6
Углекислота, мг/л	10,5 ± 3,3	21,2 ± 3,4
Хлориды, мг/л	6,9 ± 0,3	6,9 ± 0,3
Сульфаты, мг/л	13,9 ± 2,6	13,8 ± 2,2
Жесткость, Н°	3,2 ± 0,2	3,2 ± 0,2
Щелочность, мг-экв./л	3,0 ± 0,7	3,0 ± 0,6
Активная реакция среды (рН)	6,9 ± 0,1	6,5 ± 0,2
Взвешенные вещества, мг/л	5,3 ± 1,9	12,3 ± 6,2
Железо (общее), мг/л	0,7 ± 0,1	0,7 ± 0,1
Фосфаты, мг/л	0,7 ± 0,1	0,9 ± 0,1

При прохождении воды через рыбоводные бассейны происходит существенное изменение гидрохимического режима. В воде, вытекающей из рыбоводных бассейнов, наблюдается увеличение органического загрязнения, концентраций аммонийного азота, углекислоты, взвешенных веществ, фосфатов, смещение активной реакции среды в кислую сторону и снижение концентрации растворенного кислорода.

Сбалансированная взаимосвязь процессов выращивания рыбы и очистки оборотной воды в УЗВ – главнейшее условие их успешной эксплуатации. Выяснение общих закономерностей этой взаимосвязи сводилось к двум этапам исследований: эксплуатация установки без первичной ступени механической очистки воды и эксплуатация без биологической очистки, которые сравнивали с режимом эксплуатации установки по полной схеме с совместным использованием первичной механической и последующей биологической очистки воды.

Исследования показали, что при многократном использовании оборотной воды, очищаемой только биологическим методом без применения ее механической очистки в течение 40 суток происходит значительное накопление взвешенных веществ (табл. 4). Как следствие, происходит рост органического и нитритного загрязнений, падение концентрации растворенного в воде кислорода (при прежнем его расходе) и смещение рН среды в кислую сторону.

В результате ухудшаются рыбоводные показатели выращивания карпа (табл. 5). Его среднесуточный прирост снизился до 2,7 г против 4,3 г в первом варианте опыта. Соответственно, снизилась удельная скорость роста при одно-

временном увеличении в 1,5 раза кормовых затрат. Различие средней массы карпа в конце опыта достоверно при  $p < 0,05$ .

Таблица 4

Влияние режима работы УЗВ на качество воды

Показатели	Режим работы УЗВ		
	без механической очистки	без биочистки	по полной схеме
Растворенный кислород, мг/л	$9,4 \pm 1,4^{xx}$	$6,0 \pm 0,5^{xxx}$	$14,5 \pm 2,2$
Окисляемость, $\text{мгO}_2/\text{л}$	$46,4 \pm 5,7^{xx}$	$49,0 \pm 6,6^{xxx}$	$21,0 \pm 3,3$
Аммонийный азот, мг/л	$1,3 \pm 0,6$	$5,6 \pm 3,2^{xxx}$	$1,3 \pm 0,3$
Нитриты, мг/л	$1,6 \pm 0,4^{xxx}$	$0,7 \pm 0,3^{xx}$	$0,2 \pm 0,1$
Нитраты, мг/л	$10,2 \pm 0,9^x$	$0,6 \pm 0,1^{xxx}$	$24,2 \pm 1,1$
Активная реакция среды (рН)	$6,5 \pm 0,2$	$6,0 \pm 0,3^{xx}$	$6,7 \pm 0,2$
Углекислота, мг/л	$35,0 \pm 3,8^{xx}$	$52,0 \pm 5,1^{xxx}$	$13,0 \pm 2,9$
Взвешенные вещества, мг/л	$39,2 \pm 8,7^{xxx}$	$6,2 \pm 2,7$	$5,8 \pm 2,5$

Примечание: разность между показателями достоверна: x при  $p < 0,05$ ; xx –  $p < 0,01$ ; xxx –  $p < 0,001$ .

Таблица 5

Влияние механической очистки воды на рост карпа в УЗВ

Показатели	Режим работы УЗВ	
	с механической очисткой	без механической очистки
Плотность посадки, шт./м <sup>3</sup>	200	200
Средняя масса, г:		
исходная	$121,6 \pm 11,2$	$122,4 \pm 10,7$
конечная	$293,6 \pm 39,9$	$231,4 \pm 42,1$
Среднесуточный прирост, г	4,3	2,7
Удельная скорость роста	0,022	0,016
Ихтиомасса, кг:		
исходная	97,3	97,9
конечная	234,9	185,1
Затраты корма, кг/кг	2,2	3,2
Отход рыбы, %	0	0

Эксплуатация рыбоводной установки без биологической очистки воды в течение 60 суток, когда она очищалась только механическим способом, приводит к еще большему накоплению загрязняющих веществ по органическим веществам, аммонии, углекислоте (табл. 4). Отмечено резкое снижение концентрации растворенного кислорода при прежнем его расходе, закисление водной среды. Низкое значение нитратов указывает на отсутствие процессов нитрификации.

Такое ухудшение гидрохимического режима вызвало соответствующее замедление темпа роста карпа в 2,5 раза ( $p < 0,001$ ) при увеличении затрат корма в 2 раза и ухудшении других рыбоводных показателей (табл. 6). Обращает на себя внимание высокий отход рыбы (35 шт.), чего совершенно не отмечено при эксплуатации УЗВ по полной схеме.

Таблица 6

Влияние биологической очистки воды на рост карпа в УЗВ

Показатели	Режим работы УЗВ	
	без биоочистки	с биоочисткой
Плотность посадки, шт./м <sup>3</sup>	200	200
Средняя масса, г:		
исходная	92,1 ± 7,9	91,3 ± 8,0
конечная	188,0 ± 40,0	337,0 ± 42,5
Среднесуточный прирост, г	1,6	4,1
Ихтиомасса, кг:		
исходная	73,6	72,8
конечная	143,8	269,6
Затраты корма, кг/кг	4,5	2,3
Отход рыбы:		
шт.	35	0
%	4,4	0

Развитие и жизнедеятельность биомассы активного ила, которая очищает оборотную воду, характеризуется двумя основными этапами: пусковым периодом биологической очистки и основным периодом эксплуатации.

Результаты исследований показали, что в пусковой период эксплуатации аппарата биологической очистки воды в нем происходит развитие и поэтапная смена качественного и количественного состава биоценоза активного ила, которое сопровождается рядом физико-химических процессов и изменениями гидрохимического режима оборотной воды, протеканием аммонификации и двух стадий нитрификации (табл. 7). Окончание этого периода отмечено на 25 день наблюдения.

Постепенное увеличение подачи очищаемой воды в аппарат биологической очистки с 30 до 100% от общего расхода циркулирующей воды обеспечивает требуемое ее качество при подаче в бассейны на протяжении всего пускового периода.

В дальнейшем с увеличением в бассейнах установки ихтиомассы происходит соответствующий рост массы активного ила в сооружении биоочистки, а качество очищенной оборотной воды поддерживается на требуемом уровне при плотности посадки рыбы до 100 кг/м<sup>3</sup> бассейна и соотношении объема бассейнов к объему водоподготовки 1:1,2.

Таблица 7

День исследований, сут.	Концентрация, мг/л		
	аммоний	нитриты	нитраты
1	следы	следы	следы
4	1,62	0,55	следы
7	2,54	1,12	0,11
9	0,31	3,00	2,10
13	следы	1,33	3,52
20	следы	0,73	6,99
25	следы	0,30	6,97

В качестве механического фильтра в составе УЗВ использован напорный самопромывающийся фильтр типа НСФ. Являясь малогабаритным, высокопроизводительным, работающим непрерывно (т.е. без отключения на период промывки), этот аппарат обеспечивает высокий уровень очистки воды – 98-99%, а его объем в 7-10 раз меньше обычно используемых в практике аквакультуры. Разработаны и испытаны три модификации фильтров производительностью 20, 50 и 100 м<sup>3</sup>/ч. очищаемой воды.

В качестве аппарата биологической очистки воды нами впервые в мировой практике использован аэротенк-отстойник с плавающим наполнителем пористой структуры. Это позволяет использовать для очистки воды как плавающий во взвешенном состоянии активный ил, так и прикрепленную к пористой загрузке биопленку, что в 3-5 раз увеличивает производительность аппарата по сравнению с обычными сооружениями биологической очистки. На основе базовой конструкции ЛНПО "Союз" создан аэротенк-отстойник горизонтального типа, использованный в составе УЗВ ТЭЦ-22 "Мосэнерго". Разработанные аэротенк-отстойники совместили в себе биофильтр, аэротенк и вторичный отстойник.

