

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «КГТУ»)

На правах рукописи



ПЬЯНОВ ДМИТРИЙ СЕРГЕЕВИЧ

**РЫБОВОДНО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ
ВЫРАЩИВАНИЯ ТОВАРНОГО СУДАКА В УСТАНОВКАХ
ЗАМКНУТОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ**

03.02.06 Ихтиология

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание учёной степени кандидата биологических наук

Научный руководитель
кандидат биологических наук, доцент
Е.И. Хрусталеv

Калининград – 2016

СОДЕРЖАНИЕ

Содержание	2
Введение.....	4
1 Обзор литературы	10
1.1 Выращивание судака в УЗВ: проблемы и перспективы	10
1.2 Пищевые потребности судака.....	13
1.2.1 Альтернативные источники белка растительного происхождения.....	15
1.3 Оценка переваримости корма	19
2 Материал и методика	23
2.1 Исследования по разработке биотехники товарного выращивания судака.....	23
2.2 Исследования по оценке видимой переваримости экспериментальных кормов	29
2.3 Схема проведения исследований	37
3 Биотехнические особенности выращивания посадочного материала судака.....	40
3.1 Температурный и гидрохимический режимы в опытной УЗВ	40
3.2 Оценка скорости роста	43
3.3 Оценка эффективности кормления и жизнестойкости молоди судака ..	49
3.4 Обсуждение результатов и рекомендации	54
4 Биотехнические особенности выращивания товарного судака	58
4.1 Температурный и гидрохимический режимы в промышленной УЗВ....	58
4.2 Оценка скорости роста	62
4.3 Оценка эффективности кормления судака.....	81
4.3.1 Сравнительная оценка продукционных кормов	86
4.4 Обсуждение результатов и рекомендации	90
5 Оценка физиологического состояния судака	94
5.1 Оценка химического состава тела судака выращенного в УЗВ.....	94
5.2 Концентрация и динамика лизоцима в органах судака	95
5.3 Гематологические показатели судака	99
5.4 Морфофизиологическая характеристика товарного судака.....	103

6 Оценка видимой переваримости кормов и тестовых ингредиентов судаком	107
6.1 Результаты эксперимента.....	107
6.1.1 Время прохождения пищи в кишечнике судака	110
6.2 Обсуждение результатов	111
Заключение	119
Практические рекомендации	122
Список использованных источников	123

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. В нашей стране, европейский судак (*Sander lucioperca*, L.) имеет большое промысловое значение, и рассматривается, как один из основных экспортируемых видов рыб. Согласно данным ФАО [FAO, 2014], только за 2013 г. промысел судака составил 6256 т, что более 30 % от мирового вылова данного вида. В Калининградской области вылов судака в 2014 г. составил 456 т, что на 11,3 % больше по сравнению с 2013 г. [О состоянии рыбохозяйственного..., 2015].

Выращивание европейского судака (*Sander lucioperca*, L.) в установках замкнутого водоснабжения (УЗВ) до недавнего времени в нашей стране не проводилось. Некоторые исследования, выполненные на основе промышленных методов, были направлены в первую очередь на получение жизнестойкой молоди судака [Королев, 2000; Сорокина и др., 2009], в то время как попытки разработки биотехники выращивания ремонтно-маточного стада в УЗВ были предприняты относительно недавно [Дельмухаметов, 2012].

При выращивании товарного судака рыбоводы, как правило, сталкиваются с рядом серьезных проблем. Так, например, постоянно поднимаются вопросы, связанные с уменьшением затрат на производство и повышением экономической эффективности выращивания судака до товарной массы. В то же время, поставка высокого качества молоди судака как посадочного материала по-прежнему является проблемным этапом технологического процесса товарного выращивания судака для коммерческих предприятий [Пьянов, Дельмухаметов, 2014]. В этой связи необходимо проведение исследований и экспериментов, направленных на разработку рыбоводно-биологических нормативов выращивания судака, обеспечивающих большую эффективность. При этом следует учитывать специфику физиологических и биологических особенностей объекта.

Более того, потребности в питательных веществах корма для этого вида в настоящее время до конца не изучены, отсутствуют видоспецифичные

стартовые и производственные корма. Учитывая тот факт, что искусственные корма для рыб производятся из таких сырьевых материалов, как рыбная мука и рыбий жир, существует некоторое ограничение их использования как с экологической точки зрения, так и с экономической в связи с высокой ценой и доступностью. Поэтому, понимание пищевых потребностей судака на всех жизненных этапах позволит в будущем рентабельно расходовать сырье и использовать альтернативные источники белка растительного и животного происхождения при разработке экономически выгодных кормовых рецептур для данного вида.

Эти проблемы во многих случаях взаимосвязаны и требуют междисциплинарных и новаторских стратегий для их решения. Поэтому, все вышеизложенное послужило основой для проведения исследований в этом направлении.

Цель и задачи работы. Целью данной работы было изучение рыбо-водно-биологических особенностей развития товарного судака в УЗВ и разработка технологии его товарного выращивания.

Для достижения цели решали следующие задачи:

- 1) усовершенствовать биотехнику и методы выращивания посадочного материала в УЗВ;
- 2) оценить влияние плотностей посадки на скорость роста на этапах выращивания посадочного материала и товарного судака в УЗВ;
- 3) оценить скорость роста судака от посадочного материала до товарной массы при выращивании в УЗВ;
- 4) оценить эффективность кормления судака от посадочного материала до товарной массы при выращивании в УЗВ, дать сравнительную оценку кормовых рецептур, применяющихся при промышленном выращивании товарного судака;
- 5) дать оценку химического состава судака, выращенного в УЗВ;

б) изучить физиологическое состояние судака, выращенного в УЗВ по гематологическим, иммунологическим и морфофизиологическим показателям;

7) оценить видимую переваримость питательных веществ и энергии некоторых тестовых ингредиентов растительного происхождения (концентрат соевого белка, изолят горохового белка, изолят пшеничного глютена и изолят рапсового белка) в экспериментальных кормах при кормлении судака в возрасте годовика, изучить скорость прохождения пищи в кишечнике.

Научная новизна. Усовершенствованы методы выращивания посадочного материала судака в условиях УЗВ, определены оптимальные плотности посадки для ранней молодежи. Установлены особенности развития судака в УЗВ на разных этапах онтогенеза.

Впервые в России разработана технология выращивания товарного судака в УЗВ. Установлены биотехнические особенности выращивания товарного судака: скорость роста в УЗВ, влияние искусственных продукционных кормов на рост. Разработаны биотехнические нормативы и стандарты выращивания судака от посадочного материала до товарной массы в УЗВ.

Проведена сравнительная оценка химического состава тела судака, выращенного в УЗВ, с судаком из естественной среды. Впервые дана оценка физиологического состояния судака на этапах товарного выращивания.

Впервые проведено исследование по оценке видимой переваримости питательных веществ и энергии тестовых ингредиентов в экспериментальных кормах при кормлении взрослого судака, изучена скорость прохождения пищи в кишечнике.

Теоретическая и практическая значимость работы. Полученные данные можно использовать в учебном процессе по направлению "110900.62 – Водные биоресурсы и аквакультура" для таких дисциплин как «Товарное рыбоводство», «Методы выращивания посадочного материала», «Современные проблемы и перспективы развития аквакультуры».

Предложенная технология и рекомендации по выращиванию посадочного материала судака в УЗВ позволяют оптимизировать условия выращивания молоди, повысить выживаемость и увеличить скорость роста.

Впервые в отечественной практике разработана и рекомендуется к применению технология выращивания товарного судака в УЗВ. Полученные результаты и предложенные рыбоводно-биологические нормативы выращивания могут быть применены на промышленных рыбоводных предприятиях.

Все результаты были апробированы на базе цеха по выращиванию рыбы предприятия ООО «ТПК Балтптицепром».

Исследования по оценке видимой переваримости показали, что все тестовые ингредиенты, исследуемые в данном эксперименте, имеют хорошую усвояемость. Поэтому в будущем такие компоненты как концентрат соевого белка, изолят горохового белка, изолят пшеничного глютена и изолят рапсового белка можно использовать в качестве альтернативных источников белка растительного происхождения при составлении рецептур кормов для судака.

Методология и методы диссертационного исследования. В ходе исследований были применены стандартные и оригинальные методики. Для анализа результатов использовались методы вариационной статистики.

Положения, выносимые на защиту:

1) разработанная технология товарного выращивания судака в УЗВ позволяет получить конечный продукт (средней массой 600 г) за 15 месяцев, средней массой более 700 г за 19 месяцев, при высокой жизнестойкости и стабильном росте;

2) на этапах выращивания посадочного материала судак раскрывает ростовую потенцию на высоком уровне, на этапах товарного выращивания скорость роста замедляется;

3) условия выращивания судака в УЗВ способствует проявлению отличий в химическом составе, величине гематологических, иммунологических показателей, морфофизиологических индексов;

4) непрямой метод оценки видимой переваримости кормов с использованием устройства для сбора экскрементов является наиболее подходящим для исследуемого вида и позволяет достоверно установить время прохождения пищи в пищеварительном тракте судака;

5) концентрат соевого белка, изолят горохового белка, изолят пшеничного глютена и изолят рапсового белка в будущем могут использоваться в качестве альтернативных источников белка растительного происхождения при составлении рецептур кормов для судака.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность результатов диссертационного исследования подтверждена апробацией их в промышленных условиях при выращивании товарного судака. Весь собранный материал обработан методами статистического анализа. Основные положения, материалы и результаты диссертации докладывались и обсуждались на международной научной конференции «Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоемов» (Калининград, 2013, 2014); 9th Baltic Conference on Food Science and Technology “Food for consumer well-being” FOODBALT 2014 (Jelgava, 2014); на региональном «Фестивале науки» (Калининград, 2014); The Baltic University Programme 2nd PhD Students Training. Interdisciplinary – Multicultural – International (Rogów, 2014); European Aquaculture Society - Aquaculture Europe 2015 (Rotterdam, 2015); на II Всероссийской молодежной конференции «Рыбохозяйственные исследования на внутренних водоемах» (Санкт-Петербург, 2016).

Отдельные разделы диссертации легли в основу инновационного стартап проекта, победившего в программе «Участник молодежного научно-инновационного конкурса» («УМНИК») в апреле 2014 г., а также коллективной монографии «Биологические и технологические особенности пастбищной аквакультуры в Калининградской области», вышедшей в издательстве КГТУ, используются в лекционном курсе «Специальные методы выращивания рыб».

Декларация личного участия. Автором были поставлены цель и задачи исследования, проведены эксперименты, отработаны все этапы технологического процесса - от выращивания посадочного материала до выращивания товарной рыбы, выполнена статистическая обработка собранных данных, проанализированы полученные результаты, сделаны выводы. Весь материал по выращиванию товарного судака был собран и обработан автором самостоятельно в период с сентября 2011 г. по декабрь 2014 г. Данные по оценке видимой переваримости экспериментальных кормов были собраны автором во время стажировки в Германии в период с февраля по декабрь 2015 г.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 15 работ, в том числе: 2 статьи в издании из перечня ВАК Минобрнауки России; 1 статья, индексируемая в базе Web of Science Core Collection.

Объем и структура работы. Диссертация изложена на 142 с., состоит из введения, шести разделов, заключения, списка использованных источников из 168 работ, из них 102 на иностранных языках, содержит 31 рисунок и 31 таблицу.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность научному руководителю к.б.н., профессору кафедры аквакультуры КГТУ Хрусталеву Евгению Ивановичу за неоценимую помощь в сборе материала и написании диссертационной работы, заведующему кафедрой аквакультуры КГТУ, д.б.н., профессору Геннадию Георгиевичу Серпунину за помощь в подготовке диссертации к защите, сотрудникам кафедры аквакультуры Т.М. Кураповой, Л.В. Савиной, К.А. Молчановой за помощь в работе и ценные рекомендации. Отдельную благодарность автор выражает А.Б. Дельмухаметову, а также научным сотрудникам и аспирантам исследовательского института Gesellschaft für Marine Aquakultur mbH – профессору Карстену Шульцу, Штефану Мейеру, Михаэлю Шляхтеру, Катрин Штайнберг и Анне Фиклер.

1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Выращивание судака в УЗВ, проблемы и перспективы

К настоящему времени на долю мировой аквакультуры (без водорослей) приходится более 40 % или около 60 млн. т. продукции [FAO, 2014]. Ввиду того, что мировой спрос на рыбную продукцию ежегодно растет, необходимость в формировании устойчивой аквакультуры не может быть переоценена [Васильева, 2013]. Однако, уровень мировой продукции искусственно выращиваемого судака очень низок по сравнению с другими видами рыб. Самый высокий показатель был зафиксирован в 1995 г., когда объемы производства составляли 945 т. К настоящему времени они составляют около 900 т (893 т в 2014 г.) [FAO, 2014].

В нашей стране о судаке сложилось мнение как о рыбе, обитающей в естественной среде и приспособленной к жизни в реках, водохранилищах и опресненных участках морей. Несмотря на то, что еще в Советское время была разработана биотехника выращивания этого вида в прудах [Михеев, Мейснер, 1966], в настоящее время технология выращивания судака в УЗВ в нашей стране разработана слабо. Первые исследования по индустриальному выращиванию молоди судака были предприняты в ГосНИОРХ в конце прошлого века [Королев, 2000]. Несколько позже, в 2009 г. научными сотрудниками ФГБОУ ВО «КГТУ» была разработана полициклическая технология выращивания молоди судака, что позволило в дальнейшем на одном из региональных предприятий в Калининградской области впервые сформировать маточное стадо [Биотехнический и производственный потенциал..., 2009; Дельмухаметов, 2012]. Следующим этапом является разработка биотехники выращивания товарного судака в условиях УЗВ.

В Европе судака выращивают экстенсивными (пастбищная аквакультура), полуинтенсивными и интенсивными методами. Последние подразумевают использование установок замкнутого водоснабжения, которые получили широкое распространение в странах ЕС. Возможность выращивания судака в

условиях замкнутого цикла обусловлена его высокими вкусовыми качествами, хорошим темпом роста, а также растущей ценой [Ruanov et al., 2014]. Несмотря на высокую эксплуатационную затратную составляющую рыбоводного процесса продукция судака по величине оптовой стоимости достигла уровня, позволяющего вести рентабельное выращивание этого вида в УЗВ [Дельмухаметов, 2012].

Например, такие страны как Польша и Чехия, хозяйства которых в прошлом были ориентированы на прудовое выращивание, в последние годы начинают активно заниматься выращиванием судака в УЗВ, что подтверждается рядом исследований [Baránek et al. 2007; Szkudlarek, Zakęś, 2007; Zakęś et al., 2006; Zakęś et al., 2014; Kristian et al., 2015].

Лидирующее место по выращиванию судака на протяжении долгих лет занимает датское предприятие Aquapri A/S (Frederiksværk, Denmark). Достигнутый ими уровень технологий позволяет выращивать от посадочного материала товарную рыбу в УЗВ за 15 месяцев [Dalsgaard et al., 2013]. Более того, в 2016 г. компанией был запущен в действие новый завод, мощность которого составляет 400-500 т товарной рыбы ежегодно. К 2017 г. они планируют достигнуть отметки в 700 т/год, что сделает это предприятие по выращиванию судака мощнейшим в мире [Aquapri inaugurates..., 2016]. Стоит отметить, что мощность одного из успешных голландских предприятий Excellence Fish bv. (Meterik, Netherlands) составляет 100 т/год. Однако, помимо товарного выращивания, они также являются одними из основных поставщиков посадочного материала судака в Западной Европе.

Ведущая в мире, голландская компания NESY Aquaculture bv, специализирующаяся на проектировании и строительстве рыбоводных ферм, также разработала технологию выращивания судака в УЗВ, однако она защищена дорогостоящими патентами.

Тем не менее, при выращивании судака в промышленных условиях рыбоводы все чаще и чаще сталкиваются с рядом проблем. Эксплуатация

УЗВ при работе с данным видом требует наличия высококвалифицированного персонала, обеспечения полного санитарно-микробиологического контроля и передовых методов очистки воды.

Для стабилизации выращивания посадочного материала возникает необходимость выработать надежную иммунную систему с повышенной устойчивостью к стрессу и снижению смертности на ранних личиночных и последующих стадиях развития судака.

Учитывая колебания спроса и предложения на рынке, выращивание судака находится под постоянным давлением, постоянно поднимаются вопросы о снижении издержек производства при одновременном повышении и/или поддержании экономической жизнеспособности и рентабельности производства. Стоит учитывать, что потенциал искусственно выращенного судака значительно ниже совокупного спроса по сравнению с другими видами рыб, следовательно, производство должно ориентироваться на определенную нишу на рынке. Поставка ограниченного количества товарной продукции при высокой стоимости за килограмм, в свое время, привела к тому, что ряд европейских предприятий объявили себя банкротами [Dutch pike perch farm up for sale, 2014]. Для снижения себестоимости товарного судака учеными поднимаются вопросы о разработке комбинированных методов культивирования [Toner, 2015]. Например, использовать УЗВ только для выращивания посадочного материала с последующей пересадкой рыбы в пруды. Некоторые сведения об отечественном опыте полициклической технологии выращивания судака приводятся в работе «Биотехнический и производственный потенциал пастбищной аквакультуры на трансграничных водоемах России и Литвы» [2009].

В рамках Европейского общества аквакультуры (European Aquaculture Society, EAS) существует тематическое сообщество «European Percid Fish Culture», которое активно занимается решением вышеизложенных проблем путем совместных усилий всех заинтересованных в этом секторе сторон, в

том числе ученых, государственных учреждений и частного сектора. Так как эти проблемы неизменно взаимосвязаны, они требуют многопрофильных и инновационных подходов к их решению, охватывающих использование современных технологий и новейшей информации, получаемой из других смежных областей, таких как сельское хозяйство, рыболовство, биотехнологии, а также социальные науки.

Открытым остается и вопрос питания окуневых, на котором все чаще и чаще стали акцентировать свое внимание зарубежные и отечественные ученые. Перед исследованиями в области питания окуневых и в частности судака ставится задача определить альтернативные источники сырья для производства кормов и проложить путь для лучшего роста и здоровья рыбы, тем самым снизив себестоимость и в конечном итоге увеличить эффективность и рентабельность выращивания товарной продукции в промышленных условиях [Nyina-wamwiza et al., 2005; Kestemont et al., 2011; Ostaszewska, Boruta, 2006; Schulz et al., 2005, 2007, 2008].

1.2 Пищевые потребности судака

Обмен веществ у рыб в искусственных условиях полностью зависит от сбалансированности, качества и количества задаваемых кормов. Именно от них зависит скорость роста, смертность, конечная себестоимость товарной рыбы и уровень загрязнения воды [Остроумова, 2012]. Поэтому экономически обоснованные, сбалансированные по химическому составу и обеспечивающие потребности рыб комбикорма имеют важное значение для успешного выращивания рыбы. Рыб, обладающих потенциальными возможностями активного биологического роста необходимо обеспечить всеми необходимыми питательными веществами [Остроумова, 2012].

К настоящему времени потребность судака в питательных веществах изучена слабо. Ранее было проведено несколько исследований, связанных с пищевыми потребностями молоди судака [Nyina-wamwiza et al., 2005; Schulz

et al., 2007; Kowalska et al., 2011], однако уровень накопленных знаний по вопросам потребностей взрослых особей относительно низок, а видоспецифичные стартовые и продукционные корма до сих пор отсутствуют. Для их разработки необходимо проведение ряда исследований.

Известно, что потребность в общем белке для ранней молоди судака составляет 43-50 %, для поздней 53-57 % [Nyina-wamwiza et al., 2005; Schulz et al., 2007]. Более того, С. Schulz с соавторами [2008] считают, что наиболее оптимальное содержание жира в корме для подросшей молоди судака должно составлять 17 %. В то же время польские ученые, проведя эксперимент на ранней молоди отмечают, что содержание липидов в корме в пределах 6-18% никак не отражается на скорости роста [Kowalska et al., 2011]. Это также дает основание считать, что у взрослых особей будут совсем другие пищевые потребности.

Большинство исследований по определению потребностей в питательных веществах основаны на длительном изучении ростового и продукционного эффекта при исключении из диеты различных количеств определенных нутриентов, и последующим их введении [Щербина, Гамыгин, 2006].

Потребности рыб в питательных веществах обусловлены генетически заданным уровнем обмена и роста [Щербина, Гамыгин, 2006]. Так, рыбы отличаются от сельскохозяйственных животных высокой потребностью в белковой пище, которая сложилась исторически и связана с их преимущественным питанием животными организмами [Остроумова, 2012].

Белки играют первостепенную роль в функционировании живой материи, обеспечивают рост и обновление тканей, а входя в иммунную систему, они выполняют защитную функцию [Остроумова, 2012].

Включение в состав корма рыбной муки полностью удовлетворяет высокую потребность в протеине у хищных рыб, в частности судака. Именно в рыбной муке содержится высокий уровень дефицитных незаменимых аминокислот, определяющих нормальный рост и обмен рыб [Остроумова, 2012].

Тем не менее, использование белков растительного происхождения в последние годы приобретает все большее и большее значение. В то время, как рыбная мука представляет собой ограниченный биологический ресурс и становится все менее экономически выгодным сырьем. Так, цена за тонну рыбной муки за последнее десятилетие выросла почти в два раза [Index Mundi, 2016]. Использование же альтернативных источников белка, менее дорогих и более доступных, играет важную роль в концепции устойчивого развития аквакультуры [Glencross, Hawkins 2004]. Варьируя сырьем для производства комбикормов можно с наибольшим эффектом использовать его питательную ценность [Мазник и др., 1976].

1.2.1 Альтернативные источники белка растительного происхождения

Как отмечают М.А. Щербина и Е.А. Гамыгин [2006], все кормовые средства растительного происхождения делят на низкобелковый (до 20 % белка) и высокобелковые (до 45-60 %). К первой группе относится зерно злаковых, ко второй – зернобобовых, остатки семян масличных культур (жмыхи и шроты), кукурузный и пшеничный глютен, пшеничные зародышевые хлопья.

На данный момент, при производстве кормов большое количество потенциального растительного сырья ограничено в использовании из-за недостатков в аминокислотном составе (дефицитом лизина, а нередко и метионина), отсутствия вкусовой привлекательности, высокого процента фосфора, присутствующего в качестве фитиновой кислоты и антипитательных веществ (антинутриентов) [Щербина, Гамыгин, 2006; Hardy, 2010].

Содержание последних создает проблему для некоторых хищных видов рыб [Krogdahl et al., 2010]. При кормлении диетами, содержащими соевый шрот у радужной форели и атлантического лосося был диагностирован подострый энтерит [Refstie et al., 2000].

Поэтому, растительное сырье должно обладать характеристиками аналогичными рыбной муке, что позволит создать разумную альтернативу последней. Наряду с экономическими аспектами, такими как конкурентоспособная цена и широкая доступность, продукт должен обладать высокими питательными свойствами, которые характеризуются в первую очередь низким содержанием крахмала, волокна и антипитательных факторов (АПФ). В то же время переваримость, содержание протеина и вкусовая привлекательность должны быть на достаточно высоком уровне [Gatlin et al., 2007].

Так как сырье растительного происхождения часто не обладает такими свойствами, необходима дальнейшая переработка, что позволит улучшить качество исходного сырья и повысить возможность использования его при производстве рыбных кормов [Щербина, Гамыгин, 2006].

Совместимость белка растительного происхождения можно увеличить путем переработки сырья до белкового концентрата или изолята [Arntfield et al. 1985; Fredrikson et al., 2001; Peisker, 2001]. Как показали исследования, при кормлении лосося и радужной форели кормом с содержанием концентрата соевого белка усвояемость составляла более 90 % [Glencross, 2004]. Для сравнения, при кормлении кормом с содержанием рыбной муки из менхадена коэффициент видимой переваримости сырого протеина этими видами составлял 91 % и 86 % соответственно [Anderson et al., 1997; Gaylord et al., 2010]. Также положительные результаты были достигнуты в исследованиях на радужной форели и тилапии [Rodehutscord et al. 1995, Zhao et al. 2010].

Переработка сырья до концентратов и изолятов направлена в первую очередь на увеличение содержания сырого протеина и удобоваримости питательных веществ, и одновременно на снижение уровня АПФ [Бредихина и др., 2009].

В прошлом, соевые бобы были основным сырьем, используемым для промышленного производства белковых концентратов и изолятов. Однако, в

последние годы были обнаружены и другие растения имеющие аналогичный потенциал, например, семена бобовых культур [Tömösközi et al., 2001].

В случае с масличными культурами (soя, пшеница и др.), перед производством белкового концентрата, они должны быть очищены от посторонних примесей (камни, стекло, растительные ткани, пыль и др.), расколоты, доведены до требуемых условий для получения оптимальной пластичности (с использованием тепла и влаги) и расплющены до хлопьев. Для обезжиривания эти хлопья обрабатывают органическими растворителями. В результате получается смесь масла и растворителя состоящая из белков, углеводов, витаминов и минералов [Cromwell, 2008]. Затем растворитель удаляют с помощью вакуумной сушки, получая в итоге обезжиренные хлопья без потери функциональных белковых свойств [Peisker, 2001].

В случае с семенами бобовых растений, перед производством белкового концентрата, их необходимо высушить, очистить и перемолоть до мучного состояния [Sosulski, McCurdy, 1987].

Белковый концентрат – это обезжиренная мука (или хлопья), из которой удалено большинство простых и сложных углеводов, минеральных солей, водорастворимых веществ, таких как сахара/олигосахариды и второстепенных компонентов [Щербаков, Иваницкий, 1987; Singh et al., 2008]. Получить белковый концентрат можно тремя способами.

Первый способ экстракционный. Измельченное сырье обрабатывают органическими растворителями при соответствующих температурах их кипения. Используя этиловый или изопропиловый спирт, сырье многократно промывают до остаточного содержания липидов в сухом концентрате не более 0,75 % [Бредихина и др., 2009]. Нерастворимые компоненты (белки и полисахариды) не подвергаются воздействию спирта, тогда как растворимые соединения удаляются [Wolf, 1970].

Второй способ – кислотного выщелачивания. Он заключается в удалении сахаров посредством кислотной обработки при pH 4,5. Это значение во-

дородного показателя в свою очередь является изоэлектрической точкой для основных глобулинов [Бредихина и др., 2009].

Третий способ – комбинированный. Он заключается во влажном нагреве измельченного сырья (что приводит к денатурации белка) и последующим использованием водной экстракции, которая растворяет сахара и второстепенные компоненты [Бредихина и др., 2009].

Во всех случаях, конечным продуктом является концентрат с высоким содержанием белка. Однако, их физические свойства зависят от способа получения. Например, из-за отсутствия термической обработки содержание растворимого белка выше в концентратах, которые получены с помощью кислотного выщелачивания [Peisker, 2001].

В отличие от белковых концентратов изоляты не имеют вкуса и запаха, обладают хорошей эмульгирующей способностью, хорошо растворяются в воде [Бредихина и др., 2009].

При производстве изолята обезжиренную муку экстрагируют 10-кратным количеством щелочи при pH 7-9 и температуре 50-60 °C. Экстракт отделяют, изолированный белок осаждают при pH 4,5-4,6; осадок промывают кислотой и высушивают. Такой изолят (изоэлектрический белок) плохо растворяется в воде, поэтому его нейтрализуют раствором щелочи и высушивают. Для регулирования свойств белковых изолятов применяют частичный гидролиз протеолитическими ферментами, термообработку, мембранную технологию концентрирования и очистки белка. Выход изолятов достигает 85 % массы обезжиренной муки при содержании белка до 90 % [Бредихина и др., 2009].

Возможность включения белковых продуктов растительного происхождения в состав искусственных кормов зависит от содержания усваиваемого белка и энергии в этих продуктах [Glencross, Hawkins 2004]. Поэтому, оценка видимой переваримости является первым шагом для определения потенциала исследуемого пищевого ингредиента.

1.3 Оценка переваримости корма

Оценка переваримости кормов имеет важное значение, как для исследований о потребности в питательных веществах, так и для разработки менее затратных рецептур. Корма принято оценивать как с биологической позиции, когда гранулы доступны структурно и рыба может потреблять их без избыточных энергозатрат, так и с физиологической, когда корм приемлем по вкусу и запаху, легко переваривается и обладает высокой питательной ценностью, обеспечивая энергетические и пластические потребности организма [Шустин, 2002]. Кроме того, правильно сформулированная рецептура корма может способствовать минимизации загрязнения воды [Hajen et al., 1993].

На переваримость корма у рыб в первую очередь влияют такие факторы, как состав корма, в частности соотношение питательных веществ в рационе; технология изготовления корма (степень измельчения сырья, термическая, термомеханическая, гидротермическая и другие виды переработки); величина рациона и длительность кормления; абиотические факторы (температура, кислородный режим, загрязнение воды метаболитами, соленость); генотип [Щербина, Гамыгин, 2006].

Существуют прямые и непрямые методы оценки переваримости кормов рыбой в зависимости от заданных факторов для каждого вида.

Прямой метод оценки переваримости был разработан G. Post с соавторами [1965]. Рыбу помещают в специальную удерживающую камеру, таким образом, исследуемый объект находится в неподвижном состоянии. Кормление при этом принудительное, а сбор экскрементов осуществляется по отдельности. Метод позволяет осуществлять полный сбор всех фекалий и в том числе водорастворимых соединений, тем самым, исключая возможные ошибки, связанные с отбором проб. Главный недостаток этого метода заключается в том, что рыба содержится в стоячей воде, а кормление осуществляется принудительно. Это оказывает стрессовое воздействие на организм, что мо-

жет отражаться на конечных значениях видимой переваримости [Nutrient Requirements... , 2011].

В настоящее время при оценке видимой переваримости кормов чаще всего используют непрямой метод с применением непереваримых (инертных) веществ. По их концентрации в кормах и экскрементах судят о количестве питательных веществ, всасывающихся в кишечнике [Щербина, Гамыгин, 2006]. В качестве инертных веществ могут применяться окись хрома (Cr_2O_3), диоксид титана (TiO_2), оксид иттрия (Y_2O_3)

Основное преимущество метода в том, что рыба подвергается меньшему стрессу, т.к. эксперимент проводят в обычных условиях при содержании их в бассейнах. Количество рыбы в рыбоводных емкостях может быть увеличено, таким образом необходимое количество экскрементов для анализа может быть получено в более короткий срок [Austreng, 1978].

Непрямой метод может быть активным, когда фекалии собирают посредством ручного отцеживания из анального отверстия, плавно надавливая на стенку задней кишки. несовершенство этого метода заключается в том, что вместе с экскрементами отцеживаются мочевые выделения, оказывая влияние на конечные значения видимой переваримости. Сам процесс также оказывает стрессовое воздействие на рыб, снижая потребление корма в дальнейшем. Поэтому данный метод не может быть применим по отношению к особо чувствительным рыбам, в частности к судаку. Более того, частая повторяемость отцеживания может привести к физическим повреждениям [Heinritz et al., 2015].

Извлечь фекалии из задней кишки также можно путем вскрытия рыбы предварительно проведя эвтаназию. Эксперименты, проведенные на таких объектах как треска и атлантический лосось, показали отсутствие особой разницы между рассчитанными значениями коэффициентов видимой переваримости по полученным путем отцеживания и вскрытия данным [Storebakken et al., 1998; Hemre et al., 2003].

Существуют также пассивные непрямые методы, когда сбор экскрементов осуществляется сразу после их естественного выделения рыбой в водную среду. Главные преимущества таких методов в том, что рыба не подвергается стрессу во время эксперимента, в отличие от активных методов сбора проб [Ferraris et al., 1986].

Так, например, система С. Cho [1982] включает в себя специальный, подсоединенный к бассейнам, сливной столб, куда благодаря течению попадают экскременты. Однако, фекалии не всегда точно туда затекают, а, следовательно, могут находиться в воде длительное время. Это является основным недостатком такой системы, т.к. сбор экскрементов стоит проводить непосредственно сразу после дефекации во избежание потери питательных веществ [Spyridakis et al., 1989].

Сбор экскрементов можно также осуществлять с помощью специального устройства, разработанного Дж. Шубертом [Choubert et al., 1982], которое располагают под каждым бассейном. В основании бассейна имеется пластиковая труба, соединенная с этим устройством, куда током воды попадают фекалии. Действие такого устройства для сбора экскрементов подробно описано в подразделе 2.2.

Установки с устройствами для сбора фекалий, как правило, занимают много места и требуют больших затрат. Тем не менее, по нашему мнению, они позволяют получить более точные результаты в отличие от других вышеописанных методик.

Время, необходимое для переваривания пищи рыбой является важным показателем, отражающим характер переваривания корма и эффективность использования питательных веществ. Этот показатель зависит от температуры воды, состава корма (в частности от источника белка), вида рыбы и ее физиологии [Carneiro et al., 1994; Storebakken, 1985; Storebakken et al., 1999; Adamidou et al., 2009; Шустин, 2002]. Пучков [1954] отмечает, что имеется обратная связь между скоростью эвакуации корма и его ассимиляцией.

Какие-либо исследования по определению скорости прохождения пищи в кишечнике у взрослых окуневых рыб до настоящего времени не проводились.

Скорость прохождения пищи можно также идентифицировать гравиметрическим методом, методом радиоактивных маркеров или посредством рентгеновских снимков. Однако для этого требуется специальное дорогостоящее оборудование [Austreng, 1978].

2 МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Основные исследования проводились в мобильной рыбоводной лаборатории (МРЛ КГТУ) и на базе промышленной УЗВ ООО «ТПК Балтптицепром», г. Калининград. Весь материал по теме диссертации был собран в период с апреля 2011 по декабрь 2015 г. Исследования по оценке видимой переваримости экспериментальных кормов проводились в исследовательском институте GMA - Gesellschaft für Marine Aquakultur mbH (г. Бюзум, земля Шлезвиг-Гольштайн, Германия) в рамках стипендиальной программы Немецкого экологического фонда (Deutsche Bundesstiftung Umwelt, г. Оснабрюк), в период с февраля по декабрь 2015 г.

2.1 Исследования по разработке биотехники товарного выращивания судака

В исследованиях по разработке биотехники товарного выращивания материалом послужила первая генерация судака, выращенная из оплодотворенной икры, полученной в апреле 2011 г. от собственных производителей, выращенных в УЗВ из оплодотворенной икры «дикого» судака Куршского залива, в период с 2007 по 2010 г. [Дельмухаметов, 2012].

Работа по выращиванию посадочного материала осуществлялась в МРЛ КГТУ в период с апреля по сентябрь 2011 г. На этапе подращивания личинок, в составе экспериментальной установки использовались бассейны из прорезиненной ткани объемом 1 м^3 с уровнем воды 0,5 м и водообменом 1 раз в час. На мальковом этапе, по достижении рыбой средней массы 3 г, выростными емкостями послужили бассейны из прорезиненной ткани объемом $0,2 \text{ м}^3$ с уровнем воды 0,3 м и водообменом 1 раз в час. Экспериментальная установка включала в себя сетчатый механический фильтр, биофильтр конструктивного типа «биореактор» с загрузкой гранулированного полиэтилена и бактерицидные лампы для обеззараживания воды. Для насыщения воды

кислородом использовался баллон с техническим кислородом по ГОСТ 5583-78, аэраторы распылители (спеченный камень).

Работа по выращиванию судака до товарной массы осуществлялась на базе промышленной УЗВ предприятия ООО «ТПК Балтптицепром», с которым у ФГБОУ ВО «КГТУ» заключен договор о проведении работ по разработке новых технологий выращивания разных видов рыб (судак, стерлядь, клариевый сом, форель). В УЗВ сеголетки судака были посажены по достижению ими средней массы 20 г. Транспортировка посадочного материала судака из МРЛ в УЗВ ООО «ТПК Балтптицепром» осуществлялась с использованием полиэтиленовых пакетов в пенопластовых изотермических контейнерах.

Исследования велись в период с сентября 2011 по май 2013 г. Промышленная УЗВ представляла собой модульную систему, каждый блок которой включал в себя шесть пластиковых бассейнов прямоугольной формы объемом 7 м³. В состав технических узлов также входили механический фильтр со стабильным наклонным сетным полотном с ячейей 0,3 мм, дегазатор, биофильтры «кипящего слоя» (биореактор) с загрузкой гранулированного полиэтилена, ультрафиолетовые устройства и конусообразный оксигенатор из нержавеющей стали. Для производства кислорода использовался кислородный генератор Atlas Copco GX11FF (PLC, Nacka, Sweden). Температура воды в установках для выращивания судака поддерживалась за счет нагрева воздуха в помещении с помощью панельных радиаторов отопления. Уровень воды в бассейнах составлял 1 м. Циркуляция воды осуществлялась за счёт двух насосов производительностью 20 м³/ч. Ежедневная подмена воды составляла 10 %. Подробная схема промышленной установки представлена на рисунке 1.

Контроль за температурой воды и содержанием растворенного в воде кислорода проводили ежедневно перед каждым кормлением с помощью оксиметра «Hanna Instruments - 9145» (PLC, Woonsocket, Rhode Island, USA).

Величину водородного показателя и содержание нитратов и нитритов определяли раз в 3 суток с помощью отечественного ионометра «Аквилон И-500» (ООО «НПО Аквилон», Подольск, Россия).

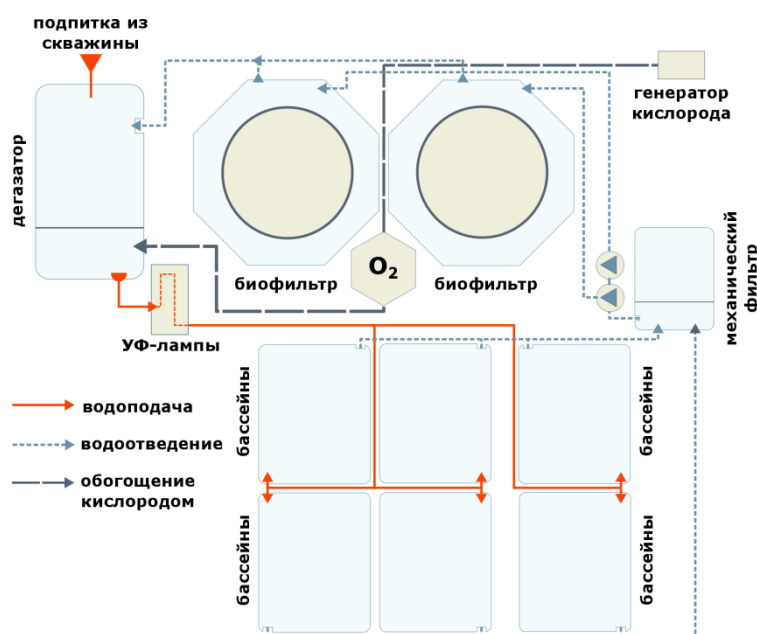


Рисунок 1 - Схема промышленной установки на ООО «ТПК Балтптицепром»

Контрольные взвешивания судака осуществлялись раз в 15 дней на торсионных весах (личиночная стадия) с точностью до 1 мг и электронных весах с точностью до 0,1 г. В промышленной установке рыбу взвешивали раз в месяц. Объем выборки при проведении контрольных обловов составлял 1 % от общего количества рыб в рыбоводной ёмкости.

Для личинок судака, в качестве стартового живого корма, использовали науплии артемии (*Artemia salina*). На этапах выращивания личинок и мальков использовали стартовые корма датской фирмы Aller Aqua (A/S, Christiansfeld, Denmark) следующих рецептур: Aller ArtEX и Aller Futura. При выращивании судака в промышленной УЗВ использовали производственные корма фирм Aller Aqua и Coppens (International bv., Helmond, The Netherlands) следующих рецептур: Aller Bronze 45/15, Aller Trident и Coppens Marico Focus. Размер крупки и гранул изменяли по мере роста рыб. Суточные дозы кормления

устанавливали в соответствии с ранее установленными нормами [Хрусталеv, Дельмухаметов, 2010]. Коррективы в них вносили с учетом поедаемости корма.

Для оценки скорости роста судака использовали показатели общепродукционного коэффициента массонакопления и удельной скорости роста (Specific Growth Rate). Второй, при этом, является общепринятым показателем в зарубежной литературе при проведении точных экспериментов [Hopkins, 1992]. Сама форма уравнения при этом предполагает, что масса рыбы увеличивается в геометрической прогрессии. Это предположение по большей части справедливо для молодежи рыб, выращиваемой в течение короткого периода времени. При этом, согласно наблюдениям ряда зарубежных авторов [Hopkins, 1992; Márquez, 2015], уравнение не подходит для вычисления скорости роста более крупных особей на протяжении длительного периода выращивания.

Общепродукционный коэффициент массонакопления рассчитывали по формуле (1) [Баранов и др., 1979; Купинский, 2007]:

$$K_M = \frac{(\sqrt[3]{M_K} - \sqrt[3]{M_H}) \times 3}{\Delta T}, \quad (1)$$

где M_H и M_K – масса рыб начальная и конечная, г;

ΔT – продолжительность периода выращивания, суток.

В расчетах показателя удельной скорости роста Specific Growth Rate (SGR) используют разность натуральных логарифмов конечной и начальной массы рыб [Щербина, 2006]. Этот показатель рассчитывали по формуле (2):

$$SGR = \frac{(\ln M_t - \ln M_0)}{\Delta T} \times 100, \quad (2)$$

где M_0 и M_t – масса рыб начальная и конечная, г;

ΔT – продолжительность периода выращивания, суток.

Эффективность усвоения питательных веществ оценивали по величине кормового коэффициента, который отражает соотношение количества корма, съеденного рыбами, к приросту единицы массы [Щербина, 2006].

Морфофизиологические анализы проводился путем вскрытия и извлечения внутренних органов (печень, селезенка, сердце) с определением их массы. Для определения индекса внутренних органов использовали метод морфофизиологических индикаторов [Шварц, Смирнова, Добринский, 1968]. Для исследований отбирались клинически здоровые рыбы без видимых повреждений.

Оценку гематологических показателей (концентрация гемоглобина и эритроцитов в крови, общего белка в сыворотке крови и среднее содержание гемоглобина в эритроците) проводили по общепринятым методикам [Серпунин, 2006]. Отлов рыбы производили непосредственно перед проведением исследования - использовались активные и клинически здоровые судаки, без видимых повреждений. Забор крови осуществляли из гемального канала хвостового стебля. Рыбу перед проведением анализов не кормили в течение суток.

В качестве основных иммунологических показателей использовали такие показатели, как бактерицидная активность, концентрацию лизоцима и гамма – глобулинов. Исследования были проведены в лабораторных условиях по модифицированным методикам [Методические указания ... , 1999].

Лабораторные исследования по анализу химического состава тела проводились на кафедре технологий продуктов питания ФГБОУ ВО «КГТУ». Отбор проб для лабораторных испытаний произведен по ГОСТ 7631-85 «Рыба, морские млекопитающие. Морские беспозвоночные и продукты их переработки. Правила приемки, органолептические методы оценки качества, методы отбора проб для лабораторных испытаний». Методы исследования произведены по ГОСТ 7636-85 «Рыба, морские млекопитающие. Морские беспозвоночные и продукты их переработки. Правила приемки, органолептические методы оценки качества, методы отбора проб для лабораторных испытаний».

звоночные и продукты переработки. Методы анализа». Исследовался судак живой и мороженный в количестве шести экземпляров. В образцах исследовались следующие показатели: азот летучих оснований (АЛО), влага, белковые вещества, жир, зола.

Отход судака учитывали ежедневно, методом прямого учёта. Выживаемость рыб выражали в процентах от общего числа наблюдаемых рыб [Щербина, Гамыгин, 2006].

Исследования проводились в двойной повторности. Статистическая обработка данных была выполнена с помощью программного пакета R 3.2.3. Определялись следующие параметры признаков: среднеарифметические значения (M); среднеквадратичное отклонение (σ); стандартная ошибка среднего (m). Для определения достоверности различий использовался метод однофакторного дисперсионного анализа (One-way ANOVA).

В начале периода исследований (25.04.2011 г.) – личинки судака, массой 0,0005 г, были разбиты на 6 групп. Плотность посадки в рыбоводных ёмкостях составляла от 3500 шт/м³ (0,0018 кг/м³) до 10000 шт/м³ (0,0050 кг/м³): 1-я группа 3500 шт/м³ (0,0018 кг/м³); 2-я – 5000 шт/м³ (0,0025 кг/м³); 3-я – 7000 шт/м³ (0,0035 кг/м³); 4-я – 8000 шт/м³ (0,0040 кг/м³); 5-я – 10000 шт/м³ (0,0050 кг/м³); 6-я – 6000 шт/м³ (0,0030 кг/м³).

После 2,5 месяцев выращивания, при достижении рыбой массы (в среднем) 3 г – производилась ее первая сортировка. После нее, плотность посадки в бассейнах составила: 1-я группа 1200 шт/м³ (3,6 кг/м³); 2-я – 1300 шт/м³ (3,9 кг/м³); 3-я – 1500 шт/м³ (4,5 кг/м³); 4-я – 1600 шт/м³ (4,8 кг/м³); 5-я – 1950 шт/м³ (5,8 кг/м³); 6-я - 1400 шт/м³ (4,2 кг/м³).

При такой плотности посадки рыба находилась в бассейнах МРЛ до 10 сентября, а затем по достижению ею средней массы 20 г – всех сеголетков судака перевели на промышленную установку ООО «ТПК Балтптицепром» и разбили на 4 группы. Плотность посадки составляла: 1-я группа – 100 шт/м³

(2,0 кг/м³); 2-я – 225 шт/м³ (4,5 кг/м³); 3-я – 285 шт/м³ (5,7 кг/м³); 4-я - 250 шт/м³ (5,0 кг/м³)

В конце декабря – произвели сортировку рыбы на три размерные группы: мелкие, со средней массой - 48 г и плотностью посадки 140 шт/м³ (6,7 кг/м³); средние - 757 г, 190 шт/м³ (14,6 кг/м³); крупные - 89 г, 130 шт/м³ (11,6 кг/м³).

11.04.2012 г. – выполнялись работы по пересадке рыбы из одной установки в другую с последующей сортировкой на четыре размерные группы (мелкие, средние, крупные и очень крупные). Плотность посадки в бассейнах составляла от 50 шт/м³ (3,0 кг/м³) до 160 шт/м³ (22,4 кг/м³). Так у мелких она была 50 шт/м³ (3,0 кг/м³), у средних – 120 шт/м³ (12,6 кг/м³), у крупных 160 шт/м³ (22,4 кг/м³), у очень крупных – 90 шт/м³ (17,1 кг/м³), при средней массе 60 г, 105 г, 140 г и 190 г соответственно.

22 июня в связи с достижением одинаковой средней массы у рыб в размерных группах мелкие и средние были объединены в одну группу. Плотность посадки составила 155 шт./м³ (17,8 кг/м³).

30 августа 2012 г. произвели рассадку рыбы. Из двух размерных групп (средние и крупные) рыбы были рассортированы и рассажены по разным бассейнам. Плотность посадки в бассейнах составляла от 65 до 85 шт./м³ или от 13,7 до 30,6 кг/м³. При такой плотности посадки рыба выращивалась в бассейнах до конца периода исследований (апрель 2013 г.).

На протяжении всего эксперимента судаки выращивались при плотностях посадки соответствующих, на основании литературных источников, оптимальным [Dalsgaard et al., 2013; Zakęś et al., 2006].

2.2 Исследования по оценке видимой переваримости экспериментальных кормов

В исследованиях по оценке видимой переваримости экспериментальных кормов объектом исследования послужил судак в возрасте 1 года, которые поступили из коммерческого хозяйства Fischzucht Rietschen GmbH (г.

Ричен, Свободное государство Саксония, Германия). Транспортировка осуществлялась в живорыбной машине.

Первоначально вся рыба была рассажена по бассейнам объемом 300 л для адаптации после транспортировки. Кормление осуществлялось ежедневно рецептурой Aller Metabolica, суточная доза составляла 0,4 % от массы тела. Для профилактики от эктопаразитов соленость воды увеличили до 2-3 ‰.

После периода адаптации рыбу перевели в экспериментальную установку для сбора фекалий (экскрементов). Установка включает в себя 10 цилиндрических бассейнов (объемом 250 л каждый), сужающихся к основанию. В основании имеется пластиковая труба, соединенная с устройством для сбора фекалий, которое расположено под бассейном. Ток воды в трубе при этом регулируется посредством маленького вентиля. Помимо бассейнов, имеются два механических фильтра с перегородками из поролона (Hamburger Mattenfilter), биофильтры с плавающей загрузкой, кулеры для поддержания постоянной температуры воды (Titan 4000, АВ Aqua Medic, GmbH, Bissendorf, Germany), насосы, аэраторы распылители (спеченный камень). Помимо аэраторов, вода насыщалась техническим кислородом (3,5 л/мин). Объем установки составляет 3,84 м³. Подробная схема представлена на рисунке 2.