В аппаратах обеспечивается полная саморегуляция дозы активного ила, величина которой все время соответствует величине ихтиомассы в бассейнах установки.

Вторым сооружением биологической очистки воды в составе УЗВ является денитрификатор. Как показали исследования, использование этого аппарата не является обязательным. Однако его применение позволяет снизить расход подпиточной воды с 10 до 1-2% в сутки от общего объема системы, а также уменьшить концентрацию нитритов и нитратов в циркулирующей воде.

Процесс денитрификации успешно осуществлялся в созданном нами аэротенк-отстойнике при условии полного прекращения подачи воздуха в зону аэрации. В этом случае на пористой плавающей загрузке происходит смена аэробного биоценоза на анаэробный, который и осуществлял биологическое восстановление нитритов и нитратов до свободного азота (процесс денитрифи-

кации). Аппарат, эксплуатируемый в таком режиме, назван нами денитрификатор-отстойник.

Таким образом, разработанная нами конструкция аппарата биологической очистки воды универсальна и может работать как в режиме нитрификации, так и денитрификации.

На базе созданных аппаратов водоочистки нами разработаны две основных технологических схемы УЗВ (рис. 2), одна из которых не предусматривает использование денитрификатора-отстойника, а вторая использует процесс денитрификации для более глубокой и полной очистки воды.

Во второй схеме впервые в качестве питательного субстрата для процесса денитрификации использована фильтрационная оборотная вода, не прошедшая биологическую очистку, вместо используемых ранее органических веществ специально вносимых в оборотную воду извне. Количество такой подаваемой воды составляет 20-40%.

Обе разработанные технологические схемы имеют высотное расположение аппаратов, позволяющее использовать только один циркуляционный насос, что значительно снижает затраты электроэнергии и упрощает эксплуатацию.

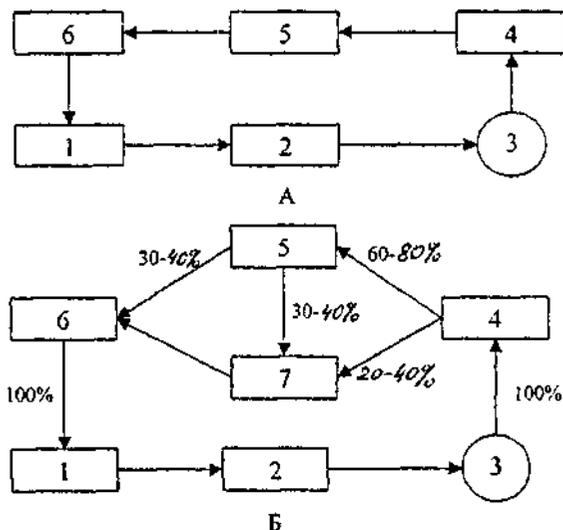


Рис. 2. Схемы рыбоводных установок:

А – без денитрификатора; Б – с денитрификатором;

1 – рыбоводный бассейн; 2 – бассейн с отработанной водой; 3 – циркуляционный насос; 4 – механический фильтр; 5 – азротенк-отстойник; 6 – оксигенатор; 7 – денитрификатор-отстойник.

В таблице 8 приведены сравнительные характеристики трех современных установок (Киселев А.Ю., 1999) и установки ЛНПО "Союз", разрабатываемой в 1981 г. как базовой модели для создания других установок различной производительности. Ее данные показывают, что за последние 20 лет исследований более поздним образцам современных рыбоводных установок, в том числе и зарубежным, не удалось принципиально превзойти технические характеристики установки, разработанной нами в ЛНПО "Союз".

Таблица 8

Сравнительная характеристика современных УЗВ

Показатели	Названия установок			
	DIFTA (Дания)	"Штелерма- тик" (ФРГ)	ВНИИПРХ (Россия)	ЛНПО "Со- юз" (Россия)
Объем, м <sup>3</sup> :				
биоочистки	24	16	25	52
отстойника	8	20	10	0
бассейнов	30	15	30	44
мех. фильтра	0	0	0	0,2
общий	62	51	65	96,2
Циркуляция воды, м <sup>3</sup> /час.	30	45	30	44
Подпитка водой, % от об- щего объема в сут.	3-10	1-5	3-10	1-5
Соотношение объемов очистки и бассейнов	1,1	2,4	1,2	1,2
Год разработки	1989	1976	1984	1981

### 3.2. Выращивание новых объектов аквакультуры УЗВ

Параллельно с выполнением технического направления исследований нами разработана технология товарного выращивания карпа в УЗВ, что явилось предпосылкой для развития биотехнического направления исследований по освоению более ценных, чем карп, объектов аквакультуры. Это направление исследований проведено в основном в циркуляционных рыбоводных установках ТЭЦ-22 АО "Мосэнерго", качество циркулирующей воды в которых представлено в таблице 9.

Таблица 9

Качество воды в УЗВ ТЭЦ-22

Показатели	УЗВ для выращи- вания молоди	УЗВ для товарного выращивания
Окисляемость, мгО <sub>2</sub> /л	31,6 ± 12,8	42,4 ± 18,9
Аммонийный азот, мг/л	0,9 ± 0,2	1,5 ± 0,5
Активная реакция среды (рН)	8,3 ± 0,2	8,3 ± 0,2
Нитриты, мг/л	0,1 ± 0,06	0,2 ± 0,05
Нитраты, мг/л	13,3 ± 2,7	11,1 ± 2,1
Растворенный кислород, мг/л	12,2 ± 3,1	10,8 ± 2,3
Температура, °С	25,4 ± 2,3	23,6 ± 2,7

### 3.2.1. Выращивание осетровых

Сравнительные результаты выращивания доступных нам видов осетровых в условиях общего бассейна товарной УЗВ в течение 120 суток показали (табл. 10), что наилучшие темп роста, выживаемость и другие рыболовные показатели отмечены у стерляди и сибирского осетра, которые, на наш взгляд, оказались наиболее перспективны для выращивания в УЗВ.

Результаты по выращиванию русского осетра оказались ниже, чем у двух предыдущих видов. Выживаемость составила 66,2% при значительно меньшей удельной скорости роста.

Таблица 10

Результаты выращивания осетровых в УЗВ ТЭЦ-22

Показатели	Вид рыбы			
	Русский осетр	Сибирский осетр	Стерлядь	Севрюга
Посажено на выращивание, шт.	157	286	406	180
Выловлено, шт.	104	224	365	23
Выживаемость, %	66,2	78,3	89,9	12,8
Средняя масса, г:				
	исходная	712,5 ± 167,4	655,8 ± 146,2	405,9 ± 93,4
конечная	1120,5 ± 295,8	1270,1 ± 340,3	862,5 ± 235,5	740,6 ± 219,8
Среднесуточный прирост, г	3,4	5,1	3,8	1,9
Относительный прирост, %	44,5	63,8	72,0	36,4
Ихтиомасса, кг:				
	исходная	111,9	187,6	164,8
конечная	116,5	284,5	314,8	17,0
Удельная скорость роста	0,0038	0,0055	0,0063	0,0031

Неудовлетворительными в рассматриваемых условиях оказались результаты выращивания севрюги, особенно это касается показателя выживаемости (всего 12,8%). Отмечены минимальный среднесуточный прирост и, соответственно, удельная скорость роста.

Результаты постоянных двухлетних исследований по влиянию органического и азотного загрязнений на рост и выживаемость стерляди и сибирского осетра показывают, что колебания окисляемости в диапазоне 20-64 мгО<sub>2</sub>/л не вызывало заметного изменения изучаемых показателей. То же относится и к концентрации аммонийного азота, уровень которого в отдельные сутки наблюдений достигал 3,6 мг/л.

Высокий исход осетровых и значительное снижение темпа их роста главным образом связаны во времени с увеличением концентрации нитритов до 0,4

мг/л. Соответственно, наибольший темп роста и выживаемость отмечены у обоих видов при концентрации нитратов ниже 0,2-0,25 мг/л.

Установлено, что при равных неблагоприятных условиях выживаемость стерляди в 2-5 раз выше, чем у сибирского осетра (в среднем в 2,8 раза), а скорость роста сибирского осетра в одинаковых благоприятных условиях выше в среднем в 1,3 раза, чем у стерляди.

Бассейны вертикального типа в составе УЗВ снижают капитальные и эксплуатационные затраты, поэтому возможность выращивания в них осетровых весьма перспективна.