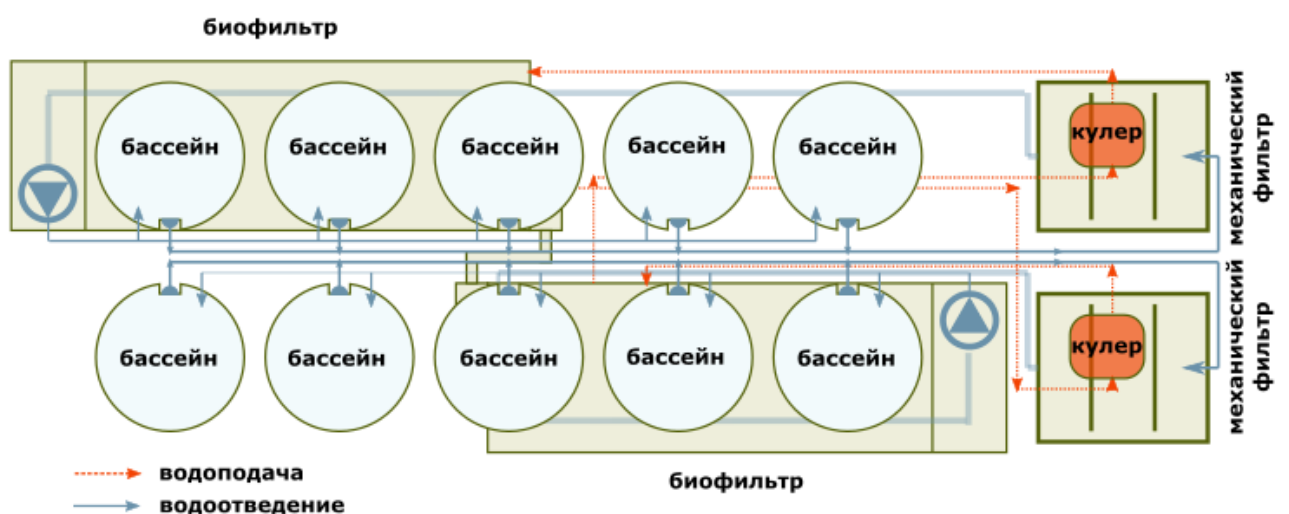


Рисунок 2 – Схема экспериментальной установки для сбора фекалий

Стоит отметить, что использование такой установки также позволило определить скорость прохождения пищи в кишечнике рыбы.

Устройства для сбора фекалий (экскрементов) расположены под каждым бассейном и оснащены двумя верхними стержнями, вращающихся посредством электродвигателя и двумя нижними стержнями натяжения (рисунок 3).

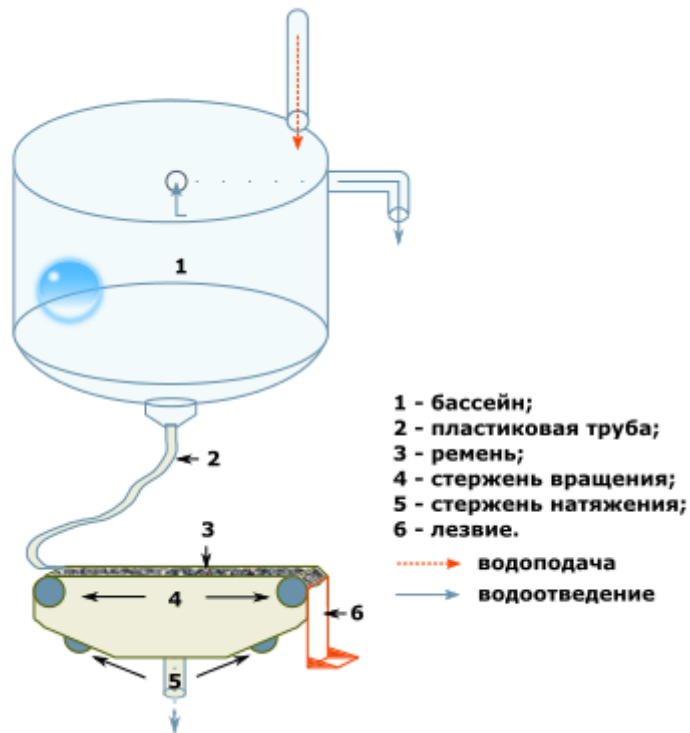


Рисунок 3 – Устройство для сбора экскрементов

На самом устройстве закреплен ремень с ячейей 200 мкм. Таким образом, вода (поступающая из пластиковой трубы, соединенной с бассейном) свободно проходит через ячейю ремня, оставляя на последнем фекалии, и далее поступает в биофильтр, тем самым продолжая циркуляцию. На одной стороне устройства расположено лезвие для сбора фекалий. За счет вращающихся стержней, ремень двигается непосредственно к лезвию, которое соскребает фекалии с ремня. При этом нижние стержни держат натяжение, тем самым фиксируя ремень и обеспечивая плавное движение его вокруг устрой-

ства. Данное устройство является модернизированным аналогом устройства для сбора экскрементов разработанного Дж. Шубертом [Choubert et al., 1982]

Для оценки переваримости кормов у рыб в зависимости от заданных факторов используется коэффициент (или показатель) видимой переваримости корма (Apparent digestibility coefficient), отражающий разность между количеством съеденных рыбами питательных веществ корма и веществ, выделенных с экскрементами, отнесенную к съеденному корму. Применение термина «видимая» обусловлено присутствием в экскрементах, помимо непереваренных остатков, пищеварительных соков, слущивающегося эпителия, ферментов, микрофлоры, эндогенных выделений, которые в совокупности занижают реальную переваримость пищи [Щербина, Гамыгин, 2006; Maynard, Loosli, 1979; Bureau, Hua, 2006].

В качестве тестовых ингредиентов для эксперимента были выбраны: концентрат соевого белка (КСБ), изолят горохового белка (ИГБ), изолят пшеничного глютена (ИПГ) и изолят рапсового белка (ИРБ). Питательный состав исследуемых ингредиентов в сравнении с рыбной мукой приведен в таблице 1.

Эксперимент основан на общепринятом методе С. Cho и D. Bureau [Bureau, Cho, 1999]: тестовый ингредиент в объеме 30 % включается в состав базового корма, имеющего только необходимые компоненты, образуя соотношение 70:30.

При определении видимой переваримости использовали метод инертных веществ. Сущность метода заключается во введении в корм в определенных количествах непереваримых (инертных) веществ, по концентрации которых в кормах и фекалиях судят о количестве питательных веществ, всасывающихся в кишечнике [Щербина, Гамыгин, 2006]. В качестве инертного вещества, или маркера, в нашем эксперименте использовался диоксид титана (TiO_2). Он безопасен в применении, не участвует в процессах обмена и легко определяется при химическом анализе.

Таблица 1 - Питательный состав ингредиентов

Питательное вещество	Рыбная мука ¹	Концентрат соевого белка ²	Изолят горохового белка ³	Изолят пшеничного глютена ⁴	Изолят рапсового белка ⁵
Содержание сухого вещества, %	93,6	91,9	92,2	92,0	93,3
Белки, % от сухого вещества	69,6	61,5	84,2	84,4	79,9
Жиры, % от сухого вещества	10,7	3,1	10,4	6,9	3,3
Углеводы, % от сухого вещества	1,6	27,4	1,5	7,8	13,4
Зола, % от сухого вещества	18,2	2,3	3,8	0,9	3,4
Валовая энергия (МДж/кг сухого вещества)	20,9	20,4	24,4	23,7	22,5
¹ Herring fish meal, Bioceval GmbH & Co KH, Cuxhaven, Germany ² Soy protein concentrate HP 300, Hamlet Protein A/S, Horsens, Denmark ³ Pea protein isolate Empro E 86, Emsland Group, Emlichheim, Germany ⁴ Wheat gluten isolate KRÖNER STÄRKE GmbH, Ibbenbüren, Germany ⁵ Rapeseed protein isolate BioExx, Toronto, ON, Canada					

В рамках эксперимента было разработано пять экспериментальных кормов: четыре кормовых рецептуры включали соответствующий тестовый ингредиент и одна базовая рецептура, не включающая в себя ни одного исследуемого ингредиента, а только основные кормовые компоненты: рыбную муку, рыбий жир, крахмал, наполнитель, желатин, витаминный и минеральный премиксы, инертный маркер (TiO₂). Все кормовые смеси были сбалансированы по аминокислотному составу согласно потребности судака [Jarmołowicz, Zakęś, 2014].

При разработке экспериментальных рецептур, за основу был взят корм Marico Mistral производства Coppens, питательный состав которого наиболее соответствует потребностям окуневых рыб, в частности, судака.

Состав экспериментальных кормов представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Ингредиентный состав экспериментальных кормов

Ингредиенты, %	Корм БК	Корм КСБ	Корм ИГБ	Корм ИПГ	Корм ИРБ
Концентрат соевого белка (КСБ)	0	30	0	0	0
Изолят горохового белка (ИГБ)	0	0	30	0	0
Изолят пшеничного глютена (ИПГ)	0	0	0	30	0
Изолят рапсового белка (ИРБ)	0	0	0	0	30
Базовые компоненты (БК):	100	70	70	70	70
Рыбная мука	68,60	48,02	48,02	48,02	48,02
Рыбий жир	6,90	4,83	4,83	4,83	4,83
Крахмал	14,70	10,29	10,29	10,29	10,29
Наполнитель	4,90	3,43	3,43	3,43	3,43
Желатин	2,00	1,4	1,4	1,4	1,4
Витаминный и минеральный пре-миксы	1,96	1,38	1,38	1,38	1,38
Инертный маркер (TiO ₂)	0,98	0,69	0,69	0,69	0,69

Для эксперимента было произведено 15 кг каждого корма. Все ингредиенты последовательно замешивали в пластиковой таре, поэтапно добавляя рыбий жир. Получившуюся смесь впоследствии просеивали несколько раз с помощью сита, тем самым, обеспечивая ее однородность.

Корма были произведены методом прессования с использованием гранулятора Amandus Kahl, Type 14-175 (Hamburg, Germany). Диаметр полученных гранул - 4 мм. В течение эксперимента все экспериментальные корма хранились при температуре 4 °С.

Анализ питательного состава кормов и экскрементов проводили в лаборатории исследовательского института GMA - Gesellschaft für Marine Aquakultur mbH по общепринятой в Европе методике Веенде [Osborne, Voogt, 1978]. Для определения содержания инертного маркера пробы отправляли в лабораторию LUFA-ITL GmbH (г. Киль, Германия). Питательный состав кормов представлен в таблице 3.

Таблица 3 - Питательный состав экспериментальных кормов

Питательное вещество	Корм БК	Корм КСБ	Корм ИГБ	Корм ИПГ	Корм ИРБ
Содержание сухого вещества, %	91,6	91,4	92,1	92,0	93,1
Белки, % от сухого вещества	51,5	53,6	61,5	61,3	59,6
Жиры, % от сухого вещества	15,4	11,1	13,0	11,7	10,5
Углеводы, % от сухого вещества	17,0	21,7	12,9	18,0	20,3
Зола, % от сухого вещества	16,0	13,6	12,5	9,0	9,9
Валовая энергия (МДж/кг сухого вещества)	20,9	20,5	21,7	21,9	21,6

Эксперимент был разбит на два этапа. Первый этап проходил с июня по июль 2015 г. В каждый бассейн было посажено 17 рыб, средней массой $270,0 \pm 0,5$ г. Плотность посадки составила $18,4 \text{ кг/м}^3$. Исследования проводились в тройной повторности: в трех бассейнах рыбу кормили кормом КСБ, в других трех – кормом ИГБ, в последних трех – кормом БК. Десятый бассейн был предназначен для резерва.

После первого этапа проводился отдельный эксперимент по оценке времени переваривания пищи у судака путем окрашивания экспериментальных кормов жидкими пищевыми красителями, что является достаточно экономичным способом [Corazza, Nickum, 1983]. Для этого использовали те же экспериментальные корма (корм БК, корм с КСБ, корм с ИГБ), гранулы, которых окрасили пищевой краской. Опыт проводился в течение четырех дней. Этого вполне достаточно, чтобы получить представление о времени транзита пищи в пищеварительном тракте. В ряде других работ аналогичные исследования проводились в течение одного-трех дней [Svier et al., 1999; Adamidou et al., 2009, Dias et al., 2010]. Гранулы корма БК были окрашены в зеленый, оранжевый, синий цвета; гранулы корма КСБ в красный, синий, оранжевый;

гранулы корма ИГБ в красный, зеленый и оранжевый цвета на 1-й, 2-й и 3-й день соответственно. В последний день гранулы не окрашивали.

Второй этап эксперимента по оценке видимой переваримости кормов судаком проходил с августа по октябрь 2015 г. В каждый бассейн было посажено 14 рыб, средней массой $320,0 \pm 0,5$ г. Плотность посадки, как и на первом этапе эксперимента, составила $18,4 \text{ кг/м}^3$. Исследования проводились в тройной повторности: три бассейна кормили кормом ИПГ, три бассейна кормом ИРБ и три бассейна кормом БК. На первом и втором этапах эксперимента рыбу кормили вручную один раз в день с 8:00 до 9:40 утра. После кормления сразу же производилась чистка бассейнов, все несъеденные гранулы извлекали с помощью сифона. Сбор экскрементов начали осуществлять на третий день после начала эксперимента. Для проведения химических анализов необходимо было собрать минимум 120 г фекалий с каждого бассейна, на сбор такого количества на первом этапе ушло 54 дня, на втором 52 дня. На протяжении эксперимента все пробы с экскрементами хранились в морозильной камере при температуре минус 20°C .

Для расчета коэффициента видимой переваримости экспериментальных кормов использовали формулу Maynard и Loosli (3) [Maynard, Loosli, 1979]:

$$ADC_{diet} = 1 - \frac{\text{marker in feed} \times \text{nutrient content of feces}}{\text{marker in feces} \times \text{nutrient content of feed}}, \quad (3)$$

где ADC_{diet} – коэффициент видимой переваримости корма;

marker in feed – процент инертного вещества в корме;

marker in feces – процент инертного вещества в экскрементах;

nutrient content of feed – процент питательного вещества в корме;

nutrient content of feces – процент питательного вещества в экскрементах.

тах.

Для расчета коэффициента видимой переваримости тестовых ингредиентов использовали формулу Bureau и Hua (4) [Bureau, Hua, 2006]:

$$ADC_{test\ ingredient} = ADC_{test\ diet} + \left((ADC_{test\ diet} - ADC_{ref\ diet}) \times \left(0.7 \times \frac{D_{ref}}{0.3 \times D_{ingredient}} \right) \right) \quad , (4)$$

где $ADC_{test\ ingredient}$ - коэффициент видимой переваримости тестового ингредиента;

$ADC_{test\ diet}$ - коэффициент видимой переваримости корма с тестовым ингредиентом;

$ADC_{ref\ diet}$ - коэффициент видимой переваримости корма, не включающего исследуемый тестовый ингредиент;

D_{ref} - процентное содержание питательных веществ (или ккал/г валовой энергии) в корме, не включающего исследуемый тестовый ингредиент;

$D_{ingredient}$ - процентное содержание питательных веществ (или ккал/г валовой энергии) в тестовом ингредиенте.

Весь собранный материал обрабатывался статистически с помощью программного пакета SPSS 20. Проверку выполнения нормального закона распределения проводили с помощью теста Колмогорова-Смирнова, выполнение допущения об однородности дисперсий проверяли с помощью критерия Ливена (Levene's Test). Для определения достоверности различий использовался метод однофакторного дисперсионного анализа (One-way ANOVA или Analysis of Variance). [Мастицкий, Шитиков, 2015; Bhujel, 2008]. Достоверными принимали различия при $p \leq 0,05$.

2.3 Схема проведения исследований

На рисунке 4 приведена общая схема проведения исследований.



Рисунок 4 – Программно-целевая модель исследования

При разработке биотехники выращивания посадочного материала для измерения массы было взято 700 личинок судака. Количество разновозрастной молоди и взрослых особей судака, использованных в ходе разработки биотехники товарного выращивания, составило 2950 экземпляров. Общее

количество использованного в исследованиях материала представлено в таблице 4.

Таблица 4 – Объем исследуемого материала, шт

Направление исследований	Размерно-возрастная группа				
	Личинки	Мальки	Молодь до 20 г	Молодь до 300 г	Товарная рыба
Оценка рыбоводных показателей	700	400	400	1150	1000
Морфофизиологическая характеристика	-	-	-	45	-
Оценка гематологического статуса	-	-	-	-	25
Оценка иммунологического состояния	-	-	-	-	50
Химический анализ	-	-	-	-	12

3 БИОТЕХНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВЫРАЩИВАНИЯ ПОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА СУДАКА

3.1 Температурный и гидрохимический режим в опытной УЗВ

Динамика температуры воды и содержание растворенного в воде кислорода в бассейнах УЗВ МРЛ «КГТУ» представлена на рисунке 5.

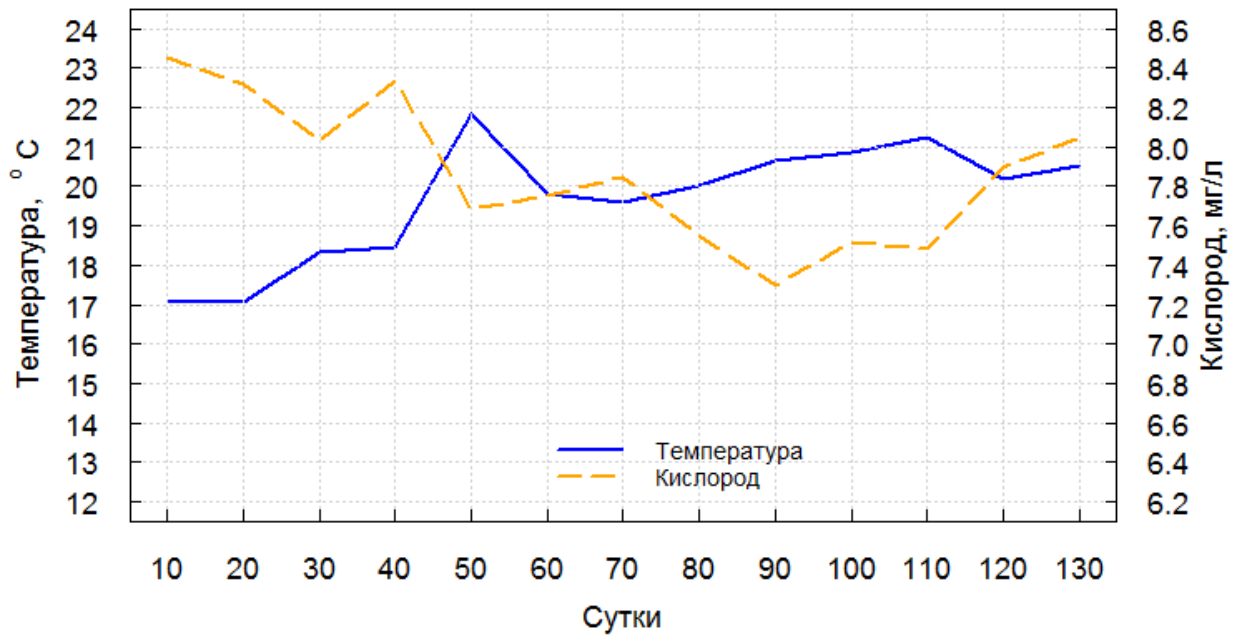


Рисунок 5 – Динамика температуры и содержания растворенного в воде кислорода в бассейнах УЗВ МРЛ «КГТУ»

Температура воды в данный период исследований (с апреля по сентябрь 2011 г.) колебалась от 17,1 до 21,8 °С. Среднее её значение составило $19,7 \pm 0,4$ °С. Результаты исследований немецких ученых [Hilge, 1990] показывают, что молодь судака демонстрирует высокий темп роста при температуре выше 20 °С. При этом, в ряде других исследований отмечается, что наиболее высокая скорость роста у молоди судака может быть достигнута при температуре 25-30 °С [Kestemont et al., 2003; Ronyai, Csengeri, 2008; Wang et al., 2009; Willemsen, 1978]. Тем не менее, как показали недавние исследования датских ученых [Frisk et al., 2012] оптимальный температурный диапазон для судака может варьировать в пределах от 10 до 27 °С. Как отме-

чают авторы, широкий температурный оптимум связан с определенными формами поведения судака в естественной среде: в течение дня они обитают на дне, но в ночное время устремляются в более теплые мелководные зоны, где активно охотятся за своей добычей.

В нашем исследовании, относительно низкие значения температуры воды (от 17,1 до 18,5 °С) в первый месяц выращивания отразились на скорости роста рыбы. Так, при данных значениях температуры скорость роста была в 1,5 раза ниже, чем при 20-22 °С, которые мы отмечали в последующие месяцы выращивания [Пьянов, 2012].

Известно, что изменение температуры воды вызывает изменение интенсивности обмена веществ у рыбы. С повышением температуры воды потребность рыб в кислороде увеличивается, скорость его потребления растет и кислородная емкость крови возрастает благодаря увеличению количества эритроцитов и содержания гемоглобина в одном эритроците [Лав, 1976]. Однако исследования по форели показали, что низкая температура воды на этапе выдерживания предличинок и начальный период выращивания личинок способствует более качественному протеканию органогенеза [Хрусталеv, 1986].

Содержание растворенного в воде кислорода в среднем за период выращивания в опытной установке изменялось от 7,30 (август) до 8,45 (апрель) мг/л (среднее значение составило $7,86 \pm 0,10$ мг/л). Незначительное понижение этого показателя с 8,33 до 7,68 мг/л в конце апреля (50 день выращивания) и до 7,30 к середине июля (90-й день выращивания), связаны с естественным повышением температуры воздуха в весенне-летний период и как следствие повышением температуры воды в установке. При этом следует учитывать, что оптимальные значения содержания кислорода для судака колеблются в пределах от 6 до 8 мг/л [Dalsgaard et al., 2013]. В нашем случае, сколь-нибудь заметного влияния содержания растворенного в воде кислорода на рост молоди судака установлено не было. Повышенное его содержание

(8,45 мг/л) в начале выращивания не привело к изменению скорости роста и не повлияло на физиологическое состояние молоди.

Значения водородного показателя (рН) за время выращивания посадочного материала не превышали 7,50 и в среднем составляли $7,10 \pm 0,05$. Значения находились в пределах нормы 6,5-7,5 [Dalsgaard et al., 2013; Schlumpberger, Schmidt, 1980]. Минимальное значение рН 6,9 было отмечено в конце исследовательского периода. Таким образом, на протяжении всего периода выращивания посадочного материала на экспериментальной УЗВ МРЛ «КГТУ» преобладала благоприятная для судака, нейтральная реакции среды. Известно, что в УЗВ область закисления воды – биофильтр. Все остальные узлы (механический фильтр, дегазатор, бассейны) способствуют защелачиванию воды [Проскуренко, 2003]. Наши данные по величине рН подтверждают высокую эффективность работы биофильтра.

Динамика водородного показателя воды в ходе экспериментов приведена на рисунке 6. Красными штриховыми линиями на рисунке отмечены оптимальные для судака значения рН.