Таблица 11

Влияние типа бассейна на выращивание осетра

Показатели	Тип бассейна		
	вертикальный	горизонтальный	вертикальный с фальшдном
Объем, м <sup>3</sup>	15	38	15
Площадь дна, м <sup>2</sup>	4,7	17,8	4,7(6,9)
Площадь фальшдна, м <sup>2</sup>	-	-	2,2
Количество рыбы, шт.:			
исходное	900	2280	900
конечное	750	1931	690
Плотность посадки:			
шт./м <sup>2</sup>	191,5	128,2	191,5(130,4)
шт./м <sup>3</sup>	60	60	60
Средняя масса, г:			
исходная	21,3 ± 2,8	20,7 ± 2,7	20,2 ± 2,6
конечная	775,6 ± 241,6	929,3 ± 207,2	937,5 ± 218,4
Коэффициент вариации по массе, %:			
исходный	13,2	13,0	12,9
конечный	31,2	22,3	23,3
Отход рыбы, %	23,3	15,3	16,7
Среднесуточный прирост, г	2,69	3,25	3,28
Удельная скорость роста	0,0128	0,0136	0,0137
Коэффициент упитанности	0,82	1,19	1,05
Затраты корма, кг/кг	1,70	1,51	1,58
Рыбопродукция:			
кг/м <sup>3</sup>	35,7	47,2	46,9
кг/м <sup>2</sup>	113,9	100,8	149,6(101,9)

Примечание: в скобках указаны показатели с учетом площади фальшдна.

Выращивание сибирского осетра в течение 280 суток в бассейнах вертикального и горизонтального типа при одинаковой плотности посадки на единицу объема (60 шт./м<sup>3</sup>), но при различной на единицу площади показывает, что в горизонтальном бассейне осетры росли значительно быстрее, чем в бассейне

вертикального типа. Разность средней массы рыбы в конце опыта достоверна при  $p < 0,05$ , а выживаемость оказалась в 1,5 раза выше. Соответственно, в горизонтальном бассейне по сравнению с вертикальным лучше и другие рыбоводные показатели.

Такое различие в результатах выращивания объясняется прежде всего биологическим строением осетровых – наличием нижнего рта. Поэтому большая горизонтальная площадь дна способствует более комфортным условиям питания осетра в бассейне, где конкуренция за площадь питания между особями значительно ниже.

Введение в состав вертикального бассейна аналогичной конструкции фальшдна площадью  $2,2 \text{ м}^2$  на высоте 1,5 м от основного дна почти в 1,5 раза увеличила общую горизонтальную площадь питания осетровых в виде второго яруса. Это дало возможность снизить плотность посадки осетров на единицу площади бассейна ( $130,4 \text{ шт./м}^2$ ) примерно до величины таковой в горизонтальном бассейне ( $128,2 \text{ шт./м}^2$ ). В результате средняя масса рыбы в конце выращивания при использовании фальшдна составила 937,5 г, против 775,6 г без него (разность достоверна при  $p < 0,05$ ). Уменьшились коэффициент вариации по массе, затраты корма. значительно возросла рыбопродукция бассейна с 35,7 до 46,9 кг/м<sup>3</sup>.

Аналогичный опыт по выращиванию стерляди с использованием фальшдна не дал достоверных положительных результатов.

Визуальное наблюдение за поведением осетровых показывает, что осетр относительно равномерно распределяется в толще воды, захватывая комбикорма даже у вертикальных стенок бассейна. Стерлядь главным образом держится в придонных слоях, слабо используя объем бассейна и кормовую площадь фальшдна.

### 3.2.2. Выращивание тилапий

Сравнительные результаты выращивания в условиях УЗВ ТЭЦ-22 в течение 150 суток четырех видов и трех гибридов тилапий представлены в таблице 12.

Из четырех исследованных видов наибольшей скоростью роста в условиях УЗВ отличалась нильская тилапия, которая значительно опережала другие виды (разность достоверна при  $p < 0,01$ ). Медленнее всех росла мозамбикская тилапия, среднесуточный прирост массы тела которой составил всего 1,35 г. Голубая и красная тилапии показали близкие результаты и заняли промежуточное положение между быстро растущей нильской и медленно растущей мозамбикской тилапиями.

Наилучшие результаты при выращивании гибридов получены при скрещивании самцов нильской с самками красной тилапии (группа № 3), в потомстве которых оказалось 75,4% самцов. Высокие результаты по темпу роста полу-

чены у потомства при скрещивании самцов красной и самок мозамбикской тилапий (группа № 1). Разность средней массы в конце опыта у этих групп достоверна ( $p > 0,05$ ).

Таблица 12

Результаты выращивания тилапий в УЗВ

Показатели	Вид тилапий				Гибрид тилапий (♂ × ♀)		
	Нильская	Красная	Мозамбикская	Голубая	Красная × Мозамбикская (N1)	Красная × Нильская (N2)	Нильская × Красная (N3)
Исходное количество рыбы:							
шт.	75	75	75	150	112	112	150
шт./м <sup>3</sup>	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
Средняя масса рыбы, г:							
исходная	21,8 ± 0,3	27,5 ± 0,5	28,5 ± 0,6	24,9 ± 0,3	22,8 ± 0,2	28,5 ± 0,4	20,1 ± 0,3
конечная	509,2 ± 35,6 А	297,5 ± 19,9 Б	231,5 ± 15,1 В	275,0 ± 20,1 Б	487,8 ± 33,2 А	208,5 ± 12,1 В	522,6 ± 34,5 А
Выживаемость, %	100,0	96,0	97,3	96,7	100,0	100,0	100,0
Среднесуточный прирост, г	3,25	1,80	1,35	1,67	3,10	1,20	3,35
Удельная скорость роста	0,021	0,016	0,014	0,016	0,020	0,013	0,022

Примечание: разными буквами обозначена достоверная разность между группами, одинаковыми – недостоверная.

Потомство, полученное при скрещивании самцов красной тилапии с самками нильской (группа № 2) оказалось на 100% состоящим из самок, чем и объясняются низкие результаты их товарного выращивания (самки тилапий растут медленнее самцов).

Важнейшим хозяйственно-полезным качеством тилапий является способность потребления детрита при хорошей скорости роста. Практически это главный объект тепловодного рыбоводства, позволяющий использовать принцип поликультуры для повышения рыбопродукции бассейнов УЗВ. Однако до сих пор соотношение количества тилапий и основного объекта выращивания выбирается произвольно и субъективно, без учета реального количества имеющегося в бассейнах детрита.

Анализируя и обобщая материалы различных исследований (Пономарев В.Г. и др., 1986; Нарыгин О.А., Белова М.И., 1989; Гриневский Э.В. и др., 1990; Киселев А.Ю., 1994, 1999), а также собственные, мы установили, что при выращивании рыбы образуется около 200 г детрита, который может быть потреблен тилляпией. Имеются сведения (De Silva S.S., Perera M.K., Maitire P., 1984), что тилляпия, потребляя детрит, усваивает его в количестве 36,8%. Отсюда возможность получения дополнительной рыбопродукции тилляпии в поликультуре прямо пропорционально зависит от количества скармливаемых основному объекту комбикормов, а это количество, в свою очередь, связано с потреблением корма основным объектом выращивания и его затратами на прирост массы рыбы.

Таким образом, возможный прирост ихтиомассы тилляпии в поликультуре без дополнительных затрат кормов можно выразить уравнением:

$$T(MT_t - MT_0) = (M_t - M_0) * n * K * D * Y,$$

где  $T$  – количество тилляпий, шт.;

$MT_t$  – масса одной тилляпии в конце периода  $t$ , г;

$MT_0$  – масса одной тилляпии в начале периода  $t$ , г;

$M_t$  – масса основного объекта в конце периода  $t$ , г;

$M_0$  – масса основного объекта в начале периода  $t$ , г;

$n$  – исходное количество особей основного объекта в бассейне, шт. (либо плотность его посадки, шт./м<sup>3</sup>);

$K$  – затраты используемого корма на 1 кг привеса основного объекта, кг;

$D$  – количество образующегося детрита при скармливании 1 кг корма, кг (0,2);

$Y$  – коэффициент усвояемости тилляпией детрита на рост (0,368).

Отсюда количество тилляпий, которое можно посадить в бассейн для совместного выращивания с основным объектом можно найти по формуле:

$$T = \frac{(M_t - M_0) * n * K * D * Y}{MT_t - MT_0}$$

Предложенная нами формула использована для расчета плотности посадки нильской тилляпии и карпа в поликультуре УЗВ (табл. 13).

В бассейне № 2 соотношение карпа и тилляпии, составляющее 5,3:1, получено нами в результате проведенных расчетов по предложенной выше формуле. В бассейнах № 1 и № 3 соотношение карпа и тилляпии выбраны произвольно. Контролем служил бассейн № 4, где карпа выращивали в монокультуре.

В конце опыта средняя масса тилляпии в бассейне № 1 при повышенной плотности посадки оказалась в 1,5 раза меньше, чем в бассейнах 1 и 3, что указывает на недостаток доступного ей корма (разность достоверна при  $p < 0,05$ ). Во 2 и 3 бассейнах темп роста тилляпии оказался примерно одинаков, вместе с тем в третьем бассейне получено продукции значительно меньше, чем первых двух.

Таблица 13

## Выращивание тилапии и карпа в поликультуре

Показатели	Бассейны									
	№ 1			№ 2			№ 3			№ 4
	карп	тиляпия	всего	карп	тиляпия	всего	карп	тиляпия	всего	карп
Количество, шт.	700	233	933	700	132	832	700	100	800	700
%	75	25	100	84,1	15,9	100	87,5	12,5	100	100
Соотношение карп : тилапия, шт.	-	-	3:1	-	-	5,3:1	-	-	7:1	-
Средняя масса, г										
исходная	81,3± 10,2	36,2± 0,6	-	81,3± 10,2	36,2± 0,6	-	81,3± 10,2	36,2± 0,6	-	81,3± 10,2
конечная	599,4± 163,6	287,4± 16,4	-	615,1± 175,9	428,7± 25,3	-	578,0± 152,6	444,4± 25,8	-	583,7± 169,9
Удельная скорость роста	0,0127	0,0132	-	0,0129	0,0157	-	0,0125	0,0160	-	0,0126
Среднесуточный прирост, г	3,3	1,6	-	3,4	2,5	-	3,2	2,6	-	3,2
Отход рыбы, %	3,0	2,2	2,8	2,6	1,5	2,4	3,1	1,0	2,9	4,1
Конечная икhtiо-масса, кг	407,0	65,5	472,5	419,5	55,7	475,2	391,9	44,0	435,9	391,7
Рыбopодукция, кг/м <sup>3</sup>	40,7	6,6	47,3	42,0	5,6	47,5	39,2	4,4	43,6	39,2
Затраты корма, кг/кг	-	-	1,2	-	-	1,2	-	-	1,3	1,7

Очевидно, что в третьем бассейне кормовая база в виде детрита не полностью использовалась и соответственно получена меньшая рыбопродукция (на 8%).

Рыбопродукция тилапии в 1 и 2 бассейнах близка по своим значениям, однако в первом бассейне тилапия не достигла товарной массы.

По сравнению с монокультурой (карп, бассейн № 4) поликультура позволила увеличить выход рыбопродукции бассейнов № 1, 2, 3 на 11-21% и значительно снизить затраты корма. При этом наилучшие результаты по комплексу рыбоводных показателей получены в бассейне № 2, где соотношение тилапии и карпа рассчитано по предложенной нами формуле.

Достаточно эффективным оказалось совместное выращивание сибирского осетра и нильской тилапии с использованием предложенной нами формулы расчета соотношения видов (табл. 14).

Таблица 14

Выращивание сибирского осетра совместно с нильской тилапией

Показатели	Поликультура			Монокультура (осетр)
	осетр	тилапия	всего	
Период опыта, сут.	160	160	-	160
Количество рыбы: шт.	1500	238	1738	1500
%	86,3	13,7	100	100
Плотность посадки, шт./м <sup>3</sup>	75	12	87	75
Средняя масса, г:				
исходная	157,3±19,8	52,4±2,8	-	157,3±19,8
конечная	769,3±161,6	484,4±47,9	-	781,7±172,8
Среднесуточный прирост, г	3,8	2,7	-	3,9
Удельная скорость роста	0,0099	0,0135	-	0,010
Отход рыбы, %	18,3	3,4	16,3	19,8
Рыбопродукция, кг/м <sup>3</sup>	47,1	5,6	52,7	47,0
Затраты корма, кг/кг	-	-	1,2	1,6

Темп роста сибирского осетра и другие его рыбоводные показатели в поли- и монокультуре были примерно одинаковыми (разность средней массы осетров в конце опыта недостоверна при  $p > 0,05$ ). Однако за счет получения дополнительной рыбопродукции в виде тилапии, общая рыбопродукция бассейна по сравнению с выращиванием в монокультуре увеличилась на 12% при одновременном снижении (на 25%) кормовых затрат.

Установлено, что, во избежание конкуренции тилапии с осетром в потреблении комбикормов, средняя масса осетра при посадке должна превышать таковую у тилапии в 2,5-3 раза.

### 3.2.3. Выращивание гигантских пресноводных креветок

Выращивание креветок – весьма характерный пример широких возможностей культивирования в УЗВ самых разнообразных гидробионтов.

В процессе их выращивания отработаны основные технологические принципы, связанные со снижением каннибализма и одновременным повышением плотности посадки за счет использования специальных укрытий.

Типичным примером зависимости величины продукции креветок в лотках от площади укрытий являются результаты их выращивания, представленные в таблице 15. Установлено, что, несмотря на минимальную плотность посадки креветок в первом лотке в пересчете на площадь дна, средняя масса креветок в конце опыта не оказалась максимальной, что логично было ожидать. Наибольшая индивидуальная масса креветок достигнута во втором лотке, где использована наименьшая плотность посадки креветок в пересчете на удельную площадь укрытий. Разность достоверна по сравнению со всеми вариантами опыта ( $p < 0,05 + 0,01$ ). В этом лотке отмечены наибольшие среднесуточный прирост и удельная скорость роста.

Таблица 15

Влияние площади укрытий на показатели выращивания креветок

Показатели	Лотки				
	1	2	3	4	5
Удельная площадь укрытий, м <sup>2</sup> /м <sup>3</sup>	19,4	38,8	38,8	38,8	48,5
Исходное количество креветок, шт./м <sup>3</sup>	140	170	600	750	750
Исходная плотность посадки: шт./м <sup>2</sup> дна	58,3	70,8	250	312,5	312,5
шт./м <sup>2</sup> укрытий	7,2	4,4	15,4	19,3	15,5
Средняя масса, г:					
исходная	1,8±0,09	1,8±0,09	2,1±0,20	2,1±0,20	2,1±0,20
конечная	7,5±1,60	8,1±1,70	7,2±1,50	6,0±1,40	5,8±1,30
	Б	А	Б	В	В
Удельная скорость роста	0,012	0,013	0,010	0,009	0,009
Выживаемость, %	68,6	73,5	65,3	58,4	60,1
Продукция лотков:					
г/м <sup>3</sup>	720,0	1012,5	2822,4	2628,0	2615,8
г/м <sup>2</sup> дна	300,0	421,9	1176,0	1099,0	1039,9
г/м <sup>2</sup> укрытий	37,1	26,1	72,7	67,7	53,9
Затраты корма	6,4	5,8	4,4	5,3	5,1

Примечание: разными буквами обозначена достоверная разность между группами. одинаковыми – не достоверная.

Наибольшая биопродукция за 119 суток выращивания получена в третьем лотке, где исходная плотность посадки креветок увеличена до 600 шт./м<sup>3</sup> и соответственно до 15,4 шт./м<sup>2</sup> укрытий. Очевидно, что в первых двух вариантах

опыта лотки оказались недогружены по плотности посадки и их потенциальные возможности по получению продукции не использованы полностью.

Дальнейшее увеличение плотности посадки креветок до 750 шт./м<sup>2</sup> лотка и 19,3 шт./м<sup>2</sup> укрытий обуславливает снижение выживаемости креветок, их темпа роста и, как следствие, выход продукции. Увеличение площади укрытий и соответственно снижение плотности посадки креветок в пятой лотке до 15,5 шт./м<sup>2</sup> укрытий не привело к заметному увеличению этих показателей. Таким образом, увеличение плотности посадки креветок за счет увеличения площади укрытий имеет определенные ограничения.

В целом по итогам выращивания креветок в УЗВ можно заключить, что минимальной товарной массы (20 г) они достигают за 214 суток при температуре выращивания около 24°C и исходной индивидуальной массе 350 г. Относительно высокие затраты кормов на всех этапах выращивания указывают на недостаточную отработанность норм и рецептур кормления креветок.

### **3.3. Выращивание рыбы методом товарного полицикла**

При традиционной эксплуатации УЗВ бассейны зарыбляют посадочным материалом из расчета на получение максимальной ихтиомассы в конце периода выращивания. При этом большую часть времени объемы бассейнов, система водоподготовки оказываются недогруженными по ихтиомассе.

В результате была разработана новая схема выращивания товарной рыбы с многократной ее реализацией в течение года в условиях, когда отсутствует возможность полициклического получения собственного посадочного материала, а его приобретение и завоз можно осуществить только два раза в год. Такую схему можно назвать товарным полициклом (рис. 3).