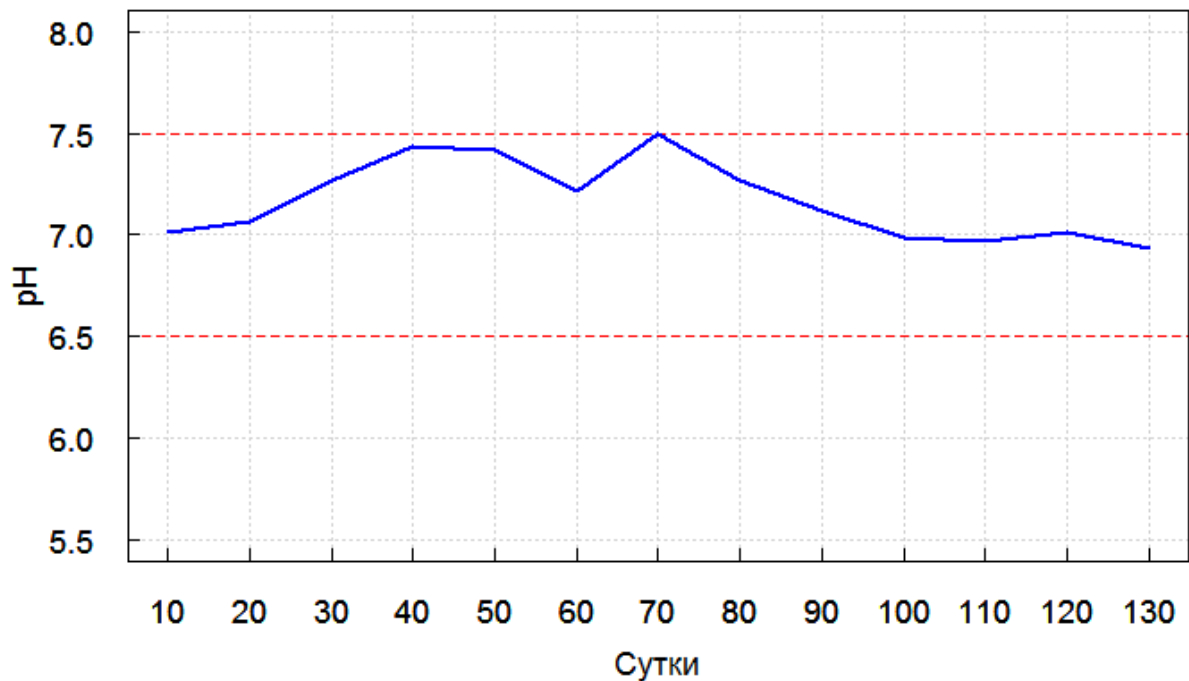


Рисунок 6 – Динамика водородного показателя воды в бассейнах УЗВ МРЛ «КГТУ»

Концентрация нитритов в воде держалась на стабильном уровне $0,10 \pm 0,02$ мг/л. Уровень освещенности составлял 50 люкс, что в два раза ниже, чем в предыдущих экспериментах, проводимых отечественными исследователями [Королев, 2000].

3.2 Оценка скорости роста

При выращивании посадочного материала судака можно выделить два этапа. Выращивание от момента завершения вылупления до средней массы 3 г; затем сортировка рыбы и выращивание посадочного материала средней массой 20 г. В рамках эксперимента нами рассматривались особенности скорости весового роста и жизнестойкости молоди судака. Оценивалось влияние плотности посадки на рост.

Об изменении массы рыб за период выращивания посадочного материала судака на МРЛ «КГТУ» можно судить по данным таблицы 5. Здесь и далее данные приведены по шести отдельным группам. Аббревиатура каждой группы соответствует определенной плотности посадки: очень низкая плотность посадки ОНПП ($0,0018$ кг/м³ для личинок; $3,6$ кг/м³ для мальков) соответствует 1-й группе, низкая плотность посадки НПП ($0,0025$ кг/м³; $3,9$ кг/м³) – 2-й группе, средняя плотность посадки СПП ($0,0035$ кг/м³; $4,2$ кг/м³) – 3-й группе, высокая плотность посадки ВПП ($0,0040$ кг/м³; $4,8$ кг/м³) – 4-й группе, очень высокая плотность посадки ОВПП ($0,0050$ кг/м³; $5,8$ кг/м³) – 5-й. 6-я группа с плотностью посадки $0,0030$ кг/м³; $4,5$ кг/м³ была выбрана в качестве контрольной группы (КПП).

За 4 месяца выращивания, наибольшей массы достигли рыбы 1-й группы – $27,40 \pm 1,02$ г. Наименьшая масса отмечена у рыб 5-й группы – $15,50 \pm 0,92$ г. Средняя масса по всем группам составила $21,25 \pm 1,58$ г. Динамику изменения массы (по осредненным данным) можно проследить на рисунке 7.

Таблица 5 – Результаты выращивания посадочного материала, масса тела, г ($M \pm m$, $n=25$)

Сутки	Группы					
	1 – ОНПП	2 – НПП	3 - СПП	4 - ВПП	5 - ОВПП	6 - КПП
0	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
30	0,050±0,003	0,050±0,003	0,050±0,002	0,033±0,001	0,028±0,001	0,050±0,003
45	0,40±0,04	0,35±0,05	0,33±0,03	0,25±0,03	0,20±0,02	0,32±0,03
60	0,90±0,04	0,82±0,03	0,78±0,04	0,69±0,03	0,62±0,04	0,76±0,02
75	3,90±0,14	3,30±0,25	2,90±0,10	2,60±0,21	2,10±0,19	2,80±0,17
90	9,80±0,20	8,20±0,31	7,50±0,24	7,00±0,33	5,20±0,40	7,30±0,26
105	22,50±0,35	17,50±0,34	16,20±0,39	15,30±0,47	12,00±0,43	16,00±0,30
120	27,40±1,02	22,50±0,65	21,50±0,57	19,80±0,49	15,50±0,92	20,80±0,62

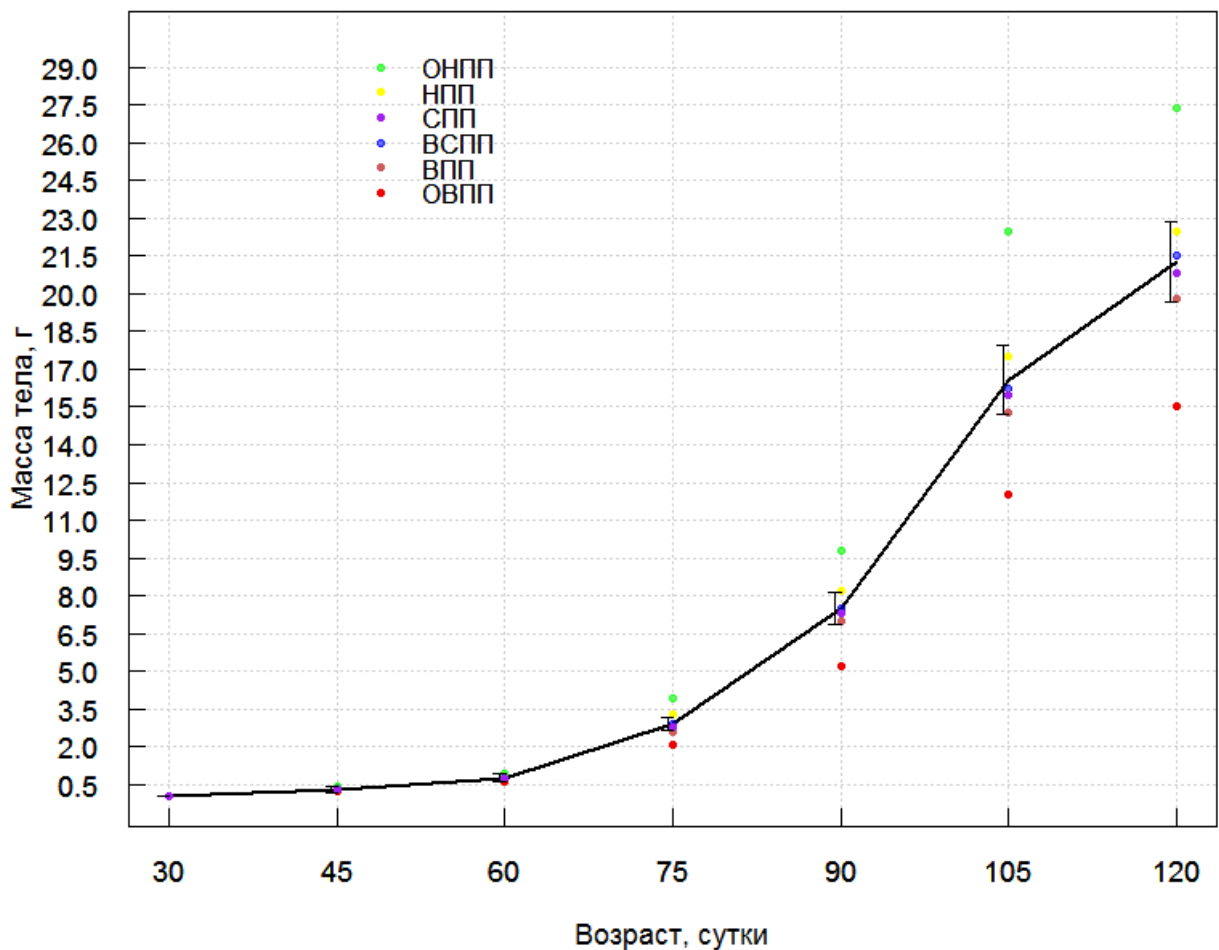


Рисунок 7 – Весовой рост молоди судака

В таблице 6 для каждой группы приведены все рассчитанные значения общепродукционного коэффициента массонакопления (K_M).

Таблица 6 – Значения общепродукционного коэффициента массонакопления

Сутки	Группы					
	1 – ОНПП	2 - НПП	3 - СПП	4 - ВПП	5 - ОВПП	6 - КПП
0-30	0,037	0,037	0,037	0,032	0,031	0,037
30-45	0,074	0,066	0,062	0,050	0,052	0,062
45-60	0,046	0,048	0,048	0,050	0,052	0,046
60-75	0,120	0,110	0,102	0,100	0,086	0,100
75-90	0,114	0,105	0,106	0,106	0,090	0,106
90-105	0,132	0,113	0,116	0,118	0,114	0,118
105-120	0,044	0,050	0,048	0,042	0,040	0,042
120-135	0,026	0,032	0,036	0,034	0,026	0,036

Изменения K_m в каждой исследованной группе представлены в виде гистограммы на рисунке 8.

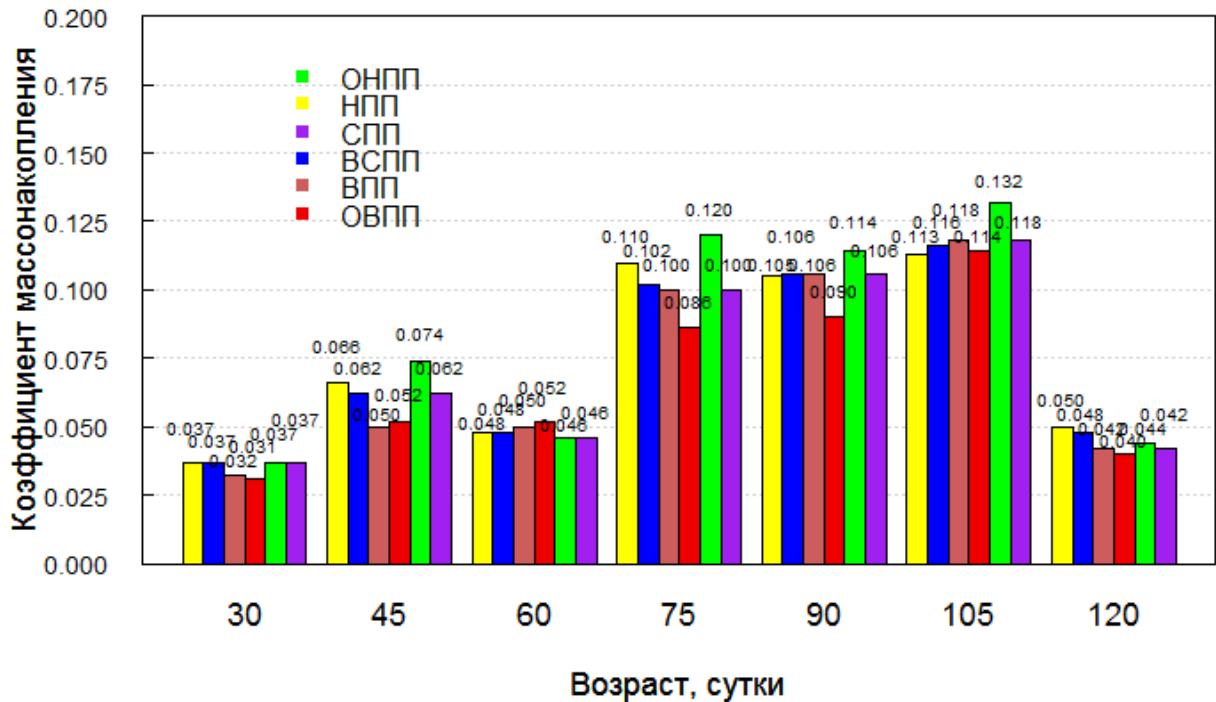


Рисунок 8 – Динамика значений общепродукционного коэффициента массонакопления судака в период выращивания на МРЛ «КГТУ»

Максимальное значение K_m (0,132) было отмечено в возрасте 105 суток у рыб из группы ОНПП, минимальное (0,031) у рыб из группы ОВПП в начале периода выращивания.

Наибольшая скорость роста молоди судака отмечалась в период 60-105 суток. В среднем, во всех группах приближалась по величине коэффициента массонакопления к 0,1. То, что в предшествующий период, особенно в первый месяц выращивания, величина показателя скорости роста была существенно ниже, говорит о том, что организм личинок в этот период претерпевает существенные качественные преобразования, и большая часть обменной энергии расходуется на процессы, связанные с морфофункциональной перестройкой, т.е. с развитием органов у личинок при переходе с личиночного этапа развития C_1 к этапу C_2 [Королев, 2012].

Как следует из рисунка 8 и таблицы 6, наибольшей массы достигли судаки с очень низкой плотностью посадки (1-я группа ОНПП), а наименьшей – с очень высокой (5-я группа ОВПП). В конце эксперимента (120 сутки), практически у всех групп рыб четко прослеживалась зависимость конечной массы тела с плотностями посадки.

То, что в мае скорость роста судака не достигала значений, отмеченных для последующего периода, согласуется с температурой воды, которая плавно повышалась от 17 до 18,5 °С (рисунок 5). А как отмечает М. Шкудлярек [2007] наибольшая скорость роста ранней молоди судака в опытах достигнута при температуре 22 °С. При температуре 18 °С скорость роста в три раза ниже, чем при 22 °С и в 1,5 раза, чем при 20 °С. Эти данные дают основание считать, что достигнутые нами результаты по выращиванию молоди судака в первые 4 месяца с начала кормления рыб не отражают возможности реализации более высокой ростовой потенции [Хрусталева и др., 2013]. Тем не менее, показательно, что уже в возрасте 105 сут молодь судака достигла средней массы 15-22 г при средней для всех групп величине 20 г.

В таблице 7 для каждой группы приведены все рассчитанные значения удельной скорости роста.

На этапе выращивания личинок высокая удельная скорость роста обычно связана с качеством корма и плотностью посадки [Дельмухаметов,

Пьянов, 2014]. Наименьшее значение удельной скорости роста на 75 сутки выращивания отмечено в 5-й группе – 11,124 %/сут, наибольшее в 1-й – 11,949 %/сут. Такая же тенденция наблюдалась и на последующем этапе выращивания при 8,618 и 9,093 %/сут в группах ОВПП и ОНПП соответственно.

Таблица 7 – Значения удельной скорости роста при выращивании посадочного материала судака, %/сут

Сутки	Группы					
	1 – ОНПП	2 - НПП	3 - СПП	4 - ВПП	5 - ОВПП	6 - КПП
0-75	11,949	11,726	11,554	11,409	11,124	11,507
75-120	9,093	8,929	8,891	8,822	8,618	8,863

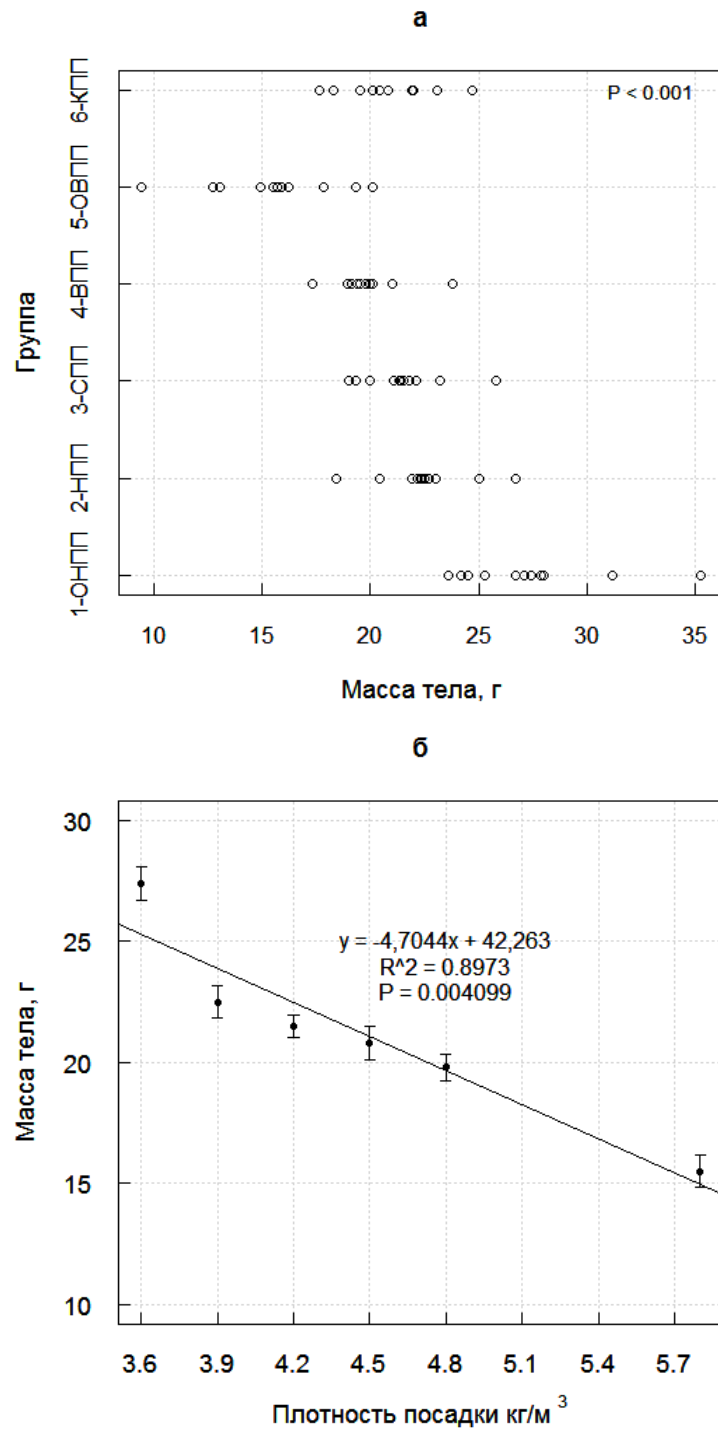
Стоит отметить, что согласно данным А. Б. Дельмухаметова [2012], в схожем эксперименте по выращиванию посадочного материала судака в УЗВ значение удельной скорости роста молоди составило 4,02%, что более чем в 2 раза ниже полученных нами значений.

Для определения достоверности различий использовался метод однофакторного дисперсионного анализа (One-way ANOVA). Изучалось действие одного фактора – плотности посадки (с 6-ю уровнями: КПП, ОНПП, НПП, СПП, ВПП, ОВПП) на переменную-отклик – конечная масса рыб. Утверждение нулевой гипотезы основывалось на том, что наблюдаемые различия между групповыми средними несущественны и вызваны влиянием случайных факторов [Мастицкий, Шитиков, 2015].

На рисунке 9 изображена зависимость между плотностью посадки и весовым ростом при выращивании мальков в виде одномерной диаграммы рассеяния (а) и линейной регрессии (б).

Как видно из рисунка 9, группы точек, отражающие экспериментальные данные значительно раздвинуты вдоль оси абсцисс. Для оценки различий между группами сравнивался разброс групповых средних с разбросом значений внутри групп. Рассчитанные значения уровня значимости оказались

низкими ($p < 0,001$). С достаточно высокой степенью уверенности можно утверждать, что плотность посадки оказывает влияние на весовой рост.



а – одномерная диаграмма рассеивания

б – линейная регрессия

Рисунок 9 – Зависимость между весовым ростом и плотностью посадки судака

Подтверждением сделанных выводов является анализ линейной регрессии (рисунок 9 - б), который показал, что существует четкая обратная зависимость между шестью различными плотностями посадки и весовым ростом.

3.3 Оценка эффективности кормления и жизнестойкости молоди судака

Кормовой коэффициент отражает эффективность преобразования корма в массу тела. Причины увеличения его значений, как правило, связаны с биотическими условиями, такими как переуплотненная посадка, качество корма, некорректно установленные суточные дозы. При этом следует учитывать, что отсутствие полноценных стартовых кормов сдерживает разведение судака в условиях аквакультуры, в том числе и получение качественного посадочного материала для зарыбления естественных водоемов [Остроумова, 2012].

В качестве стартового живого корма нами использовались нуплии артемии. Данный вид зоопланктона часто используют при выращивании личинок рыб как в промышленной аквакультуре, так и при проведении экспериментов. Как показывают исследования, при кормлении науплиями *Artemia salina* у личинок судака наблюдаются высокие показатели выживаемости и роста, а состав жирных кислот полностью удовлетворяет потребности в них рыбы [Гамыгин и др., 1992; Королев, 2000; Ostaszewska, Voruta, 2006].

На 18-е сутки после вылупления - личинок переводили на питание искусственным кормом. Это было обосновано тем, что лишь при длине 17 мм (этап E) у судака отмечается образование желудка и пилорических придатков. Как отмечает И.Н. Остроумова [2012], с формированием желудка и желудочных желез у судака появляется возможность осуществлять пищеварительный процесс, свойственный взрослым особям, т.е. вначале предварительная кислая пепсиновая обработка белка пищи в желудке и затем завер-

шение переваривания щелочными протеолитическими ферментами в кишечнике. В связи с новой способностью усваивать белковую пищу на данном этапе возрастает возможность адаптации к искусственным кормам. Также известно, что попытки выращивания личинок судака с первых дней питания на искусственных кормах приводят к 100 %-й их гибели, а при использовании кормовой смеси, состав которой на 50 % состоит из естественного продукта (протертые декапсулированные яйца артемии) выживаемость не превышает 4,3% [Королев, 2000; Остроумова, 2012].

При выращивании посадочного материала для всех исследуемых групп рыб на каждом этапе были установлены фиксированные суточные дозы. При кормлении рыб науплиями артемией суточная доза корма составляла 70% от массы тела, однако фоновое присутствие стартового искусственного корма было с трех суток выращивания, что позволило выработать у личинок положительную реакцию на запаховый фон корма [Дельмухаметов и др., 2013].

По мере введения в рацион питания стартового искусственного корма суточные дозы снижались и составляли: при массе от 0,03 до 0,2 г – 10 %, от 0,3 до 0,9 г – 7 %, от 1 до 10 г – 5 %, от 10 до 20 г – 3-4 %.

В таблице 8 для каждой группы приведены значения кормового коэффициента за весь исследуемый период.

Более низким значениям кормового коэффициента (0,5 и 0,68) соответствовала плотность посадки личинок 3,5 тыс. шт/м³ (0,0018 кг/м³), мальков – 1,2 тыс. шт/м³ (3,6 кг/м³) в группе 1 - ОНПП. Более высоким 1,20 и 1,12 – соответственно 8 тыс. шт/м³ (0,0040 кг/м³) и 1,6 тыс. шт/м³ (4,8 кг/м³) в группе 5 - ОВПП (рисунок 10).

Наибольшее значение кормового коэффициента отмечено у группы рыб с очень высокой плотностью посадки (ОВПП), оно составило - 1,2. Наименьшее значение - 0,5, отмечено для рыб в группах ОНПП и КПП в начале исследовательского периода.