Ее принцип заключается в следующем. Исходя из содержания растворенного кислорода, водообмена бассейнов, вида выращиваемой рыбы и некоторых других показателей, рассчитывают максимально допустимую величину ихтиомассы (М) в рыбоводном бассейне. Затем зарыбление бассейнов УЗВ проводят в первый бассейн в количестве 8П штук, необходимом для последующего зарыбления всех 8-ми бассейнов. Предварительно из первого бассейна реализуется товарная рыба предыдущего цикла выращивания, а из остальных семи – половина товарной рыбы.

Через период А-Б в первом бассейне ихтиомасса достигает максимально допустимой величины М и половину ее отсаживают во второй бассейн, предварительно освобождая от товарной рыбы предыдущего цикла выращивания.

Через период Б-В в первом и втором бассейнах ихтиомасса вновь достигает максимально допустимой величины, и рыбу вновь рассаживают пополам в два следующих бассейна, освобождая от товарной рыбы предыдущего цикла выращивания.

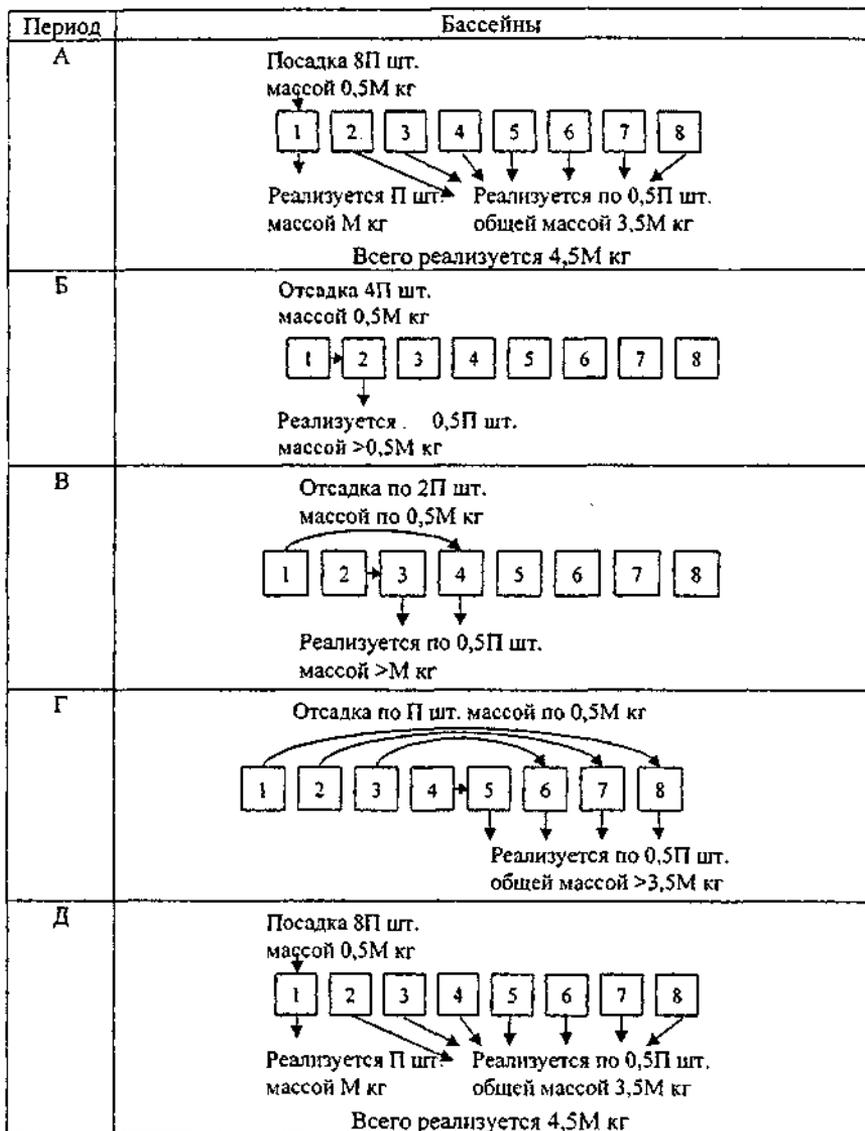


Рис. 3. Схема товарного полицикла:

П – плотность посадки, шт.; М – максимально допустимая ихтиомасса, кг.

Через период В-Г ихтиомасса в четырех бассейнах достигнет максимально допустимой величины, и рыбу вновь рассаживают пополам в остальные четыре аналогичных бассейна, откуда предварительно реализуется товарная рыба предыдущего цикла выращивания.

Через период Г-Д рыба во всех восьми бассейнах достигнет товарной массы, а ее ихтиомасса достигает максимально допустимой величины. Вновь освобождается полностью и зарыбляется посадочным материалом первый бассейн, а из остальных семи бассейнов реализуется половина выращенной рыбы. В результате цикл выращивания замыкается.

Число бассейнов в установке при осуществлении предложенной схемы выращивания рыбы должно быть кратно 8.

Предложенная схема использовалась нами для выращивания карпа, сибирского осетра и тилапии. Результаты показывают, что рыбоводные показатели незначительно отличаются от традиционной схемы выращивания, но за счет более полного использования объема имеющихся бассейнов абсолютная годовая величина ихтиомассы, полученная в товарном полицикле в каждой группе из 8-и бассейнов увеличивается в среднем на 16-33%.

Исследования химического состава тела, выращиваемых в УЗВ осетровых, тилапий и креветок показывают, что он близок к таковому у особей, выращенных в традиционных условиях и вполне сопоставим с данными других исследователей (Клейменов И.Я., 1971; Привезенцев Ю.А. и др., 1991; Соторов П.П., 1999).

#### 3.4. Утилизация и вторичное использование образующихся осадков

Осадок рыбоводных установок представляет собой коллоидный раствор отмирающей биопленки активного ила, остатков кормовых частиц и экскрементов рыб, которые, как правило, выводятся из аппаратов водоподготовки общим потоком.

После уплотнения и стабилизации осадка в специальной емкости происходит его разделение на жидкую и твердую фракции, объем которых составляет соответственно 70 и 30%. Химический состав надосадочной воды (жидкой фракции) представлен в таблице 16.

Для выявления стимулирующего действия надосадочной воды на рост сельскохозяйственных культур проведено опытное проращивание семян редиса сорта "18 дней" и белой горчицы с ее использованием. Критерием служила длина корней пророщенных семян через 72 часа опыта, контролем – семена, проращиваемые в чистой водопроводной воде (табл. 17).

Темп роста корней редиса и горчицы в надосадочной воде оказался соответственно выше на 21 и 37% по сравнению с контролем (разность достоверна при  $p < 0,05$  и  $p < 0,01$ ).

Таблица 16

## Некоторые химические показатели надосадочной воды УЗВ

Показатели	Результаты
Активная реакция среды (рН)	6,0 ± 0,3
Окисляемость, мг O <sub>2</sub> /л	1206,0 ± 210,2
Аммонийный азот, мг/л	7,0 ± 2,8
Нитриты, мг/л	0,5 ± 0,2
Нитраты, мг/л	25,0 ± 5,4
Фосфаты, мг/л	0,6 ± 0,2
Калий, мг/л	20,2 ± 5,2
Магний, мг/л	2,5 ± 0,8

Таблица 17

## Влияние надосадочной воды УЗВ на интенсивность прорастивания семян

Длина корней, мм	Редис		Горчица	
	опыт	контроль	опыт	контроль
2,0-6,0	0	3	3	6
	0	12	12	24
6,1-10,0	1	2	5	7
	8	16	40	56
10,1-14,0	7	9	10	8
	84	108	120	96
14,1-18,0	8	6	4	3
	128	96	64	48
18,1-22,0	6	3	3	1
	120	60	60	20
22,1-26,0	3	2	0	0
	72	48	0	0
Общая длина корней	412	340	336	244
К контролю, %	121	100	137	100
Средняя длина корней, мм	16,5 ± 4,4	13,6 ± 5,5	13,4 ± 5,0	9,8 ± 4,5

Примечание: в числителе – количество проростков семян, шт.;  
в знаменателе – суммарная длина корней, мм.

Дальнейшие исследования показали, что твердая фракция осадка (далее осадок), как и жидкая, полностью соответствует требованиям санитарных правил и норм (1997), предъявляемым к осадкам, используемым для выращивания сельскохозяйственных культур (табл. 18).

Проведенное опытное компостирование осадка в смеси с опилками в соотношении 1:1 в течение трех месяцев показало, что качество полученного компоста соответствовало средним значениям для компостных смесей. Это позволило использовать полученную компостную смесь в качестве субстрата для культивирования дождевых червей (*Eisenia foetida*) местной популяции с целью

получения высокобелковой биомассы и высокоценного удобрения – биогумуса (табл. 19). В результате 160-суточного выращивания червей их численность возросла в 11 раз, а биомасса – в 23 раза.