Таблица 8 – Значения кормового коэффициента при выращивании посадочного материала судака

Сутки	Группы					
	1 - ОНПП	2 – НПП	3 - СПП	4 - ВПП	5 - ОВПП	К - СПП
0-30	0,50	0,68	0,68	0,71	0,90	0,50
30-45	1,08	0,88	0,89	0,98	1,00	1,08
45-60	1,12	1,02	1,00	0,98	1,20	1,14
60-75	0,72	0,78	0,80	0,80	0,94	0,81
75-90	0,68	0,75	0,72	0,70	0,72	0,75
90-105	0,67	0,75	0,75	0,72	0,75	0,74
105-120	1,08	1,07	1,04	1,08	1,12	1,09
120-135	1,10	1,00	0,98	1,02	1,20	1,00

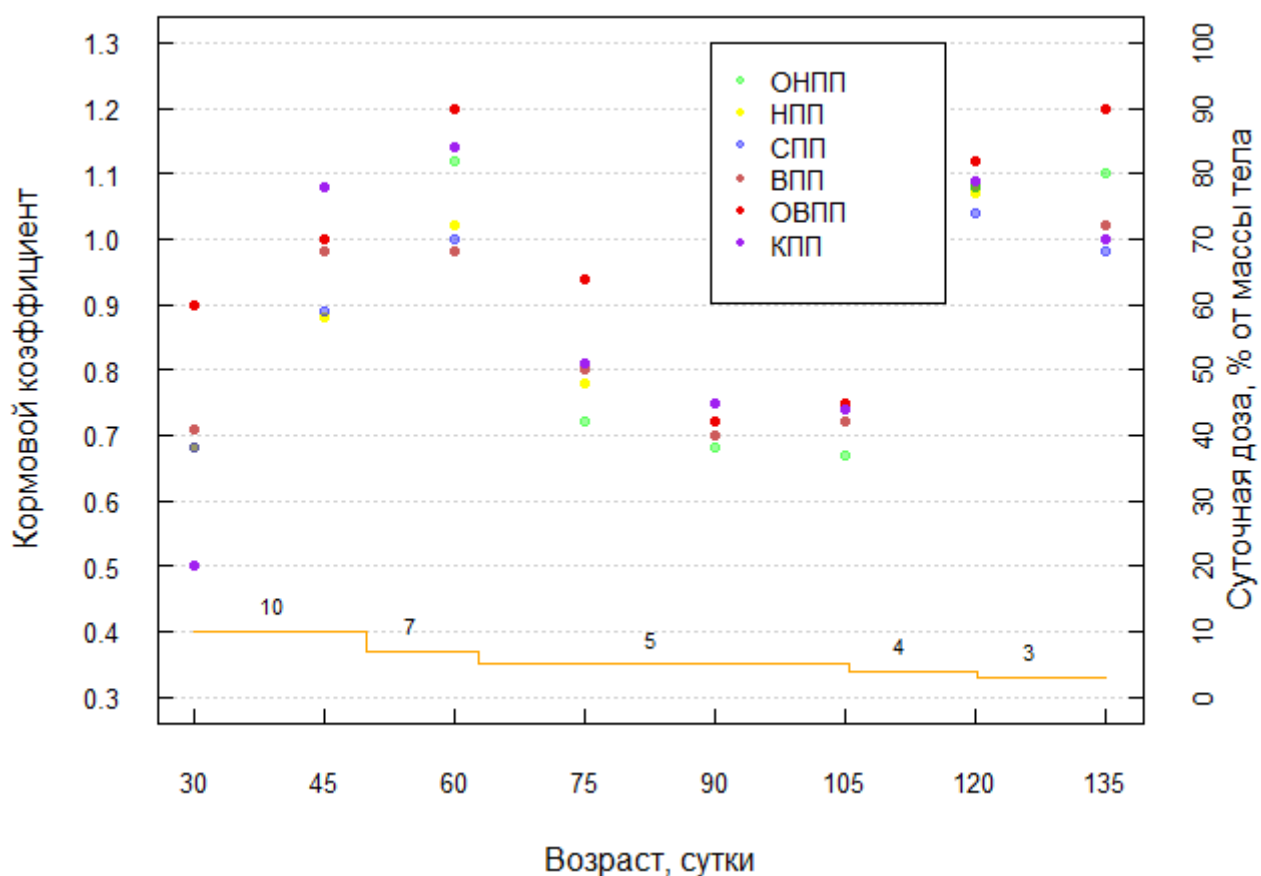


Рисунок 10 - Динамика значений кормового коэффициента в период выращивания судака в опытной установке МРЛ «КГТУ»

Низкие значения кормового коэффициента рассчитанного для стартового корма (снижались до 0,5) в первый месяц выращивания личинок связаны с высокой долей в рационе науплий артемий. В последующие месяцы выращивания посадочного материала кормление осуществлялось кормами Aller

ArtEx и Aller Futura. Так на мальковом этапе, наименьшее значение кормового коэффициента отмечено при суточных дозах 5% от массы тела (75-105 сутки). При этом темп роста в этот период достигает максимальных значений, коэффициент массонакопления в разных группах варьировал от 0,086 до 0,132 (рисунок 8).

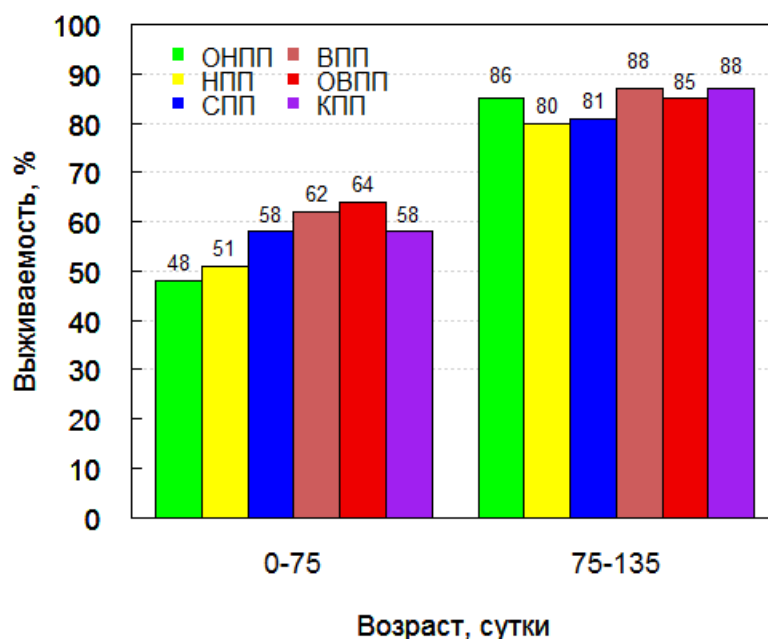
Темп роста и выживаемость рыб в значительной степени определяются особенностями питания (режимом и способом кормления) и составом комбикорма, в частности его физико-химическими характеристиками [Пехливанов, 1986].

В целом за период выращивания молоди судака на МРЛ «КГТУ» во всех исследуемых группах было отмечено эффективное расходование питательных веществ стартового корма на прирост массы. Предложенные суточные нормы кормления можно считать экономически выгодными.

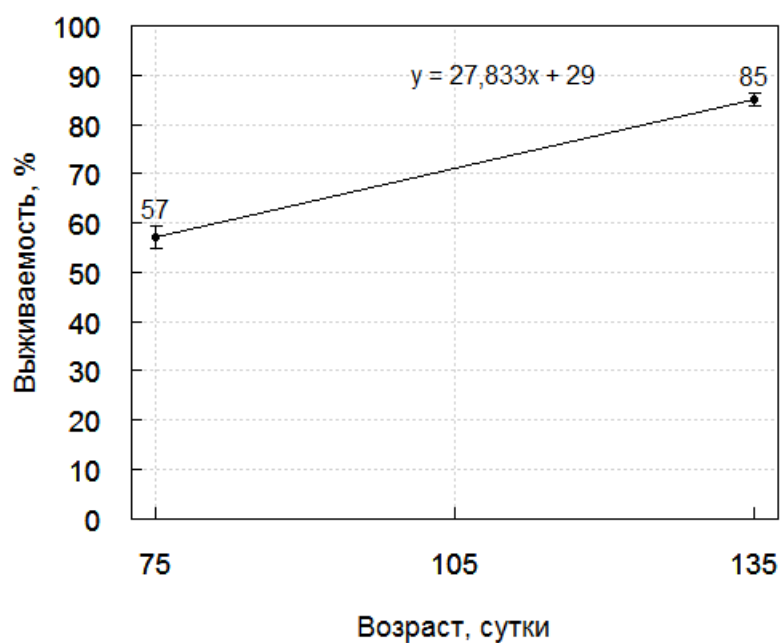
Выживание предличинок и личинок судака определяется наличием оптимальных абиотических и биотических показателей среды обитания [Письменная, 2011]. Выживаемость молоди в первые 2,5 месяца выращивания (0-75 сутки) в нашем опыте в среднем составила 57 %. Минимальное значение этого биотехнического показателя у рыб было выявлено у 5 - ОНПП группы – 48 %, максимальное у 4 - ОВПП – 64 %. В последующие два месяца выживаемость судака достигла уровня 85 %: от 80,7 в первой группы НПП до 88 % в группах 4 - ОВПП и 6 – СПП (рисунок 11 – а). Стоит отметить, что выживаемость посадочного материала закономерно увеличивается с возрастом (рисунок 11 - б). А высокая жизнестойкость в период с 75-135 суток служит показателем достаточно успешной адаптации молоди к специфическим условиям выращивания в УЗВ.

По данным А.Б. Дельмухаметова [2012], выживаемость ранней молоди судака от однодневных предличинок до возраста 76 суток составляла 41,8 %, при этом на ранних этапах кормление личинок проводилось коловратками и хлореллой.

а



б



а - в период выращивания на МРЛ «КГТУ»

б - изменение выживаемости в процессе роста

Рисунок 11 – Выживаемость молоди судака

Полученные нами результаты, в целом, согласуются с результатами предыдущих исследований А.Е Королева [2000], А.Б. Дельмухаметова [2012]: так, выживаемость при кормлении личинок судака науплиями арте-

мии в первые две недели и с последующим переводом их на искусственные корма на 45 день эксперимента в среднем составляла от 48,7 до 56,5 % [Гамыгин и др, 1992], а при кормлении личинок судака искусственными кормами, в составе которых присутствовали гидролизат рыбной муки и фосфолипиды выживаемость рыбы составляла 33-36,6 %. При этом первые шесть дней личинок содержали на живых кормах (науплии артемии) [Hamza et al., 2008].

3.4 Обсуждение результатов и рекомендации

Полученные нами результаты позволяют значительно повысить эффективность выращивания посадочного материала судака в УЗВ вплоть до массы 20 г. Так, на 75 сутки средняя масса рыбы по всем группам в нашем опыте составляла $2,9 \pm 0,3$ г. В то время как в работе А.Б. Дельмухаметова [2012] максимальная масса на 76 сутки составила 1,2 г, у А.Е. Королева [2000] – 1,3 г. Причиной высокой скорости роста рыбы в нашем случае послужила выбранная плотность посадки. А.Е. Королев [2000] также отмечает, что скорость роста личинок судака зависит от начальной плотности посадки, где при меньшей плотности посадки среднесуточный прирост выше. Отдельно можно отметить оптимизацию биотехнических приемов выращивания (режим кормления, поддержание определенных значений абиотических факторов).

По данным польских ученых, при выращивании личинок судака в течение 39 суток при плотности посадки 6 шт/л можно вырастить молодь средней массой 0,64 г [Szkudlarek, Zakęś, 2007]. В нашем опыте, на 45 сутки максимальная масса рыб составила $0,40 \pm 0,04$ г в группе с очень низкой плотностью посадки (3500 шт/м³ или 3,5 шт/л), при плотности посадки 6 шт/л (группа со средней плотность посадки) масса была ниже $0,33 \pm 0,03$ г. Основной причиной низких показателей скорости роста, очевидно, послужил температурный режим, где вплоть до 40 суток выращивания значения температуры воды не превышали 20 °С, колеблясь в пределах 17,1-18,5 °С как было

отмечено ранее. Отметим, что в эксперименте, проводимом польскими учеными, значение температуры в среднем составляло $20,0 \pm 0,6$ °С. Вместе с тем, украинские исследователи провели схожий эксперимент, где выращивали молодь судака при такой же температуре, но с увеличенной плотностью посадки до 33-45 шт/л. Конечная масса молоди оказалась значительно меньше 0,19-0,27 г, более того был отмечен высокий уровень каннибализма [Марценюк, 2014].

На основании вышеизложенного стоит подчеркнуть, что на темп роста личинок судака при одинаковых условиях кормления оказывают влияния такие факторы, как температура воды и плотность посадки. Поддержание температуры воды на уровне 18 °С на ранних этапах вызывает существенное снижение скорости роста, в то же время увеличение плотности посадки, особенно на третьей неделе подращивания, равным образом ведет к снижению индивидуального темпа роста рыб [Марценюк, 2014].

Тем не менее, конечные результаты выращивания посадочного материала согласуются с данными зарубежных исследований. По результатам немецких ученых, средняя масса судака по прошествии 3-4 месяцев после вылупления должна достигать в среднем 10-15 г [Schmidt, 2015]. В нашем случае, средняя масса судака по всем группам на 90-е сутки составляла $7,5 \pm 0,6$ г, на 105-е сутки она была уже более 15 г ($16,6 \pm 1,4$ г), а к 120 суткам – 20 г. Несмотря на то, что наибольшая скорость роста была достигнута при наименьшей плотности посадки, тем не менее на промышленных предприятиях, где ставится задача получения высокого выхода продукции с единицы площади, плотность посадки на 75 сутки можно увеличить до 5 кг/м^3 , что позволит добиться 20 г массы судака за 4 месяца выращивания.

Основываясь на полученных результатах, можно дать следующие рекомендации: выращивание молоди судака до массы 20 г рекомендуется проводить при температуре воды выше 20 °С (20 – 24 °С); на протяжении этого этапа стоит осуществлять сортировки в те моменты, когда молодь будет

иметь среднюю массу 3 г, 10 г и при достижении ею 20 г [Руанов et al., 2016]. Зарубежные авторы рекомендуют сортировать судака начиная с 1 г и затем при каждом удвоении массы тела, обеспечивая тем самым более равномерный рост [Dalsgaard et al., 2013]. Однако, по нашему мнению, такая частая сортировка может вызывать у рыбы сильный стресс, тем самым, замедляя скорость роста.

Содержание кислорода следует поддерживать на уровне 80-100 % насыщения воды или 6-8 мг/л. Оптимальная освещенность во время подрашивания не должна превышать 50 лк. Следует избегать резких изменений интенсивности освещения, чтобы свести к минимуму получаемый от этого стресс.

Одним из сложных моментов при выращивании посадочного материала судака является этап, связанный с началом экзогенного питания у личинок, где в связи с ограниченными возможностями их пищеварения при кормлении должны использоваться только живые корма [Nyina-wamwiza et al., 2005].

Размер рта и диаметр пищевода у личинки определяют размер её добычи. Так, судак способен проглатывать артемий уже с первого кормления [Kestemont et al., 2015].

При кормлении личинок судака науплиями артемии необходимо обеспечить прирост массы до 0,005 г (возраст 15-20 суток) при суточной дозе 70% от массы тела, и только затем переводить их на кормление искусственным стартовым кормом. Диаметр порошкообразных кормовых частиц на данном этапе должен быть в пределах 0,05-0,15 мм, суточная доза не должна превышать 10 %. Для автоматизации кормления оптимально использование автоматических кормораздатчиков. При достижении мальками массы 0,2-0,4 г (возраст 30-45 суток) можно переводить их на корм более крупного размера (0,1-0,5 мм), а суточную дозу постепенно снижать.

Полученные в ходе эксперимента результаты и данные из литературных источников позволяют рекомендовать биотехнические нормативы, при-

менение которых на практике обеспечит получение качественного посадочного материала для последующего выращивания товарного судака (таблица 9).

Таблица 9 – Рыбоводно-биологические нормативы выращивания посадочного материала судака в УЗВ

Показатель	Значение
Выдерживание предличинки, подращивание личинок, выращивание мальков до 1 г	
Температура воды, °С	20-24 (допустимая 18-20)
Содержание растворенного в воде кислорода, мг/л	6-7
Водородный показатель (рН)	6,5-7,5
Содержание нитритов (NO ₂), мг/л	не более 0,2
Содержание нитратов (NO ₃), мг/л	не более 50
Объем бассейна, м ³	0,1-0,2
Водообмен в бассейнах, раз/ч	1
Соленость, ‰	0
Освещенность, лк	50
Плотность посадки, шт/м ³	5000-10000
Суточная доза, % от массы тела	
Кормление науплиями артемии при массе рыбы, г 0,0005 – 0,005	70
Кормление искусственными стартовыми кормами при массе рыбы, г 0,002 – 0,02	10
0,02 – 1	7
Доля науплий артемий, %	5-10
Выживаемость, %	40-50
Выращивание посадочного материала судака до массы 20 г	
Температура воды, °С	22-24
Содержание растворенного в воде кислорода, мг/л	7-8
Водородный показатель (рН)	6,5-7,5
Содержание нитритов (NO ₂), мг/л	не более 0,2
Содержание нитратов (NO ₃), мг/л	не более 60
Объем бассейна, м ³	0,2-0,4
Водообмен в бассейнах, раз/ч	1
Соленость, ‰	0
Освещенность, лк	50
Плотность посадки, шт/м ³	1200-1500
Суточная доза, % от массы тела	
Кормление искусственными стартовыми кормами при массе рыбы (г): 1 – 5	5-5,5
5 – 10	4-5
10 – 20	3-4
Выживаемость, %	90-95

4 БИОТЕХНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВЫРАЩИВАНИЯ ТОВАРНОГО СУДАКА

4.1 Температурный и гидрохимический режим в промышленной УЗВ

На рисунке 12 приведены значения температуры воды и содержания растворенного кислорода за период выращивания товарного судака в промышленной УЗВ ООО «ТПК Балтптицепром» с 18.09.2011 г. по 30.03.2013 г.

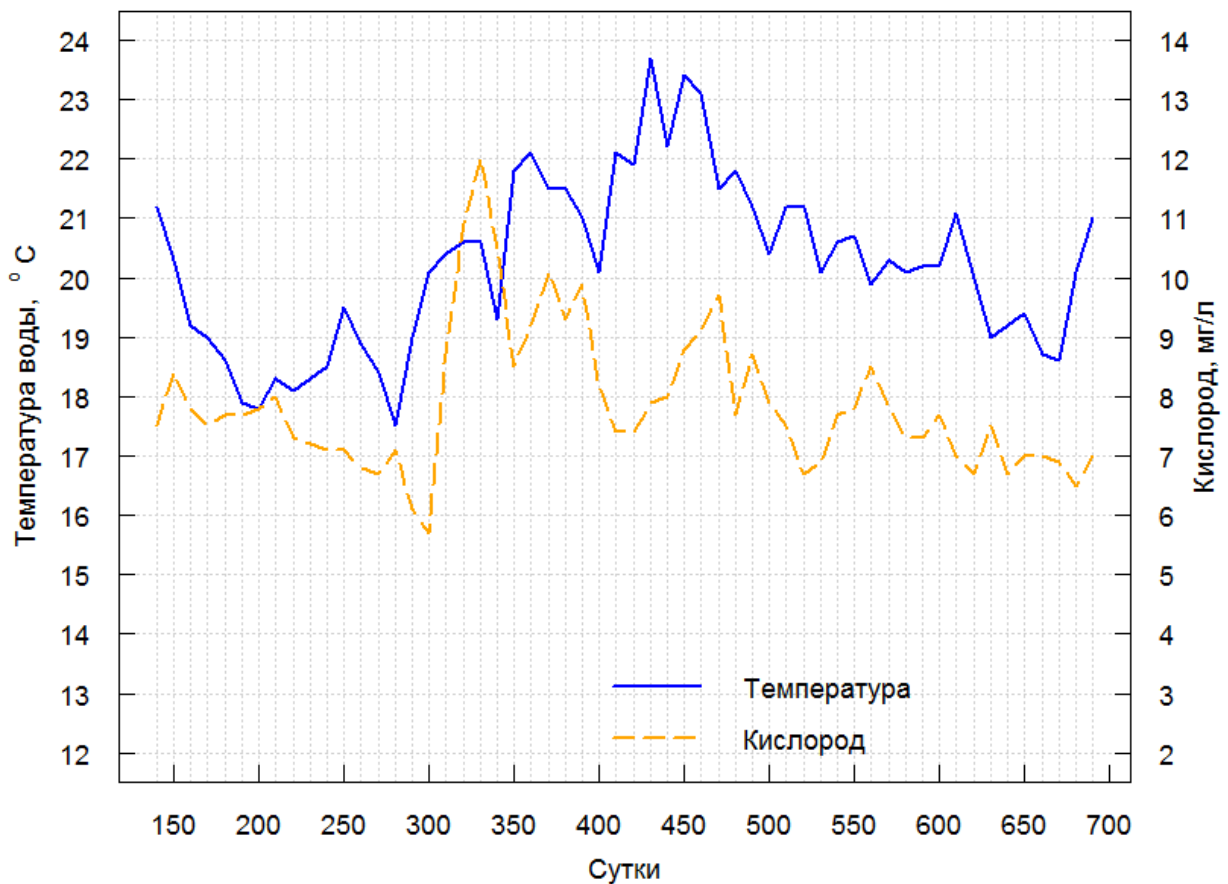


Рисунок 12 - Динамика температуры и содержания растворенного
в воде кислорода в бассейнах УЗВ

Температура воды в бассейнах промышленной УЗВ большую часть периода поддерживалась на уровне 20-22 °С. Среднее значение за весь период составило – $20,2 \pm 0,1$ °С, что является допустимой нормой для выращивания судака [Frisk et al., 2012].

Так как, поддержание необходимой для выращивания судака температуры воды, в холодный период года, осуществлялось за счет обогрева помещения цеха, отмечалось её кратковременное понижение до 17,5-19 °С в промежутки между 200 и 280 сутками выращивания.

В дальнейшем температура воды изменялась незначительно, таким образом, создавая в целом, благоприятные условия на протяжении всего периода выращивания. Максимальная температура составила 23,6 °С (480 сутки, август – сентябрь 2012 г.).

Данные по тепловому балансу в промышленной УЗВ отражены на рисунке 13. Здесь учитывается сумма градусо-дней за каждый месяц. Снижение месячного теплового баланса доходило максимум до 512 градусо-дней, повышение – до 704 градусо-дней.

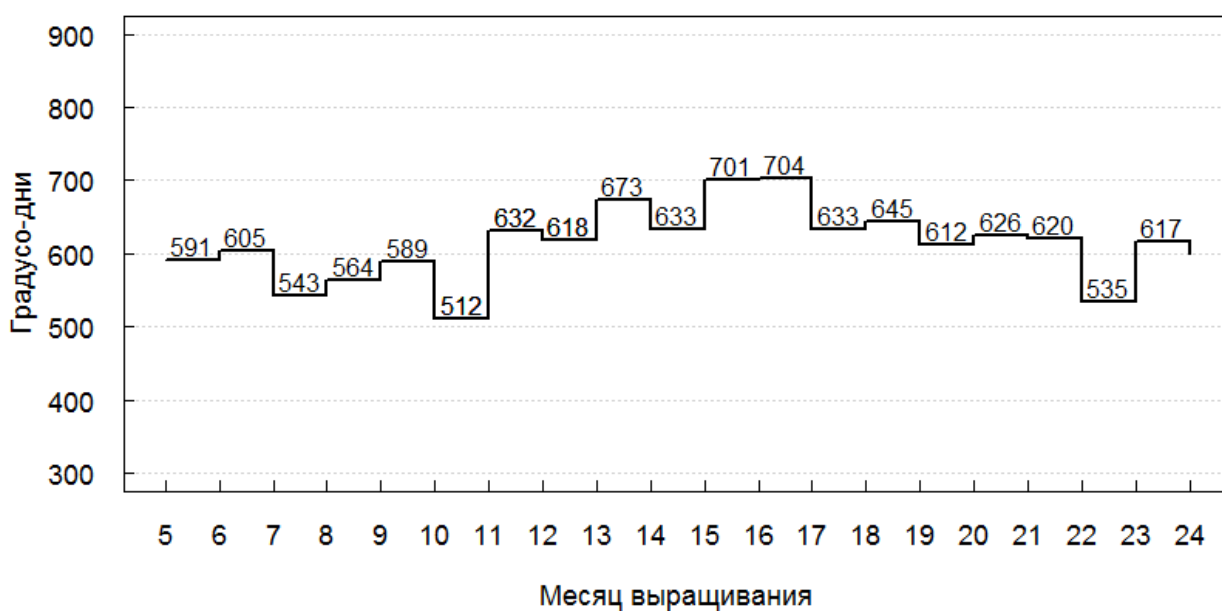


Рисунок 13 - Сумма градусо-дней при выращивании судака в условиях промышленной УЗВ

Концентрация кислорода в воде рыбоводных емкостей промышленной УЗВ в среднем за период выращивания равнялась $7,9 \pm 0,1$ мг/л. Максимальное значение концентрации кислорода за весь период выращивания состави-

до 12,0 мг/л (конец марта – начало апреля 2012 г.), а минимальное – 5,7 мг/л (февраль 2012 г.).