Таблица 18

Санитарно-химический состав осадка УЗВ

Показатели	Результаты	Норматив (СанПиН 2.1.573-96)
Влага, %	60-82	82
Органическое вещество, % по сухому веществу	74-76	≥20
Свинец, мг/кг	0	1000
Ртуть, мг/кг	0	15
Мышьяк, мг/кг	0	20
Кадмий, мг/кг	0	30
Никель, мг/кг	0	400
Хром (Cr <sup>3+</sup> ), мг/кг	0	1200
Марганец, мг/кг	235	2000
Цинк, мг/кг	420	4000
Медь, мг/кг	5	1500
Колититр, г	0,015	≥0,01
Яйца гельминтов, шт.	0	0
Патогенные энтеробактерии, шт.	0	0

Таблица 19

Результаты выращивания дождевых червей

Показатели	Результаты
Исходный объем субстрата, дм <sup>3</sup>	6
Количество особей, шт.:	
исходное	30
конечное	327
Плотность посадки, шт./дм <sup>3</sup> :	
исходная	5,0
конечная	54,5
Средняя масса особей, мг:	
исходная	252,3 ± 89,9
конечная	523,2 ± 249,5
Продукция червей, г/дм <sup>3</sup>	28,5
Конечная биомасса червей, г	171,0
Переработано компоста:	
дм <sup>3</sup>	24,0
кг	27,3
Получено биогумуса:	
дм <sup>3</sup>	12,0
кг	13,7

Установлено, что при переработке 1 тонны компоста с использованием культуры дождевых червей местной популяции, можно получить около 500 кг биогумуса и более 6 кг дождевых червей. Качество полученного биогумуса соответствовало средним показателям, характерным для гумусовых смесей.

### **3.5. Разработка технологической схемы безотходного рыбоводного комплекса**

По результатам технического и экологического направлений исследований разработана безотходная технологическая схема УЗВ, представленная на рисунке 4.

Принцип работы по данной схеме заключается в следующем. Движение основного потока циркулирующей воды в рыбоводной установке осуществляется по технологической схеме с денитрификацией (рис. 2б). Накапливаемые в механическом фильтре и аппаратах биологической очистки воды взвешенные вещества в виде пульпы направляют в сборник осадка 9, где происходит ее разделение на надосадочную воду и твердую фракцию (сгущенный осадок). Надосадочную воду направляют в циркуляционный бак 11, из которого насосом 12 подают в лотки 13 для гидропонного выращивания растений, после чего вода возвращается в бак 11. В зависимости от физиологической фазы роста растений и соответственно их потребностей в воде, избыток надосадочной воды (до 50%) может поступать на биологическую очистку 5. При недостатке надосадочной воды в бак 11 предусмотрена дополнительная подача воды после механической очистки в фильтре 4. Сюда же предусмотрена возможность подачи дополнительных необходимых питательных веществ. Сгущенный осадок из емкости 9 направляют на компостирование 11 после смешивания с наполнителем (опилки, торф и т.д.). Полученный компост может быть использован как непосредственно в виде удобрения, так и в качестве субстрата для культивирования дождевых червей 14 и получения биогумуса.

## **4. Экономическая оценка результатов исследований**

Экономический анализ результатов проведенной работы показал, что по сравнению с рядом существующих аналогов УЗВ нам удалось значительно снизить удельные капитальные затраты на каждую тонну выращиваемой рыбопродукции (табл. 20).

Наиболее близко к достигнутым показателям в нашей установке удалось приблизиться рыбокомплексу Гидрорыбпроекта, в проектном решении которого заложены сооружения биологической очистки ВНИИПРХ с плавающим наполнителем, что подтверждает эффективность предложенного нами направления совершенствования систем биоочистки.

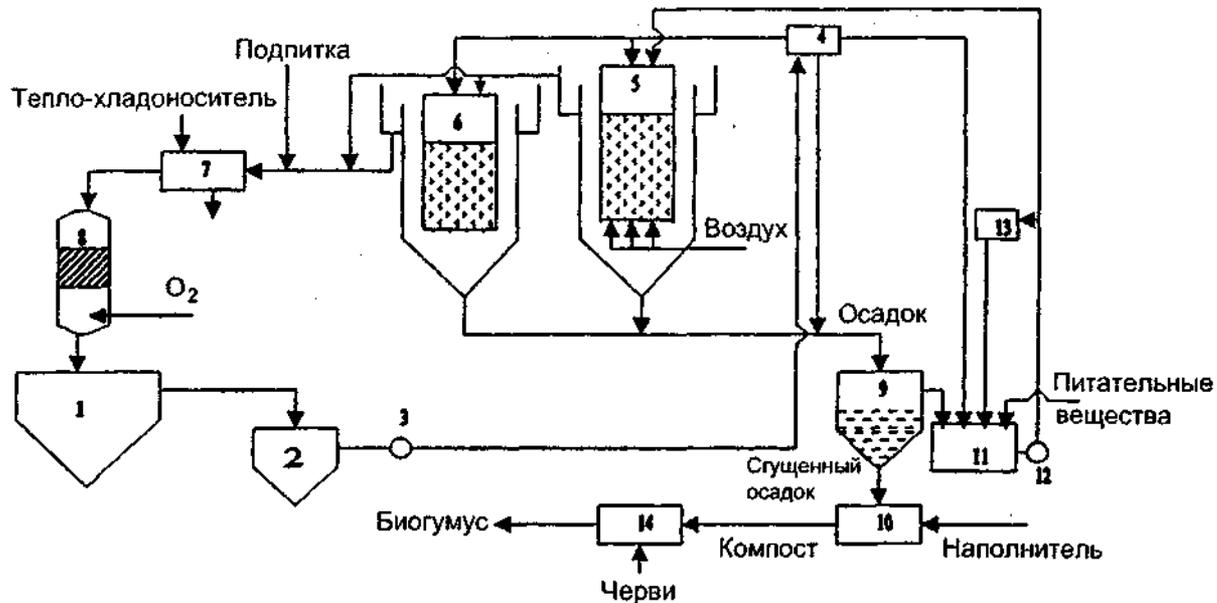


Рис. 4. Безотходная технологическая схема УЗВ:

1 – рыбоводные бассейны; 2 – бассейн отработанной воды; 3 – насос; 4 – механический фильтр; 5 – аэротенк-отстойник; 6 – денитрификатор-отстойник; 7 – терморегулятор; 8 – оксигенатор; 9 – бак сбора осадков; 10 – площадка компостирования; 11 – циркуляционный бак; 12 – насос; 13 – гидропонный блок; 14 – блок вермикультуры.

Таблица 21

## Структура себестоимости гидробионтов выращиваемых в УЗВ

Затраты	Традиционная установка		Новая установка									
	Карп (100 т/год)		Карп (100 т/год)		Осетр (50 т/год)		Стерлядь (50 т/год)		Тилapia (150 т/год)		Креветка (2 т/год)	
	тыс. руб.	%	тыс. руб.	%	тыс. руб.	%	тыс. руб.	%	тыс. руб.	%	тыс. руб.	%
Посадочный материал	308,0	2,7	308,0	4,5	498,3	9,8	970,3	17,7	0	0	610,0	25,0
Комбикорма	4302,0	37,9	4302,0	63,2	2308,0	45,5	2227,5	40,8	5435,0	71,5	240,0	9,8
Зарплата с начислениями	747,9	6,6	747,9	11,0	747,9	14,8	747,9	13,7	747,9	9,8	747,9	30,6
Подпиточная вода	1752,0	15,5	146,0	2,15	146,0	2,9	146,0	2,7	146,0	1,9	74,5	3,1
Сброс в канализацию	1752,0	15,5	146,0	2,15	146,0	2,9	146,0	2,7	146,0	1,9	74,5	3,1
Подогрев	1044,6	9,2	106,4	1,6	106,4	2,1	106,4	1,9	110,3	1,5	27,0	1,1
Эл. энергия	751,6	6,6	375,8	5,5	375,8	7,4	375,8	6,9	375,8	4,9	128,1	5,2
Кислород	137,6	1,2	137,6	2,0	203,9	4,0	203,9	3,7	104,9	1,4	0	0
Прочие	539,8	4,8	539,8	7,9	539,8	10,6	539,8	9,9	539,8	7,1	539,8	22,1
Итого	11335,5	100,0	6809,5	100,0	5077,1	100,0	5463,6	100,0	7605,7	100,0	2441,8	100,0
в т.ч. энергозатрат	5437,8	48,0	911,8	13,4	978,1	19,3	978,1	17,9	883,0	11,6	304,1	12,5
Безубыточный объем, т/год	-		-		20,7		19,3		69,4		4,7	

Таблица 20

## Удельные капитальные затраты некоторых УЗВ

Разработчик	Производительность, т/год	Капитальные затраты в ценах 2001 г.	
		руб./т	%
Фирма "Пипласт"	360	99695	167,5
Гидрорыбпроект	392	61759	103,7
Завод "Электрошит"	8	145311	244,1
Верх-Исетский завод	90	78320	131,6
ЛНПО "Союз"	110	59535	100,0
Фирма "Meiz" (ФРГ)	250	364000	611,4

Сравнительный анализ структуры себестоимости рыбопродукции в разработанной нами установке и в установке традиционной конструкции 70-80-х годов показал (таблица 21), что использование новых малогабаритных, высокопроизводительных аппаратов водоподготовки и оптимально сконструированной технологической схемы позволяет изменить структуру себестоимости рыбопродукции. Удастся снизить ее энергетическую составляющую до 12-20% в зависимости от вида выращиваемых гидробионтов, тогда как ранее доля этих затрат в структуре себестоимости достигала 50% и более.