Незначительное снижение содержания кислорода в воде до 5,7 и дальнейшее повышение его до 12,0 мг/л связано с подключением и настройкой кислородной установки в этот период.

Снижение содержания растворенного в воде кислорода с 12,0 мг/л до 7,77 мг/л (330-350 сутки) можно объяснить тем, что в эти дни была произведена сортировка рыбы. В связи со стрессом после пересадки - рыба стала усиленно потреблять кислород, что и сказалось на его содержании в воде.

В остальные дни, колебания концентрации кислорода были незначительными. Значения данного показателя в воде находилась на уровне оптимальных для судака, содержание кислорода не опускалось ниже 80-100 % насыщения, что соответствует потребности организма рыб в кислороде [Сорвачев, 1982].

Значения водородного показателя (рН) за время выращивания товарного судака также соответствовали норме. В течение этого периода на промышленной УЗВ сохранялась нейтральная и слабощелочная реакция среды.

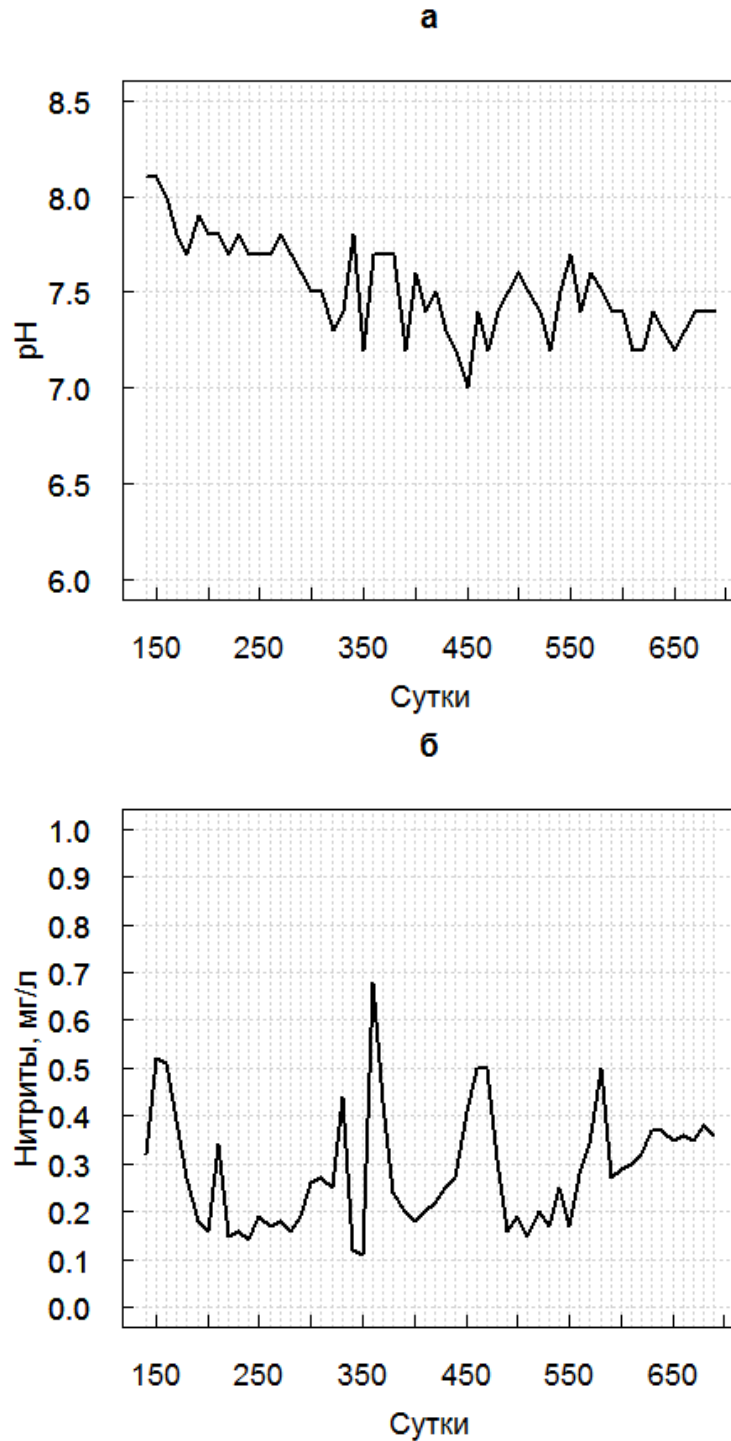
Среднее значение водородного показателя составило $7,58 \pm 0,02$. Максимальное значение рН было отмечено в начале исследовательского периода - 8,10 (150 сутки, сентябрь 2011 г.), минимальное 7,00 (450 сутки, август 2012 г.).

Концентрация нитритов в воде в рыбоводных емкостях промышленной УЗВ в среднем за период выращивания составила $0,28 \pm 0,02$ мг/л. Максимальное значение концентрации нитритов за весь период равнялось 0,68 мг/л, минимальное – 0,11 мг/л.

Динамика водородного показателя (а) и концентрации нитритов (б) в воде УЗВ «ООО «ТПК «Балтптицепром» отражена на рисунке 14.

Повышение концентрации нитритов в начале исследований (140-170 сутки) связано с большой нагрузкой биомассы рыбы на биофильтры в период

их запуска. Повышение концентрации нитритов на 350-360 и 450-460 сутки связано с сортировкой рыбы в эти дни и с последующим изменением суточных доз кормления и нахождением оптимальной дозы, полностью поедаемой рыбой.



а - динамика водородного показателя

б - концентрации нитритов

Рисунок 14 – Значения гидрохимических показателей в УЗВ

Следует отметить, что стрессовое воздействие на судака, как показывают наши наблюдения, способно на 3-5 суток и более нарушить пищевое поведение рыб, что проявляется в полном или частичном поедании расчетной дозы корма.

Фиксируемые на протяжении всего периода исследований концентрации нитритов в УЗВ не превышали 0,68 мг/л, а средняя величина составляла около 0,30 мг/л. В связи с этим следует обратить внимание на разночтение в обозначении нормативной допустимой величины данного показателя. В одних случаях допустимым является общее содержание нитритов до 0,20 мг/л, в других только нитритного азота до 0,20 мг/л [Пономарев и др., 2013; Проскуренко, 2003]. Во втором случае, учитывая трехатомную структуру молекулы и близкий атомный вес азота и кислорода, допустимой следует считать концентрацию нитритов до 0,60 мг/л. К тому же надо учитывать, что все измерения гидрохимических показателей проводились в зоне приближения к сливным отверстиям в бассейнах.

Концентрация нитратов, в целом, соответствовала допустимым значениям, отмеченных для большинства рыб, выращиваемых в УЗВ [Проскуренко, 2003]. Содержание нитратов в воде за период выращивания в среднем составило $62,31 \pm 4,47$ мг/л с максимальным значением 78,3 мг/л (360 сутки) и минимальным – 35,7 мг/л (170 сутки).

Отмеченное выше дает основание считать, что в период исследований удалось обеспечить благоприятные условия для выращиваемого судака.

4.2 Оценка скорости роста

Посадочный материал судака, выращенный в условиях УЗВ на МРЛ «КГТУ», привезли на промышленную установку 15.09.2011 г. Средняя масса рыб на момент первого контрольного облова составила $23,98 \pm 2,47$ г. Как и в предыдущем разделе, данные приведены по отдельным группам, у каждой из

которых своя плотность посадки. У первой группы была низкая плотность посадки НПП - 100 шт/м³ (2,0 кг/м³); у второй – средняя по величине плотность посадки СПП - 225 шт/м³ (4,5 кг/м³); у третьей – высокая плотность посадки ВПП - 285 шт/м³ (5,7 кг/м³); последняя группа была контрольной КПП с плотностью посадки 250 шт/м³ (5,0 кг/м³).

В таблице 10 и на рисунке 15 представлены результаты выращивания судака за 4 месяца (150-240 сутки) – с октября по декабрь 2011 г.

Таблица 10 – Изменения массы судака на 1-м этапе товарного выращивания, г ($M \pm m$, n=25)

Сутки выращивания	Группы			
	1 - НПП	2 - СПП	3 - ВПП	4 - КПП
150	20,50±0,47	30,00±0,40	24,00±0,70	24,00±0,59
180	36,00±0,68	47,00±0,52	37,00±0,88	41,00±0,66
210	53,30±1,02	68,55±0,69	52,60±0,97	52,50±0,83
240	74,50±1,31	87,10±0,53	56,80±1,09	66,70±0,95

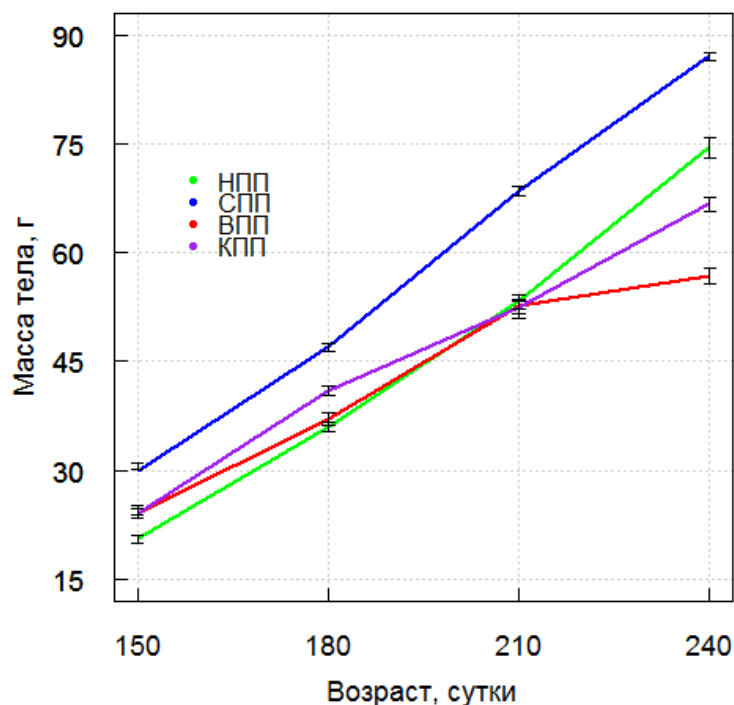


Рисунок 15 - Изменение массы тела судака на 1-м этапе товарного выращивания, 150-240 сутки

За 4 месяца выращивания, наибольшей массы тела достигли рыбы 2-й группы – $87,10 \pm 0,44$ г. Наименьшая масса отмечена у рыб 3-й группы – $56,80 \pm 1,09$ г. Средняя масса по всем группам составила $71,28 \pm 6,40$ г.

У рыб группы НПП начальная масса тела была ниже, чем в других группах, однако показательно, что на конец данного этапа конечная массы рыб составила $74,50 \pm 1,31$ г и несколько превысила значения средней массы рыб групп ВПП и КПП, где плотность посадки была в 2-3 раза больше.

В таблице 11, для каждой группы рыб приведены рассчитанные значения общепродукционного коэффициента массонакопления.

Таблица 11 – Значения общепродукционного коэффициента массонакопления на 1-ом этапе товарного выращивания судака

Сутки выращивания	Группы			
	1 - НПП	2 - СПП	3 - ВПП	4 - КПП
150-180	0,056	0,050	0,045	0,056
180-210	0,046	0,048	0,041	0,030
210-240	0,044	0,034	0,010	0,031

В таблице 12 для каждой группы приведены рассчитанные значения удельной скорости роста.

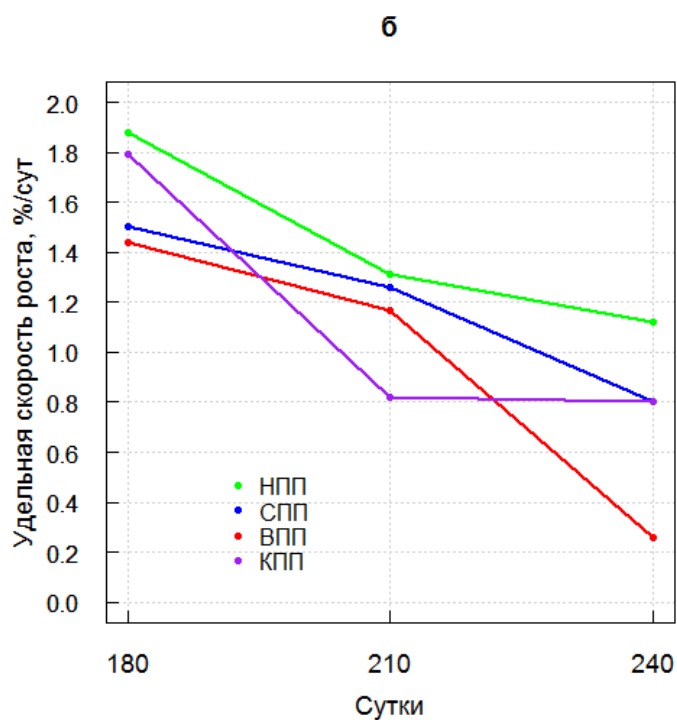
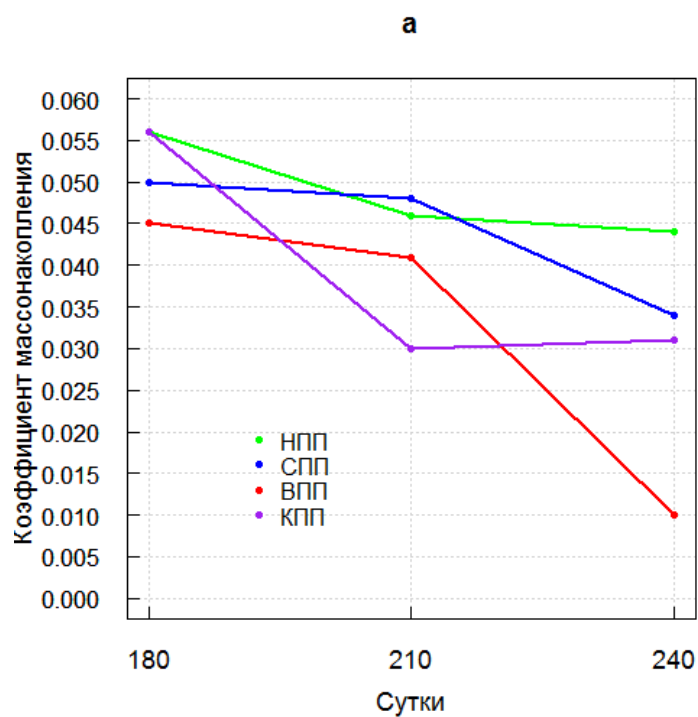
Таблица 12 – Значения удельной скорости роста судака на 1-ом этапе товарного выращивания, %/сут

Сутки выращивания	Группы			
	1 - НПП	2 - СПП	3 - ВПП	4 - КПП
150-180	1,88	1,50	1,44	1,79
180-210	1,31	1,26	1,17	0,82
210-240	1,12	0,80	0,26	0,80

Динамика значений коэффициента массонакопления (а) и удельной скорости роста (б) отражена на рисунке 16.

Наибольшее значение коэффициента массонакопления было отмечено в группе НПП и КПП в начале исследовательского периода (0,056), а наименьшее зафиксировано в группе с высокой плотностью посадки ВПП

(0,010) в конце этапа. Максимальное значение удельной скорости роста отмечено в группе НПП (1,88 %/сут), минимальное в группе ВПП (0,26 %/сут).



а - коэффициент массонакопления

б - удельная скорость роста

Рисунок 16 – Динамика показателей скорости роста судака на 180-240 сутки выращивания

Стоит отдельно отметить, что данный этап выращивания судака в промышленной УЗВ, проходил при относительно низкой температуре воды (в среднем $18,1 \pm 0,1$ °C), что вероятно повлияло на снижение скорости роста. Температура воды – ведущий фактор среды, определяющий скорость всех жизненных процессов у рыбы, включая рост [Остроумова, 2012]. Особенно заметно это проявилось в третьей группе, где было отмечено наименьшее значение коэффициента массонакопления – 0,010. Это подтвердилось при проведении корреляционного анализа, где была обнаружена сильная положительная корреляционная связь между значениями K_m и температурой воды ($0,97 \pm 0,23$ при $p < 0,05$). В то же время, такие факторы как концентрация нитритов и растворенного в воде кислорода на данном этапе не оказали заметного воздействия на скорость роста рыб.

Изменение массы рыб на 2-м этапе выращивания товарного судака после сортировки на три размерные группы в период с начала января по апрель 2012 г. (240-330 сутки выращивания) представлено в таблице 13 и на рисунке 17. Здесь и далее, каждой размерной группе соответствует следующая аббревиатура: М – мелкие (средняя масса 48 г, плотность посадки $6,7 \text{ кг/м}^3$), С – средние (средняя масса 77 г, плотность посадки $14,6 \text{ кг/м}^3$) и К – крупные (средняя масса 89 г, плотность посадки $11,6 \text{ кг/м}^3$).

Таблица 13 – Изменение массы тела судака на 2-м этапе товарного выращивания, г ($M \pm m$, $n=25$)

Сутки выращивания	Размерные группы		
	1 – М	2 - С	3 - К
240	$48,00 \pm 0,68$	$77,00 \pm 0,95$	$89,00 \pm 1,02$
270	$82,50 \pm 1,05$	$106,70 \pm 1,24$	$136,70 \pm 1,25$
300	$97,30 \pm 1,33$	$116,00 \pm 1,60$	$159,00 \pm 1,62$
330	$110,00 \pm 1,46$	$126,00 \pm 1,70$	$174,00 \pm 2,01$

В таблице 14 для каждой группы приведены рассчитанные значения общепродукционного коэффициента массонакопления. Максимальное значение общего продукционного коэффициента массонакопления (0,072) было отмечено в январе в размерной группе М. Минимальное значение (0,013) – отмечено в конце марта 2012 г. (300 сутки) в размерной группе С.

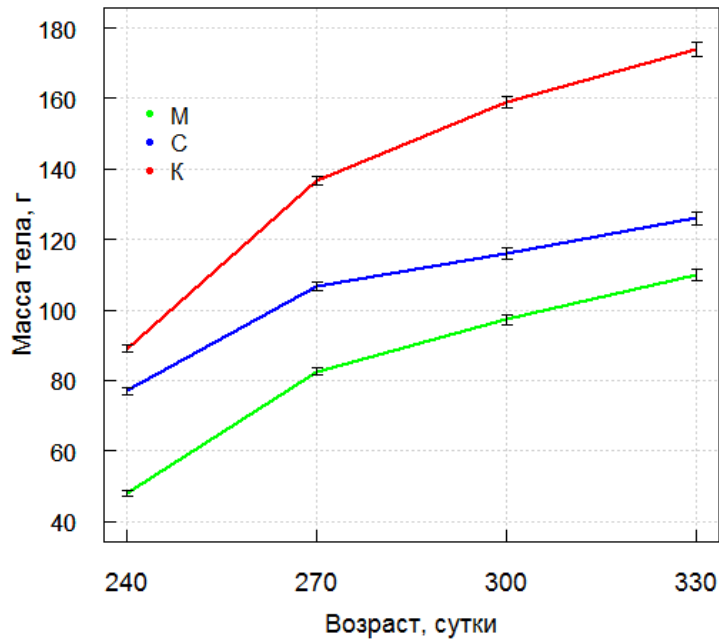


Рисунок 17 - Изменения массы тела судака на 2-м этапе товарного выращивания, 240-330 сутки

Таблица 14 – Значения общепродукционного коэффициента массонакопления на 2-ом этапе выращивания судака

Сутки выращивания	Размерные группы		
	1 – М	2 - С	3 - К
240-270	0,072	0,049	0,068
270-300	0,024	0,013	0,027
300-330	0,020	0,014	0,016

Мелкую размерную группу нельзя охарактеризовать, как отстающую в росте, т.к. это отставание не было вызвано болезнью или нарушением физиологического состояния. Поместив рыбу в бассейны при относительно «разряженной» плотности посадки 140 шт/м³ (6,7 кг/м³) по прошествии 4 месяцев отметили отсутствие отрицательного влияния исходной массы на рост, что

подтверждается высокими значениями коэффициента массонакопления (0,072) по сравнению со средней и крупной размерной группами. У рыб средней группы, наоборот, отмечали более низкие показатели скорости роста (коэффициент массонакопления 0,049), при этом плотность посадки в этой группе была самая высокая 190 шт/м³ (14,6 кг/м³). В крупной группе значение коэффициента в первый месяц выращивания было промежуточное (0,068)

В последующие два месяца отмечали сходную динамику показателя. Скорость роста снижалась в группах М и К. В группе С она была более стабильная, но на уровне более низких значений.

В таблице 15 для каждой группы приведены рассчитанные значения удельной скорости роста.

Таблица 15 – Значения удельной скорости роста на 2-ом этапе товарного выращивания судака, %/сут

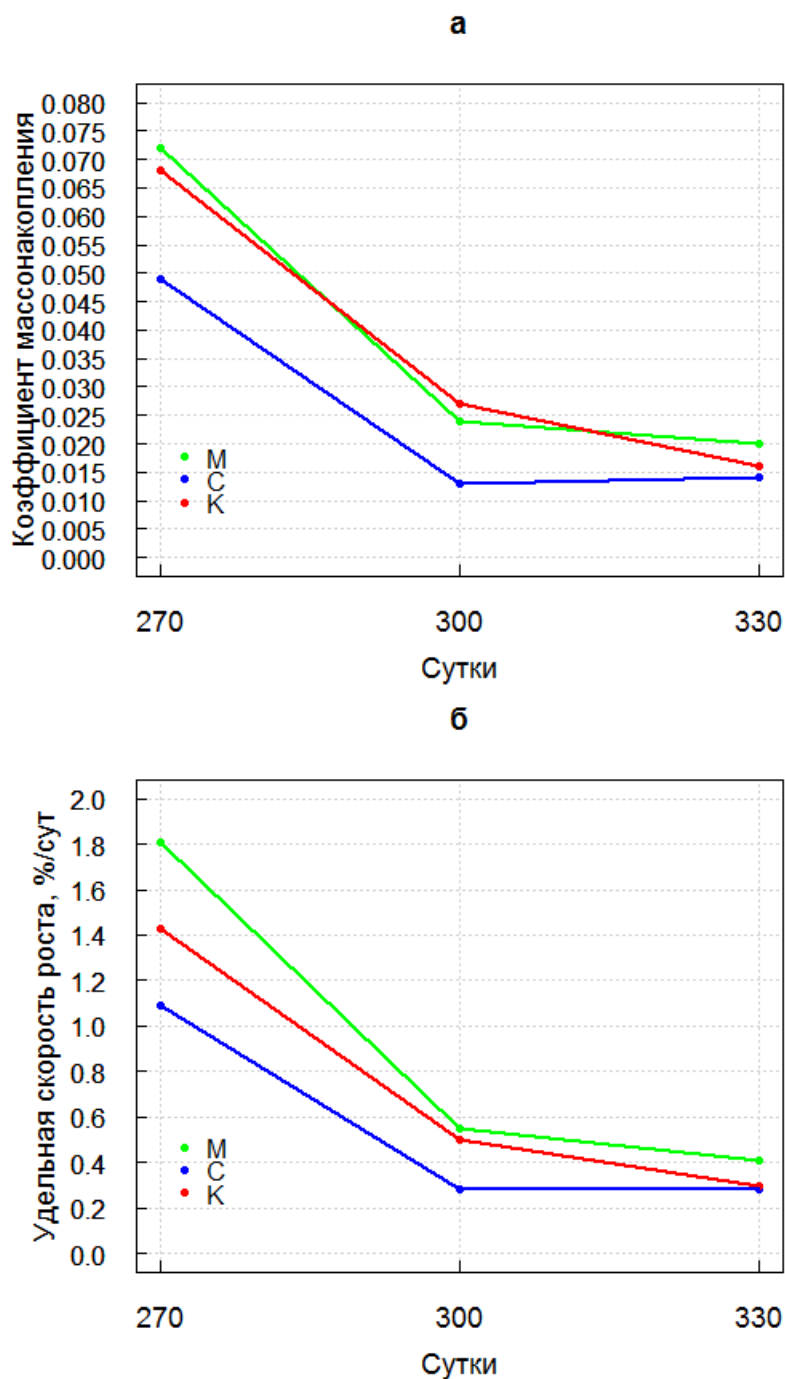
Сутки выращивания	Размерные группы		
	1 - М	2 - С	3 - К
240-270	1,81	1,09	1,43
270-300	0,55	0,28	0,50
300-330	0,41	0,28	0,30

Динамика этого показателя схожа со значениями K_m (таблица 14). Так, максимальное значение удельной скорости роста (1,81 %/сут) отмечено в январе в размерной группе М. Минимальное значение (0,028 %/сут) отмечено на 300 сутки выращивания в размерной группе средние (С).