На основании полученных экономических результатов выращивания гидробионтов в УЗВ, нами установлен ориентировочный минимальный уровень их безубыточного производства. Для осетра и стерляди он составляет 19-21 тонну в год, тилапии – 70 тонн в год, креветки – около 5 тонн в год. Товарное выращивание карпа в УЗВ убыточно при любом объеме производства.

Годовой экономический эффект от внедрения предложенных методов интенсификации на каждую тонну выращиваемой рыбы составил около 9800 рублей в ценах декабря 2001 года. Кроме того, дополнительно, за счет утилизации осадка на каждую тонну выращенной рыбы можно получить продукции на сумму не менее 3 тысяч рублей.

### Основные выводы

1. Установки с замкнутым циклом водопользования следует применять для товарного выращивания ценных гидробионтов (осетровые, тилапии, креветки). Выращивание товарного карпа в условиях УЗВ является убыточным при любом объеме производства. Минимальный безубыточный объем производства сибирского осетра и стерляди ориентировочно составляет 19-21 тонну в год, тилапии – 70 тонн в год, гигантской пресноводной креветки – 5 тонн в год.

2. Выращивание осетровых рыб в рыбоводных установках весьма эффективно. Наиболее хорошие результаты выращивания показывают сибирский осетр и стерлядь. Русский осетр более требователен к условиям содержания.

Северюга хотя слабо адаптирована к условиям УЗВ, однако ее выращивание принципиально возможно.

3. Концентраций органических загрязнений по ХПК до 60 мг  $O_2$ /л и аммонийного азота до 3,6 мг/л не оказывают заметного отрицательного влияния на выращивание сибирского осетра и стерляди. Увеличение концентрации нитритов свыше 0,25 мг/л вызывает замедление темпа роста осетровых и их повышенный отход. При этом выживаемость стерляди в 2,8 раза выше по сравнению с сибирским осетром при равных условиях содержания.

4. При выращивании сибирского осетра и стерляди в бассейнах с одинаковым объемом, но разной площадью дна, темп роста обоих видов выше в бассейне с большей площадью дна соответственно в 1,2 и 1,5 раза. Увеличение площади дна в 1,5 раза за счет введения дополнительного фальшдна в бассейне вертикального типа увеличивает темп роста осетра в 1,2, а рыбопродукцию в 1,3 раза, при выращивании же стерляди достоверных положительных результатов не выявлено.

5. Отмечена высокая эффективность выращивания в УЗВ различных видов тилапий. При правильно рассчитанном соотношении плотности посадки при совместном выращивании основного объекта и тилапии по разработанной нами формуле, выход рыбопродукции бассейнов повышается до 20% при снижении затрат кормов на 25%.

6. Результаты товарного выращивания гигантской пресноводной креветки зависят от количества и качества используемых укрытий. Наибольшая продукция креветок достигнута при плотности посадки 31 шт./м<sup>2</sup> бассейна и 1,9 шт./м<sup>2</sup> площади укрытий. Минимальной товарной массы 20 г креветки достигают при сумме тепла 4500-5500 градус-дней и кормлении карповым тепловодным комбикормом.

7. Разработанный метод выращивания рыбы по схеме товарного цикла позволяет увеличить выход рыбопродукции в замкнутых системах при выращивании в монокультуре осетра на 16 % и тилапии на 20%.

8. Рациональное построение технологической схемы рыбоводной установки, использование новых высокоэффективных малогабаритных аппаратов очистки воды позволяет в 2-6 раз снизить капитальные затраты и в 1,5-2 раза себестоимость рыбопродукции.

9. Залогом эффективной работы УЗВ является комплексное использование первичной механической и последующей биологической очистки циркулирующей воды, что обеспечивает требуемое ее качество, высокий темп роста рыбы и улучшает другие рыбоводные показатели.

10. Выход на рабочий режим эксплуатации аппаратов биоочистки связан со значительными изменениями качественного и количественного состава био-

ценоза активного ила и, соответственно, с изменениями качества очищаемой воды. Во избежание гибели рыбы, он должен осуществляться постепенно по определенной программе.

11. Использование азроtenка-отстойника с пористым плавающим наполнителем позволяет стабильно поддерживать необходимую величину биоценоза, очищающего воду от загрязнений, осуществлять саморегуляцию дозы активного ила по отношению к величине ихтиомассы и средней массе, выращиваемой рыбы.

12. Использование 20-40% биологически неочищенной циркулирующей воды в качестве источника органического питания для бактерий-денитрификаторов обеспечивает нормальное протекание процесса денитрификации и не требует других внешних источников органики. При этом концентрация растворенного в воде кислорода не должна превышать 2 мг/л.

13. Осадки, образующиеся при эксплуатации сооружений водоподготовки УЗВ, содержат высокие концентрации биогенных элементов, хорошо усвояемых растениями. Надосадочная вода оказывает стимулирующее действие на семена редиса и горчицы, увеличивая развитие корней на 21 и 37% соответственно. Качество жидкой и твердой фракции осадка, получаемого компоста полностью соответствует требованиям растениеводства и санитарно-гигиеническим нормативам. При выращивании 1 тонны рыбы можно получить 1-2 тонны компоста.

14. Компост, полученный при утилизации осадка УЗВ пригоден в качестве субстрата для разведения дождевых червей и получения биогумуса. При выращивании 1 тонны рыбы можно получить 0,5-1 тонну биогумуса и 6-12 кг дождевых червей. Основные характеристики биогумуса отвечают существующим требованиям растениеводства.

### **Рекомендации производству**

При использовании замкнутых рыбоводных установок в аквакультуре рекомендуется:

1. Применять УЗВ для товарного выращивания наиболее ценных видов гидробионтов, например, осетровых, тилапий, креветок.

2. При выращивании осетров в бассейнах вертикального типа использовать фальшдно для увеличения площади их питания.

3. Выращивать гидробионтов в поликультуре с тилапией, используя разработанную нами формулу расчета оптимального соотношения основного объекта и тилапии.

4. Выращивать креветок при следующих плотностях посадки: от 2 до 8 г – 200-300 шт./м<sup>2</sup> дна бассейна и 15-20 шт./м<sup>2</sup> укрытий; от 8 до 20 г – 30 шт./м<sup>2</sup> дна бассейна и 2 шт./м<sup>2</sup> укрытий.

5. Использовать схему товарного полицикла для повышения общего выхода рыбопродукции УЗВ.

6. Обращать особое внимание на построение простой, рациональной технологической схемы циркуляции и очистки воды с применением фильтров НСФ и аэротенков-отстойников с пористой плавающей загрузкой.

7. Утилизировать образующиеся осадки и использовать их для полива сельскохозяйственных культур, получения компоста, биогумуса и биомассы дождевых червей.