Динамика значений коэффициента массонакопления (а) и удельной скорости роста (б) отражена на рисунке 18.

На данном этапе также подтверждается зависимость скорости роста от динамики температуры воды, где была обнаружена положительная корреляционная связь $0,49 \pm 0,22$ при $p < 0,05$. Среднее значение температуры за этот период составило $19,2 \pm 0,3$ °С, что ниже оптимального норматива для расту-

щего судака (22-27 °С) [Kestemont et al., 2015]. Так, например, судак массой около 80 г при выращивании при температуре 25 °С за 4 месяца может достигать конечной массы около 275-300 г [Kestemont et al., 2015]. В нашем случае максимальный прирост массы тела за 90 суток составил 85 г в группе К.



а - коэффициент массонакопления

б - удельная скорость роста

Рисунок 18 – Динамика показателей скорости роста судака на 270-330 сутки выращивания

Однако, при сохранении скорости роста, к концу четвертого месяца средняя масса рыб превысила бы 200 г. С учетом положения Вант-Гоффа, определяющего влияние температуры воды от самых низких значений, при которых сохраняется соматический рост, в сторону оптимальных на каждые 10 °С способствует ускорению роста рыб в 2-3 раза. Поэтому, если исходить из приведенного примера и признать оптимальной температуру 25 °С, то наши результаты позволяют утверждать, что при средней для этапа температуре воды около 19 °С, ростовая потенция у судака раскрылась на высоком уровне.

Колебания концентрации кислорода, фиксируемые в отдельные промежутки времени от 5,7 мг/л до 12 мг/л (300-330 сутки), не оказали влияния на скорость роста. Корреляционной связи между концентрацией растворенного в воде кислорода и значениями коэффициента массонакопления выявлено не было.

Отмечая увеличение коэффициента массонакопления в первой группе, следует упомянуть о явлении компенсационного роста у судака. Биологический смысл явления компенсационного роста заключается в том, что особи, отстающие в росте, ранее содержащиеся в более напряженных условиях, впоследствии ускоряют свой темп роста, догоняя особей, имеющих более крупные начальные размеры [Замхаев, 1967; Зыков, Иванов, 2008]. У судака в естественной среде, выявлено наличие компенсационного роста проявляющегося в обратном соотношении между размерами годовиков и относительной скоростью роста. Так, более мелкие особи, отстававшие в росте на первом году жизни, благодаря действию механизмов компенсационного роста, в последующем догоняли более крупных рыб [Зыков, Иванов, 2008].

Изменение массы рыб на 3-м этапе выращивания товарного судака, после сортировки на четыре размерные группы: М (мелкие, плотность посадки 3 кг/м³), С (средние, плотность посадки 17,6 кг/м³), К (крупные, плотность посадки 20,4 кг/м³), ОК (очень крупные, плотность посадки 16 кг/м³) в пери-

од с апреля по август 2012 г. (330-450 сутки) представлено в таблице 16 и на рисунке 19.

Таблица 16 – Изменения массы тела судака на 3-м этапе товарного выращивания, г ($M \pm m$, $n=25$)

Сутки выращивания	Размерные группы			
	1 – М	2 - С	3 – К	4 - ОК
330	59,40±0,55	94,90±0,80	127,60±1,45	178,80±2,05
360	71,90±0,70	103,70±1,70	141,10±1,60	185,40±2,17
390	110,60±1,20 *	113,50±1,65	204,50±2,00	211,30±2,44
420	-	173,00±1,83	215,00±2,80	221,00±2,90
450	-	216,00±2,40	277,00±4,20	333,00±5,03

* группа была рассортирована и распределена

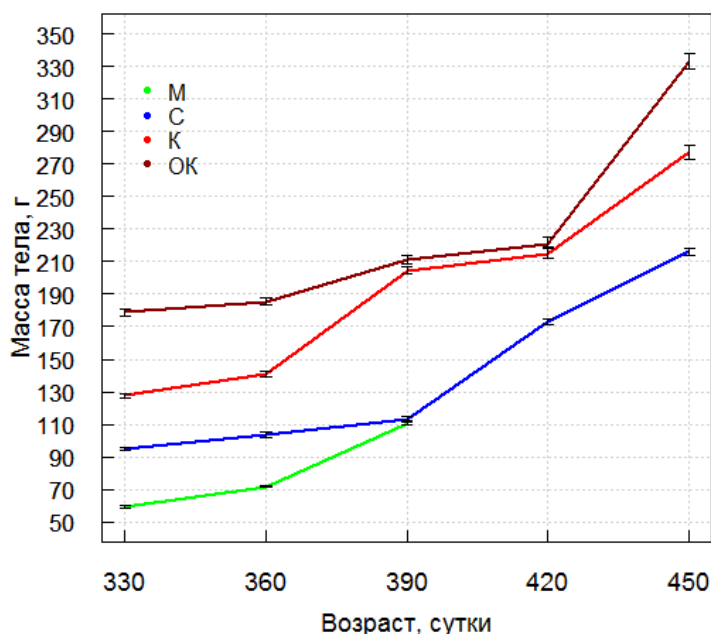


Рисунок 19 - Изменения массы тела судака на 3-м этапе товарного выращивания, 330-450 сутки

Так за 60 суток рыбы мелкой размерной группы достигли такой же массы, что и в группе С, поэтому в последующем они были объединены в одну.

В таблице 17 и 18, для каждой размерной группы приведены рассчитанные значения общепродукционного коэффициента массонакопления и удельной скорости роста соответственно.

Таблица 17 – Значения общепродукционного коэффициента массонакопления на 3-м этапе выращивания судака

Сутки выращивания	Размерные группы			
	1 – М	2 - С	3 - К	4 - ОК
330-360	0,026	0,014	0,017	0,007
360-390	0,064	0,014	0,068	0,025
390-420	-	0,073	0,010	0,009
420-450	-	0,043	0,053	0,089

Таблица 18 – Значения удельной скорости роста судака на 3-м этапе товарного выращивания, %/сут

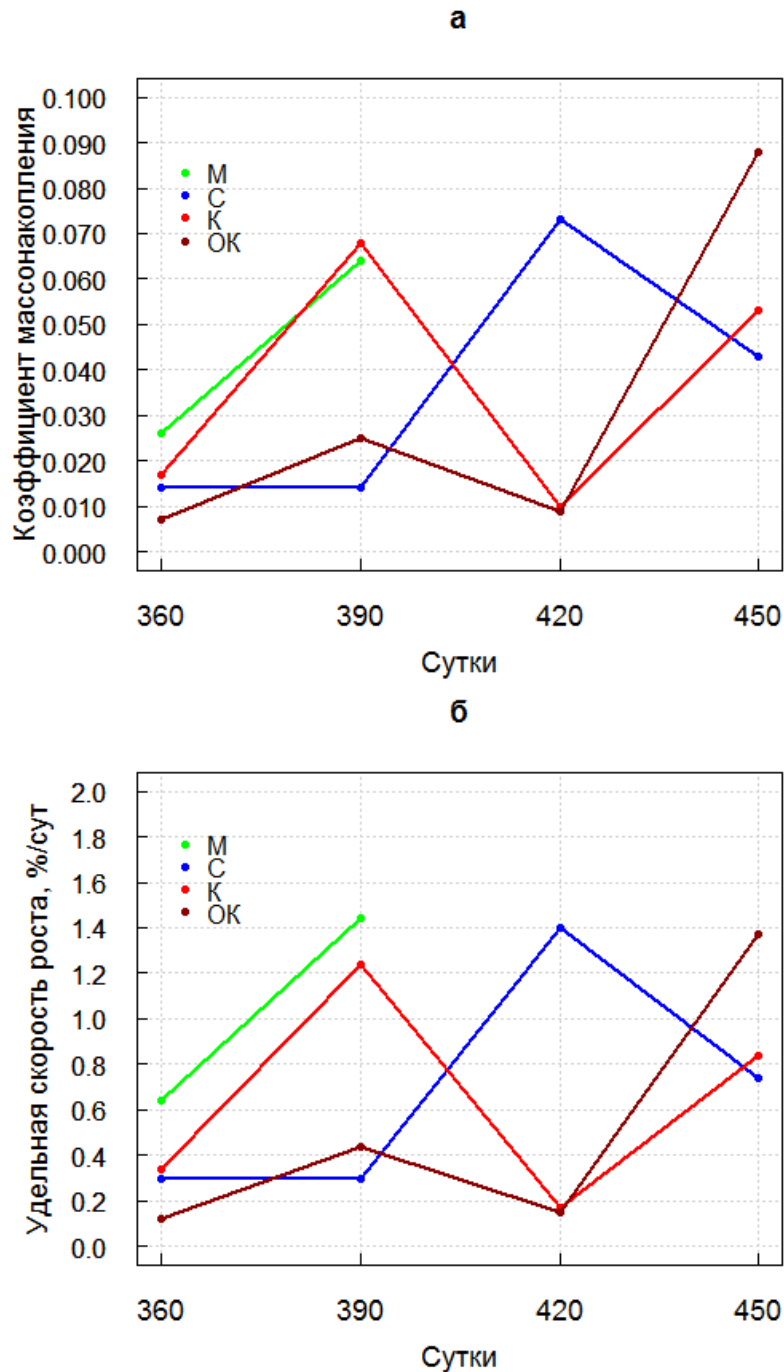
Сутки выращивания	Размерные группы			
	1 – М	2 - С	3 - К	4 - ОК
330-360	0,64	0,30	0,34	0,12
360-390	1,44	0,30	1,24	0,44
390-420	-	1,40	0,17	0,15
420-450	-	0,74	0,84	1,37

Динамика значений коэффициента массонакопления (а) и удельной скорости роста (б) отражена на рисунке 20.

Максимальное значение общепродукционного коэффициента массонакопления 0,089 на данном этапе было отмечено на 450 сутки в четвертой размерной группе – очень крупные (ОК). Минимальное значение (0,009) – отмечено в конце апреля 2012 г. (420 сутки) также в размерной группе ОК.

Стоит отметить, что после достижения рыбами массы около 180-200 г, скорость роста замедлилась, что подтверждается значениями коэффициента массонакопления и удельной скорости роста на 420 сутки. Исключение составляли судаки средней размерной группы. Из чего, вероятно следует, что при взвешивании в выборку попали пересаженные рыбы из первой группы М, у которых продолжался компенсационный рост. Что характерно, после проведения следующего контрольного облова (450 сутки) и определения значений коэффициента массонакопления, отмечается плавное снижение скорости роста в этой группе. Такие изменения значений этого показателя могут быть вызваны воздействием переуплотненной посадки в бассейнах (17,1

кг/м³), а также индивидуальными особенностями организма рыбы. При этом содержание кислорода и температура воды в бассейнах находились в благоприятном для судака диапазоне.



а - коэффициент массонакопления

б - удельная скорость роста

Рисунок 20 - Динамика показателей скорости роста судака на 360-450 сутки выращивания

Важно отметить, что с возрастом, когда начинают развиваться половые органы, значительная часть энергии в организме перераспределяется на генеративный обмен. Таким образом, снижение скорости роста рыб в начале весеннего периода, как это наблюдается у рыб в группах К и ОК в июне 2012 г. (420 сутки), а также повышение её в конце летнего и начале осеннего периода, как будет отмечено далее, может быть связано с проявлением у рыб циркадных циклов развития.

Анализируя данные таблиц 16-18 и рисунка 19, можно оценить выявленные тенденции в раскрытии ростовой потенции у разноразмерных рыб.

Во-первых, наибольшая скорость роста у рыб в группах М и К может рассматриваться, с одной стороны как проявление эффекта компенсационного роста у мелких особей, после сортировки оказавшихся в более благоприятных условиях (плотность посадки). С другой, сохранение высокой скорости роста у вторых, очевидно, согласуется с их генетическим статусом [Замахеев, 1967] и условиями содержания (плотность посадки). Величина коэффициента массонакопления к концу отмеченного периода у них оказалась близкой (0,064 и 0,068 соответственно). Но наибольшая величина коэффициента массонакопления была в группах ОК (0,089) и С (0,073). Наибольшая стабильность в динамике этого показателя показана для группы С – среднеразмерные рыбы. Если судить по конечной массе рыб на данном этапе, то наибольший ее рост достигнут в группе ОК (в 2,4 раза), далее следует группа С (в 2,3 раза), на последнем месте группа К (в 2 раза).

Более того, на протяжении всех трех вышеописанных этапов товарного выращивания прослеживались схожая динамика двух показателей – коэффициента массонакопления и удельной скорости роста, что говорит о сбалансированности функций (объемной и линейной) весового роста.

Изменение массы тела за период выращивания товарного судака, после сортировки и рассадки на размерные группы: С1 (средние 1, плотность посадки 13,4 кг/м³), С2 (средние 2, плотность посадки 13,8 кг/м³), К1 (крупные

1, плотность посадки 18,7 кг/м³), К2 (крупные 2, плотность посадки 19,1 кг/м³), ОК (очень крупные, плотность посадки 28,9 кг/м³) на 4-м этапе товарного выращивания в период с сентября 2012 по апрель 2013 г. (480-690 сутки) представлено в таблице 19 и на рисунке 21.

Таблица 19 – Изменения массы тела судака на 4-м этапе товарного выращивания, г ($M \pm m$, $n=25$)

Сутки выращивания	Размерные группы				
	1 - С1	2 - С2	3 - К1	4 - К2	5 - ОК
480	206,5±4,1	211,8±4,2	233,1±4,9	239,1±5,0	339,6±6,6
510	264,3±6,2	276,0±6,7	335,7±7,0	363,9±6,7	474,4±9,3
540	366,2±8,5	338,1±9,3	423,3±8,5	472,9±7,3	557,3±11,0
570	453,0±11,7	451,1±12,6	584,6±9,6	586,1±8,7	637,8±14,1
600	504,5±12,4	496,7±12,9	623,6±11,2	595,0±9,0	695,0±14,7
630	575,8±12,9	563,7±13,0	697,8±12,5	655,3±9,3	751,7±14,6
660	643,3±13,1	636,0±10,2	773,0±13,2	703,1±9,4	860,4±15,0
690	721,4±14,0	709,5±12,8	836,3±12,6	752,2±10,0	870,1±17,4

В таблице 20 и 21 для каждой размерной группы приведены рассчитанные значения общепродукционного коэффициента массонакопления и удельной скорости роста соответственно.

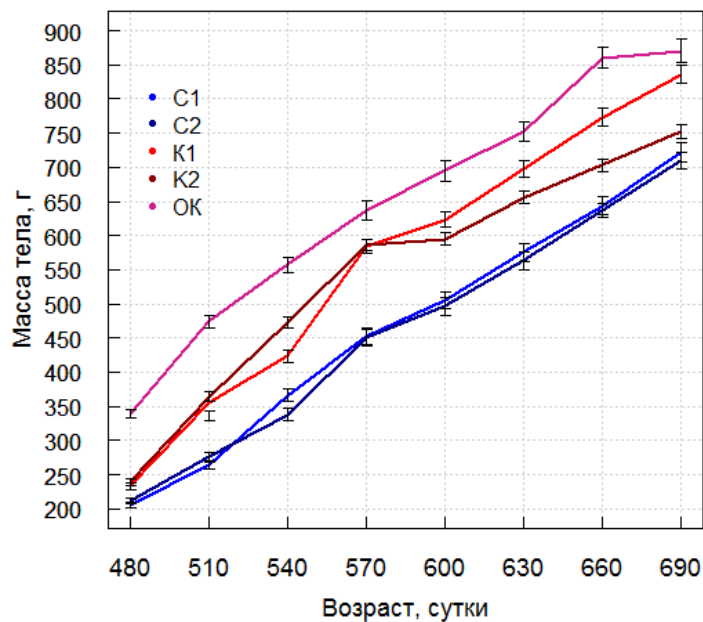


Рисунок 21 – Изменения массы на 4-ом этапе товарного выращивания, 480-690 сутки

Таблица 20 – Значения общепродукционного коэффициента массонакопления на 4-ом этапе выращивания судака

Сутки выращивания	Размерные группы				
	1 - С1	2 - С2	3 - К1	4 - К2	5 - ОК
450-480	0,051	0,055	0,093	0,093	0,082
480-510	0,073	0,045	0,042	0,065	0,043
510-540	0,052	0,070	0,085	0,058	0,038
540-570	0,027	0,026	0,018	0,008	0,025
570-600	0,035	0,031	0,028	0,020	0,023
600-630	0,034	0,035	0,034	0,024	0,042
630-660	0,034	0,032	0,024	0,020	0,004

Таблица 21 – Значения удельной скорости роста судака на 4-м этапе товарного выращивания, %/сут

Сутки выращивания	Размерные группы				
	1 - С1	2 - С2	3 - К1	4 - К2	5 - ОК
450-480	0,82	0,88	1,22	1,40	1,11
480-510	1,09	0,68	0,77	0,87	0,54
510-540	0,71	0,96	1,08	0,72	0,45
540-570	0,36	0,32	0,22	0,05	0,29
570-600	0,44	0,42	0,37	0,32	0,26
600-630	0,37	0,40	0,34	0,23	0,45
630-660	0,38	0,36	0,26	0,23	0,04

Минимальное значение коэффициента массонакопления (0,004) на данном этапе было отмечено на 570 сутки в размерной группе К2 и на 660 сутки в группе ОК. Максимальное значение (0,093) – отмечено на 480 сутки в размерных группах К1 и К2.

Максимальное значение удельной скорости роста составило 1,40 %/сут, оно отмечено на 480 сутки в размерной группе К2. Минимальное значение 0,22 %/сут отмечено в группе К1 на 570 сутки выращивания.

С декабря 2012 по март 2013 г. проводился опыт, связанный с применением новой схемы кормления. Так, размерным группам К1, ОК в корм вносился пробиотический препарат «Субтилис», а группы К1 и К2 стали кормить кормом Aller Trident, сменив рецептуру Aller Bronze 45/15. Более низкие значения коэффициента массонакопления свидетельствуют об успешной

адаптации рыб к новому режиму кормления. Специфика действия пробиотического препарата выражается не в мгновенном, а в несколько задержанном эффекте действия, поэтому увеличение темпа роста происходило не сразу. Отдельно данные по скорости роста рассмотрены в рамках эксперимента по сравнительной оценке продукционных кормов в пункте 4.3.1.

Представляется очевидным, что плотность посадки оказывает прямое влияние на скорость роста. Анализ линейной регрессии (рисунок 22) почти на всех этапах показал, что существует четкая обратная связь удельной скорости роста судака с различными плотностями посадки.

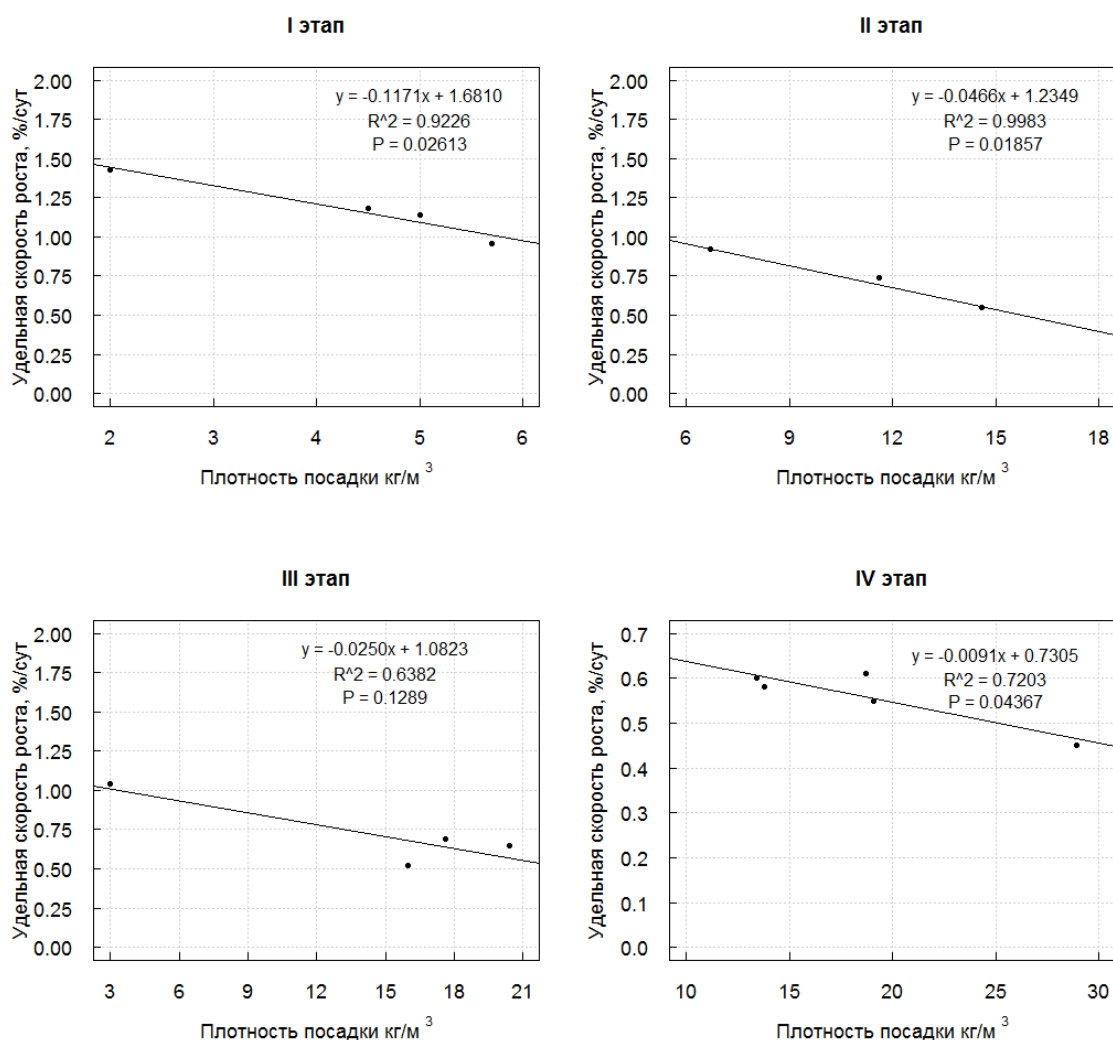


Рисунок 22 - Линейная регрессия зависимости удельной скорости роста судака и плотности посадки

На 1-м, 2-м и 4-м этапах различия по значениям удельной скорости роста оказались достоверными ($p < 0,05$), на 3-м этапе – недостоверными. Однако здесь стоит учитывать, что на этом этапе одна из размерных групп (М) была рассортирована и объединена в группу С, что в итоге отразилось на конечных данных.

Достигнутая средняя масса рыб составила $777,90 \pm 31,97$ г. Стоит отметить, что группа с опережающим ростом имела среднюю массу тела $870,01 \pm 17,40$ г, при этом некоторые особи уже превышали массу 1000 г.

Динамику изменения массы (по осредненным данным) можно проследить на рисунке 23.