#### Список опубликованных работ по теме диссертации

1. А. с. СССР 1514289. Способ очистки оборотной воды при выращивании рыбы / Кореньков В.Н., Жигин А.В., Калинин А.В., Шевелев А.А. Заявка № 3660999/13 от 9.11.83, опубл. 16.06.89.
2. Калинин А.В., Жигин А.В. Установка для выращивания товарной рыбы // Межотраслевой сборник ВИМИ: Технология и оборудование сельскохозяйственного производства. – М.: 1984. – Вып. 6. – С. 10-11.
3. Кореньков В.Н., Жигин А.Г., Калинин А.А., Марченко А.А. Установка для интенсивного выращивания рыбы на промышленном предприятии // Передовой производственный опыт. – 1984. – № 6. – С. 46-49.
4. Кореньков В.Н., Лавровский В.В., Жигин А.В. и др. Безотказная работа, высокий выход продукции // Рыбоводство и рыболовство. – 1984. – № 10. – С. 7-8.
5. Кореньков В.Н., Жигин А.В., Калинин А.В., Марченко А.А. Установка для выращивания товарной рыбы // Рыбное хозяйство. – 1985. – № 8. – С. 32-34.
6. Жигин А.В., Светлакова Г.Н., Тряхова Т.Н. Токсикологическая оценка синтетических материалов в рыбоводных установках // Рыбоводство. – 1985. – № 4. – С. 12-13.
7. Кореньков В.Н., Жигин А.В., Калинин А.В., Марченко А.А. Эффективность аппаратов очистки воды в рыбоводных установках // Водоснабжение и санитарная техника. – 1985. – № 11. – С. 18-20.
8. Филонова В.Н., Давыдова О.Я., Кореньков В.Н., Жигин А.В. Контроль качества воды с помощью автоматической станции "Вода-10М" // Передовой производственный опыт. – 1985. – № 11. – С. 20-21.
9. Жигин А.В. Влияние биологической очистки воды на рыбопродуктивность // Сб. науч. тр.: Индустриальное рыбоводство в замкнутых системах. – М.: ВНИИПРХ, 1985. – Вып. 46. – С. 51-59.
10. Жигин А.В. Пусковой период аэротенка-отстойника в рыбоводной установке // Сб. науч. тр.: Индустриальное рыбоводство в замкнутых системах. – М.: ВНИИПРХ, 1985. – Вып. 46. – с. 60-63.

11. Кореньков В.Н., Жигин А.В. Проект промышленной установки для интенсификации выращивания 30 тонн карпа в год // Тез. докл. Всесоюзного совещания по рыбоводству в замкнутых системах (25-27 февр. 1986 г.). – Рыбное: ВНИИПРХ, 1986. – С. 10-11.
12. А.с. 1344299 СССР, МКИ А01К 61/00, 63/04. Способ очистки воды при выращивании рыбы в замкнутой системе / В.Н.Кореньков, В.В.Лавровский, А.В.Жигин, А.В.Калинин (СССР). – № 4069271/28-13. Заявл. 20.05.85; опубл. 15.10.87.
13. Кореньков В.Н., Жигин А.В., Калинин А.В. Проект промышленной рыболовной установки // Передовой производственный опыт. – 1986. – № 12. – С. 43-44.
14. Кореньков В.Н., Калинин А.В., Марченко А.А., Жигин А.В. Совершенствование системы очистки оборотной воды в рыболовной установке // Передовой производственный опыт. – 1987. – № 2. – С. 37-38.
15. Филонова В.Н., Жигин А.В., Кореньков В.Н. Использование автоматической станции "Вода-10М" для контроля качества воды в рыболовной установке // Передовой производственный опыт. – 1987. – № 5. – С. 35-36.
16. Патент 1783753 Россия. МКИ С02F3/20, А01К63/00. Аэротенк с пористым наполнителем / В.Н.Кореньков, А.В.Калинин, А.А.Шевелев, А.В.Жигин (Россия). – № 4114583. Заявл. 10.09.86, опубл. 22.09.93.
17. Кореньков В.Н., Усов Г.П., Жигин А.В., Светлакова Г.Н. Биоценоз активного ила в аэротенке-отстойнике рыболовной установки // Сб. науч. тр.: Индустриальные методы рыбоводства в замкнутых системах. – М.: ВНИИПРХ, 1998. – Вып. 55. – С. 34-39.
18. Кореньков В.Н., Жигин А.В., Калинин А.В. Опыт работы установки интенсивного выращивания рыбы // Рыбное хозяйство, сер. Аквакультура: Рыбхоз. использов. внутр. водоемов, экспросс-информация. – М.: ВНИЭРХ, 1989. – Вып. 2. – С. 2-10.
19. Маркин В.И., Аль-Макдад Д.К., Жигин А.В. и др. Опыт выращивания теляпии разных видов и их гибридов в установках оборотного водоснабжения // Интенсивные технологии в рыбоводстве. – М.: ТСХА, 1989. – С. 68-76.
20. Патент 2055596 Россия. МКИ А01 К61/00. Способ циклического выращивания товарной рыбы в группах бассейнов с регулируемым условиями обитания при замкнутой системе циркуляции воды // Кореньков В.Н., Жигин А.В. (Россия). – № 4860803. Заявл. 20.08.90, опубл. 10.03.96.
21. Калинин А.В., Жигин А.В., Егоркина Т.М. Аэротенк-отстойник с пористым наполнителем в системах оборотного водоснабжения рыболовных установок // Вопр. оборотной техники. – Сер. 18., 1991. – Вып. 8 (352). – С. 16-21.
22. Кореньков В.Н., Жигин А.В., Калинин А.В. и др. Безотходный комплекс с замкнутым циклом водопользования // Сб. науч. тр.: Индустриальное рыбоводство в замкнутых системах. – М.: ВНИИПРХ, 1991. – Вып. 64. – С. 5-9.
23. Жигин А.В., Кореньков В.Н. Влияние режима освещения на биологические ритмы карпа // Сб. науч. тр.: Индустриальное рыбоводство в замкнутых системах. – М.: ВНИИПРХ, 1991. – Вып. 64. – С. 29-37.

24. Жигин А.В. Опыт выращивания ленокского осетра // Сб. науч. тр.: Индустриальное рыбоводство в замкнутых системах. – М.: ВНИИПРХ, 1991. – Вып. 64. – С. 44-45.
25. Кореньков В.Н., Жигин А.В. Значение предварительной механической очистки оборотной воды при выращивании рыбы // Пути повышения эффективности пресноводной аквакультуры. – М.: ТСХА, 1991. – С. 53-58.
26. Korenkov V., Zhukov B., Zhigin A., Non-waste complex for Fish Breeding, Growing Mushrooms and the Basis of industriale Facilities for intensive Fish breeding // Chemrawn VIII chemistry and sustainable development. Towards a clean Environment, Zero Waste and Highest Energy Efficiency (September 7-10, 1992, Moscow). – М.: IUPAC, 1992. – P. 182-183.
27. Жигин А.В. Опыт выращивания сибирского осетра в рыбоводной установке // Рыбное хозяйство, сер. Аквакультура: Осетровые – отечественный и зарубежный опыт воспроизводства. – М.: ВНИЭРХ, 1995. – Вып. 1. – С. 29-34.
28. Жигин А.В. Пути интенсификации рыбоводства в замкнутых системах // Тез. докл. науч.-практ. конф., посвящ. 50-летию кафедры прудового рыбоводства: Развитие аквакультуры на внутренних водоемах, Москва, дек. 1995 г. – М.: МСХА, 1995. – С. 53-55.
29. Патент 2078500 Россия МКИ А01К61/10, А01С31/32. Способ обработки воды в процессе совместного выращивания рыбы и растений // Жуков Б.П., Кореньков В.Н., Жигин А.В. (Россия). – № 95-100794/13. Заявл. 20.01.95, опубл. 10.05.97.
30. Киселев А.Ю., Бирюкова Т.Б., Жигин А.В. и др. индустриальные установки в современной аквакультуре // Рыбное хозяйство, сер. Аквакультура - Прудовое и озерное рыбоводство, информ. пакет. – М.: ВНИЭРХ, 1999. – Вып. 1. – С. 25-30.
31. Жигин А.В. Сравнительные результаты выращивания осетровых в замкнутой системе водопользования // Известия ТСХА. – М.: 2000. – Вып. 1. – С. 145-148.
32. Жигин А.В. Эффективность совместного выращивания карпа и тилляпии в производственных условиях // Известия ТСХА. – М.: 2000. – Вып. 3. – С. 122-128.
33. Жигин А.В. Калинин А.В. Некоторые технологические аспекты товарного выращивания гигантской пресноводной креветки // Сб. науч. тр.: Актуальные вопросы пресноводной аквакультуры. – М.: ВНИИПРХ, 2000. – Вып. 75. – С. 90-101.
34. Жигин А.В., Лебедев Р.О. Гигантская пресноводная креветка – новый объект аквакультуры России // Рыбное хозяйство, сер. Аквакультура. – М.: ВНИЭРХ, 2001. – Вып. 4. – С. 5-8.
35. Жигин А.В., Власов В.А., Рыбоводные установки – важный резерв решения эколого-продовольственной проблемы // Тез. докл. междунар. конф.: проблемы сохранения биоразнообразия в наземных и морских экосистемах Севера, 26-30 августа, 2001 г. – Апатиты: ПАБСИ, 2001. – С. 65-67.

Подписано в печать 18.05.02. Объем 2,25 п.л. Тираж 100 экз. Заказ № 280/227.

---

Отпечатано в ИПК МГУП.  
127550, Москва, ул. Прянишникова, 2а.