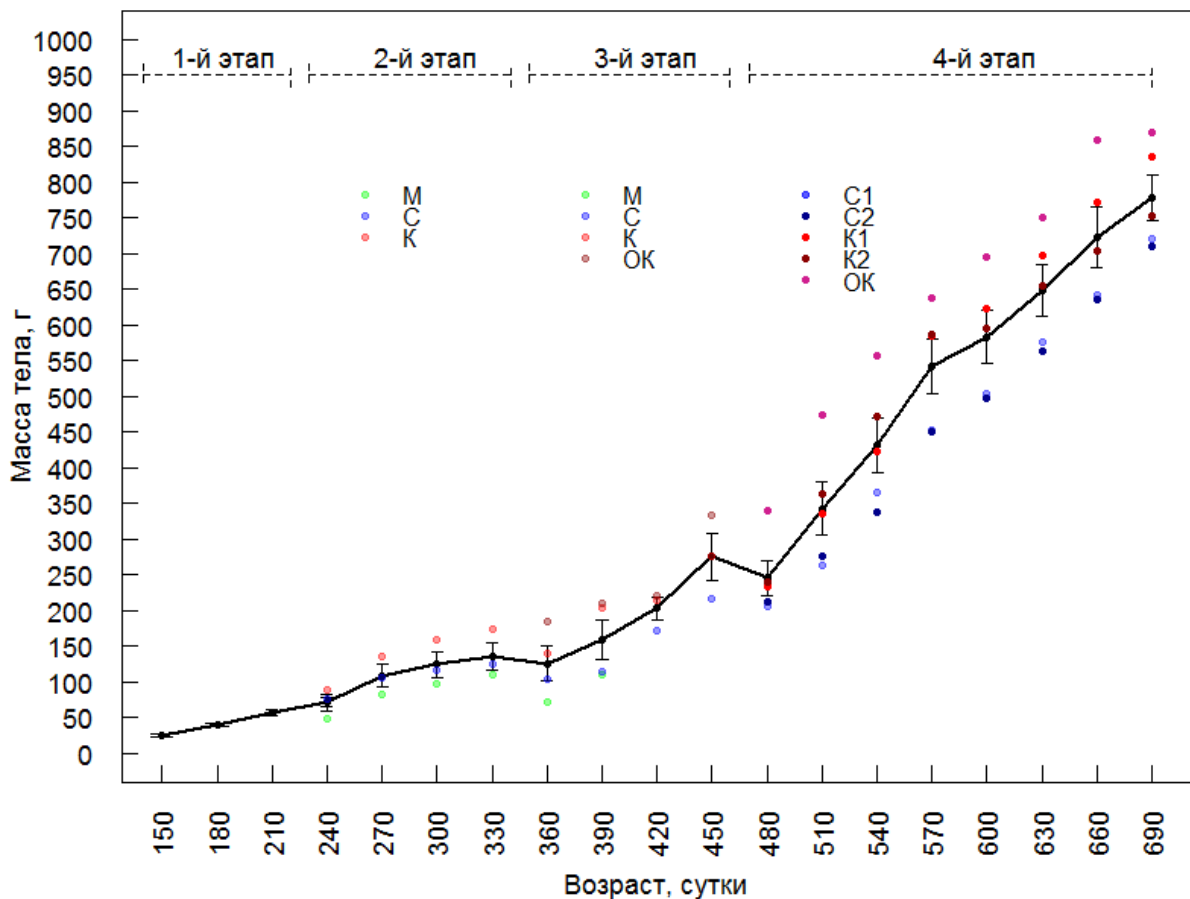


Рисунок 23 – Весовой рост судака

Тем не менее, изменение величины коэффициента массонакопления на всех этапах отличалось сходной нестабильностью. Графики значений коэф-

фициента массонакопления и удельной скорости роста в течение всего периода выращивания товарного судака (150-690 сутки) демонстрируют значительные колебания. Ни на одном этапе исследования судак не показал стабильности в максимальном раскрытии ростовой потенции.

По утверждению немецких ученых [Schmidt, 2015], для выращивания судака от посадочного материала 10 г до товарной массы (750-1000 г) требуется около 12-15 месяцев. Схожие данные приводят датские рыбоводы. Так, на предприятии Aquarpi A/S (Frederiksværk, Denmark) за 460 суток выращивания конечная масса судака составляет 1000 г [Dalsgaard, 2013].

Проанализировав полученные данные, мы попытались разработать потенциальную модель роста судака в условиях УЗВ [Пьянов и др., 2016а].

Для расчета потенциальной массы судака мы воспользовались исходной формулой коэффициента массонакопления (5) [Купинский, 2007]:

$$K_M = K_T \times K_Э , \quad (5)$$

где K_T – генетический коэффициент массонакопления;

$K_Э$ – экологический коэффициент массонакопления.

K_T для судака составляет 0,231. Это значение определено по принципу обработки уже опубликованных данных по росту рыбы, расчете на их основе показателей K_M , формировании из них статистического массива и установлении для него по заранее выбранному критерию предварительного значения K_T [Купинский, 2007].

$K_Э$ характеризует всю совокупность экологических факторов от порогового до оптимального значения ($0 < K_Э < 1$) и может быть представлен как произведение частных экологических коэффициентов [Купинский, 2007]. Таким образом, структура $K_Э$ может выглядеть следующим образом (6):

$$K_Э = K_T \times K_{O_2} \times K_K \cdots K_{i+n} , \quad (6)$$

где K_i – это количественное выражение действия отдельного частного экологического коэффициента.

Если принять значения температурного коэффициента $K_T = 0,9$, кислородного $K_{O_2} = 1,0$, гидрохимического $K_{\text{гидрохим}} = 1,0$, коэффициента влияния кормления $K_K = 0,7$ (с учетом нестабильности в питании), коэффициента влияния уровня биотехники $K_{\text{биот}} = 0,6$ (с учетом первого опыта разработки отечественной технологии), коэффициента влияния неучтенных факторов $K_{\text{нф}} = 0,6$, то значение K_3 составит (7):

$$K_3 = 0.9 \times 0.9 \times 1 \times 0.7 \times 0.5 \times 0.6 = 0.227, \quad (7)$$

Тогда значение K_M составит (8):

$$K_M = 0.231 \times 0.227 = 0.052, \quad (8)$$

Потенциальную массу рыб, которая могла быть достигнута рыбами в возрасте 19 месяцев, можно рассчитать, исходя из формулы определения K_M (9):

$$M_K = \left(\frac{K_M \times \Delta T + 3 \sqrt[3]{M_H}}{3} \right)^3, \quad (9)$$

Таким образом, с учетом достигнутого уровня исследований потенциальная конечная масса рыб, при выращивании от посадочного материала средней массой 10 г на 450 сутки (15 месяц) может составить (10):

$$M_K = \left(\frac{0.052 \times 450 + 3 \sqrt[3]{10}}{3} \right)^3 = 1003 \text{ г}. \quad (10)$$

В соответствии с апробированными формулами, основываясь на фактических данных, нами был установлен потенциал роста судака на этапах товарного выращивания. Таким образом, учитывая все факторы, оказавшие прямое влияние на рост, при разработанной нами технологии за 15 месяцев можно будет добиться конечной товарной массы, превышающей 1000 г, что согласуется с данными зарубежных исследований.

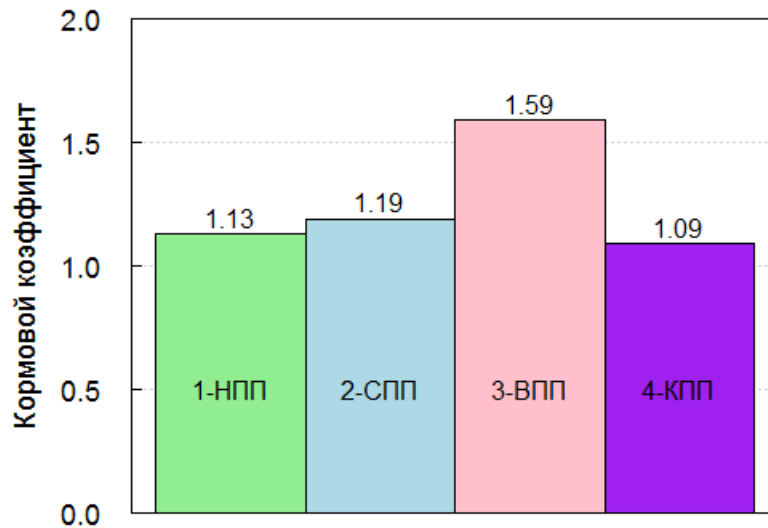
4.3 Оценка эффективности кормления судака

Помимо влияния температуры воды и плотности посадки на рост окуневых, и в частности судака, в искусственных условиях оказывают воздействие такие факторы как частота кормления и суточная доза [Kestemont et al., 2015].

Z. Zakęś с соавторами [2003] отмечают, что оптимальная суточная доза корма, позволяющая добиться высоких показателей скорости роста, для молоди судака начальной массы 25 г составляет 2,0 % от массы тела. Более того, наиболее высокое раскрытие ростовой потенции при данной суточной дозе наблюдается при температуре воды 22 °С. При выращивании в таких условиях, в ходе эксперимента, продолжавшегося 42 дня, конечная масса рыб составила 69,4 г при кормовом коэффициенте 0,75 [Zakęś et al., 2003].

Исходя из результатов наших исследований, описанных в предыдущем разделе, скорость роста судака за первые четыре месяца выращивания в промышленной УЗВ была ниже (таблицы 11, 12, 14, 15). Однако следует учитывать, что в нашем случае, на результатах выращивания судака в промышленных условиях, вероятно, сказался стресс после транспортировки и адаптация к новым условиям выращивания, а также более низкая температура воды. Поэтому, анализируя значения кормового коэффициента стоит отметить, что они согласуются с изменением величины коэффициента массонакопления, где минимальные значения первого зафиксированы в периоды ускорения роста, а максимальные при его снижении.

Динамика значений кормового коэффициента при кормлении судака на 210-240 и 240-330 сутки выращивания представлена на рисунках 24 и 25 соответственно.



210-240 сутки выращивания

Рисунок 24 - Динамика значений кормового коэффициента при кормлении судака в декабре 2011 г. (210-240 сутки выращивания)

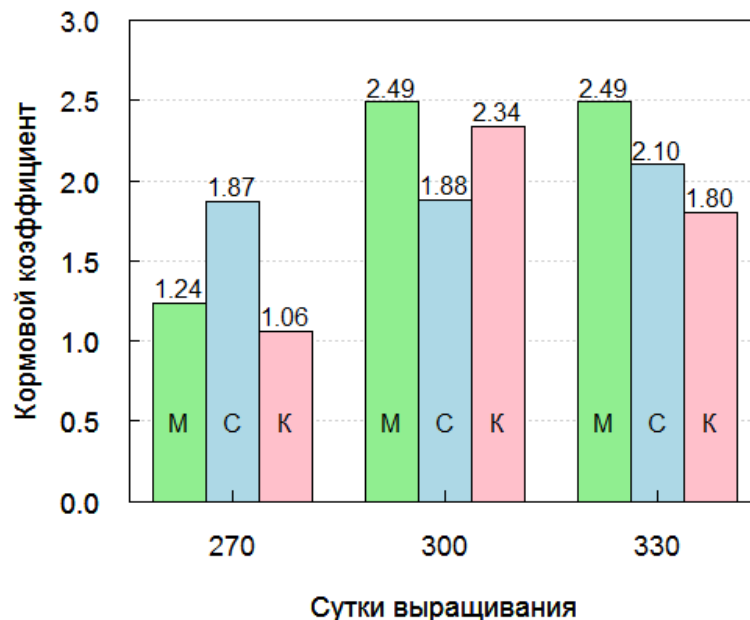


Рисунок 25 - Динамика значений кормового коэффициента при кормлении судака в период с января по апрель 2012 г. (240-330 сутки выращивания)

В декабре 2011 г. при выращивании судака на промышленной УЗВ ООО «ТПК «Балтптицепром» максимальное значение кормового коэффициента (1,59) отмечалось в третьей группе рыб, минимальное значение (1,09) – в четвертой группе. Суточная доза корма на данном этапе составляла 1,8 %.

В период с 03.01 по 03.04.2012 (240-330 сутки), максимальное значение кормового коэффициента – 2,49 было отмечено в мелкой группе рыб (М) в феврале и марте (300 и 330 сутки выращивания соответственно), минимальное – 1,06 в группе К в конце января 2012 г.

Была обнаружена сильная отрицательная корреляционная связь между значениями кормового коэффициента и коэффициента массонакопления только в группе М $-0,99 \pm 0,07$ при уровне значимости $p < 0,05$.

Динамика значений кормового коэффициента при кормлении судака в период с апреля по август 2012 г представлена на рисунке 26.

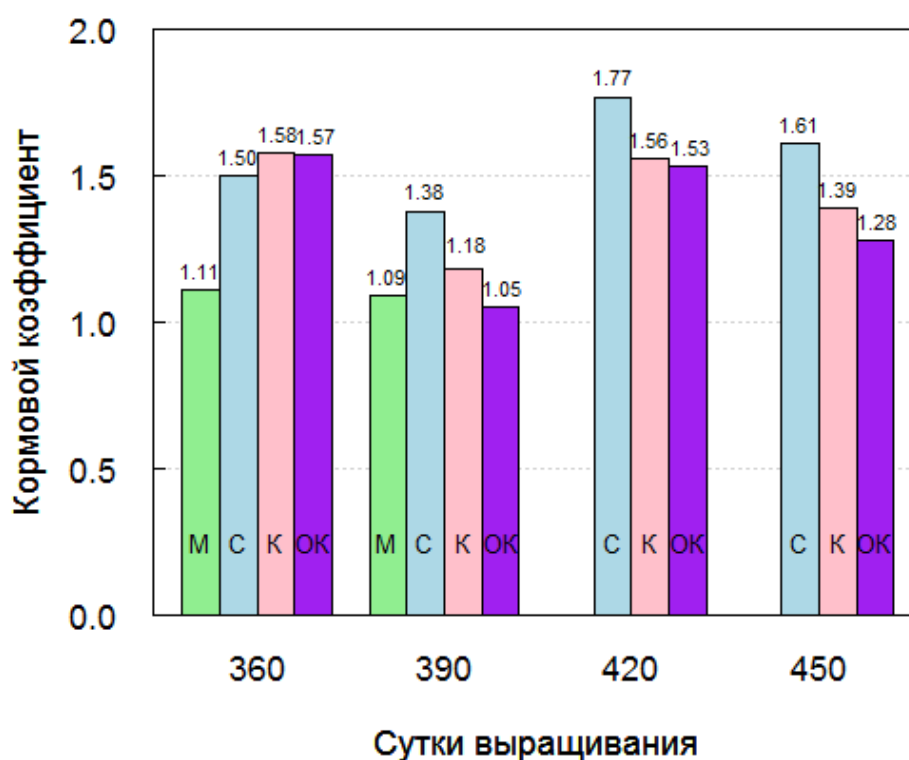


Рисунок 26 - Динамика значений кормового коэффициента при кормлении судака в период с апреля по август 2012 г. (330-450 сутки выращивания) в бассейнах УЗВ ООО «ТПК «Балтптицепром»

В период с апреля по август 2012 г. (330-450 сутки выращивания), максимальное значение кормового коэффициента – 1,77 было отмечено в группе рыб С на 420 сутки. Минимальное – 1,05 в группе ОК на 390 сутки.

Стоит отметить, что в литературе отсутствует информация об оптимальных суточных дозах корма для судака, имеющего массу 200 г и выше.

Известно, что кормовой коэффициент при выращивании многих видов рыб возрастает при увеличении плотности посадки [Маслов, 1973; Туменов, 2012; Liu et al., 2014]. После объединения мелкой (М) размерной группы со средней (С) отмечалось заметное увеличение значений кормового коэффициента в дальнейший период выращивания, что, возможно, было связано с увеличением активности в питании судака при уплотненной посадке и выносом части корма потоком воды из бассейна на механический фильтр. Суточные дозы понижали, значения изменялись в пределах 0,6-1,0 % от массы тела.

Динамика значений кормового коэффициента судака в период с сентября 2012 по апрель 2013 г. (480-690 сутки) отражена на рисунке 27.

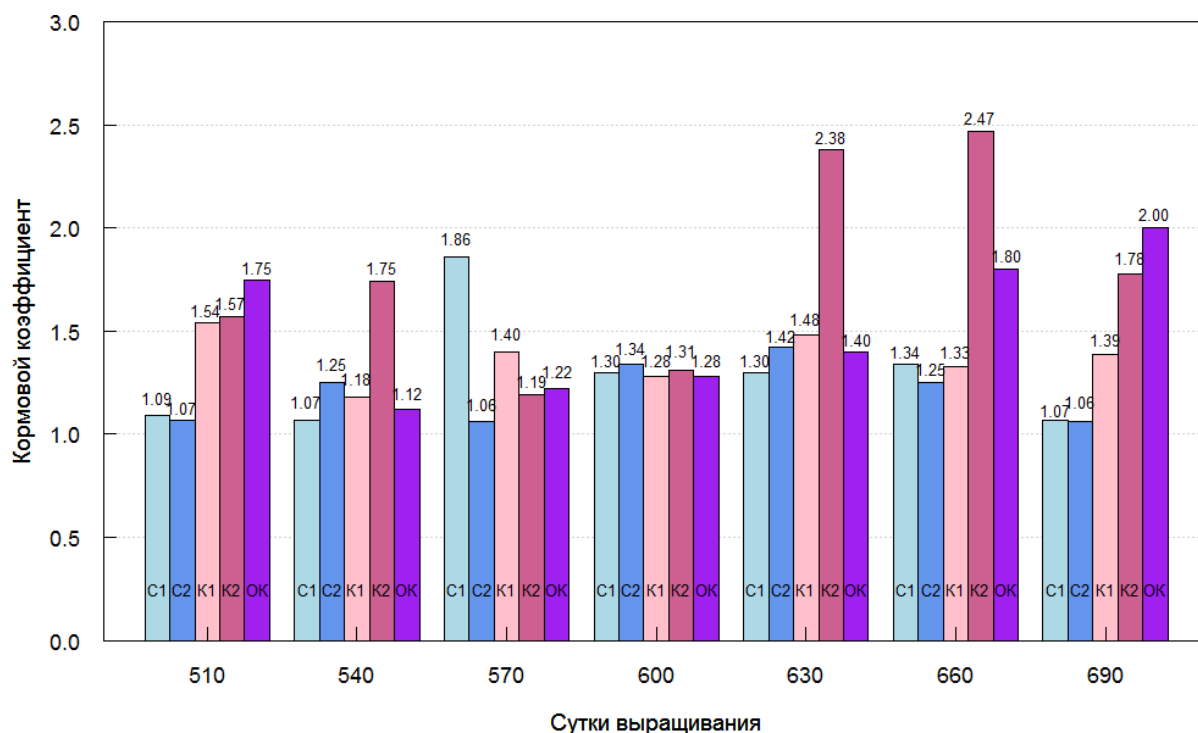


Рисунок 27 - Динамика значений кормового коэффициента при кормлении судака в период с сентября 2012 по апрель 2013 г. (480-690 сутки выращивания)

Максимальное значение кормового коэффициента в этот период – 2,47 было отмечено в размерной группе К2 в марте (660 сутки). Минимальное – 1,06 в группе С2 на 570 и 690 сутки выращивания. Суточные дозы изменялись в пределах 0,4-0,8 % от массы тела.

В среднем, выживаемость судака по всем группам за весь период составила 99 %, что говорит об успешной адаптации этого объекта к специфическим условиям выращивания в УЗВ. Следует отдельно отметить определенную капризность судака в питании, когда высокая активность сменяется периодами слабого реагирования на корм [Пьянов, 2012]. Представляется закономерным, что при выращивании судака суточная доза корма была не высокой, по сравнению с другими видами рыб, что свидетельствует о лучшей усвояемости питательных веществ, согласующейся с более интенсивным обменом веществ. В целом, это находит отражение в изменении величины кормового коэффициента (показано на рисунке 27). Согласно данным зарубежных исследователей, кормовой коэффициент при кормлении судака искусственными кормами в промышленных условиях колеблется в пределах нормы 0,8-2,0 [Zakęś et al., 2003].

В тоже время следует отметить, что максимальные значения кормового коэффициента на последнем этапе – 2,38 и 2,47 были отмечены лишь в группе К2 на 630 и 660 сутки соответственно. В остальных группах значения находились в пределах отмеченной нормы, что следует признать удовлетворительным результатом для рыб на этапах выращивания товарной продукции и говорит об успешной адаптации судака к искусственным кормам и о соответствии выбранной суточной дозы физиологическим потребностям особей. Обращает внимание, что максимальные значения кормового коэффициента приходятся на позднезимние - ранневесенние месяцы (февраль-апрель, 630-690 сутки выращивания), что может свидетельствовать о возрастании генеративной функции, с одной стороны, и сложных процессах в организме рыб,

проходящих первый этап доместикации, с другой стороны [Пьянов и др., 2016a].

4.3.1 Сравнительная оценка продукционных кормов

Важнейшей стороной полноценного питания является сбалансированность аминокислотного состава рациона в соответствии с потребностями организма, при определении которых устанавливают, сколько и каких незаменимых аминокислот должно быть в корме для нормального роста и развития рыб [Остроумова, 2012]. Недостаток незаменимых аминокислот в рационах приводит к повышенному потреблению белка и как следствие увеличивает кормовые затраты на единицу прироста [Щербина, Гамыгин, 2006].

При выращивании товарного судака в УЗВ применялись комбикорма рецептур: Aller Bronze 45/15 и Aller Trident, которые преимущественно используются для лососевых и осетровых видов рыб. Однако, как показали недавние исследования польских ученых [Jarmołowicz, Zakęś, 2014], судак обладает очень схожими с радужной форелью требованиями к незаменимым аминокислотам. Это в свою очередь допускает целесообразность использования форелевых кормов при индустриальном выращивании судака.

С декабря 2012 по март 2013 г. нами был проведен эксперимент по сравнительной оценке кормовых рецептур. Была применена новая опытная схема кормления. Для кормления групп рыб С2 и К2 использовали корм датской фирмы Aller Aqua, рецептуры Aller Trident. Рыб размерных групп С1, К1 кормили кормом голландской фирмы Coppens, рецептуры MariCo Focus. Как отмечает производитель, это высококачественный продукционный корм с пониженным содержанием жиров и высоким содержанием белка рыбной муки. В свою очередь, в зависимости от возраста рыб, корма, содержащие 43-50 % белка, 13-18 % липидов и 10-15 % углеводов полностью удовлетворяют пищевые потребности окуневых видов рыб [Kestemont et al., 2015]. Содержание жира в голландской рецептуре MariCo Focus на 4 % ниже, чем в корме Aller Trident. При этом первая была разработана специально для хищных ви-

дов рыб (преимущественно для морского окуня, европейского сома и судака), нуждающихся в пониженном содержании жира и большем количестве белка. Как отмечает С. Schultz [2007], корм, содержащий 10-12 % жира, более оптимален для судака. Состав питательных веществ, применяемых нами кормов, представлен в таблице 22.

Таблица 22 – Характеристика исследованных производственных кормов

Показатели	Aller Trident ¹	MariCo Focus ²
Сырой протеин, %	47,0	49,0
Сырой жир, %	14,0	10,0
Углеводы, %	19,0	-
Клетчатка, %	2,0	0,9
Зола, %	10,0	8,9
Азот в сухом веществе, %	8,2	-
Фосфор в сухом веществе, %	1,6	1,3
Валовая энергия (МДж/кг сухого вещества)	20,9	19,7
Переваримая энергия (МДж/кг сухого вещества)	16,0	18,0
Энерго-протеиновое отношение	2,2	2,5
¹ Aller Aqua A/S, Christiansfeld, Denmark		
² Coppens, Helmond, The Netherlands		

Эксперимент продолжался 90 суток. Суточная доза корма во всех группах составляла 0,5 % от массы тела. Результаты эксперимента приведены в таблице 23.

Таблица 23 – Результаты эксперимента по оценке производственных кормов

Показатель	Группы			
	C1 (Coppens)	K1 (Coppens)	C2 (Aller Aqua)	K2 (Aller Aqua)
Начальная масса, M ₀ , г	453,0±11,7	584,6±9,6	451,1±12,6	586,1±8,7
Конечная масса, M _t , г	643,3±13,1	773,0±13,2*	636,0±10,2	703,1±9,4*
Прирост, г	190,3±11,8	188,4±16,0*	184,9±13,0	117,0±13,9*
Коэффициент массонакопления	0,032	0,028	0,031	0,017
Удельная скорость роста, %/сут	0,39	0,31	0,38	0,20
Кормовой коэффициент	1,31	1,33	1,36	2,05
Выживаемость, %	98,9	99,3	99,8	99,1
* различия достоверны при p < 0,05				

При статистическом анализе достоверными оказались различия в конечной массе и по приросту между группами К1 и К2 ($p < 0,01$). Действительно, при кормлении рецептурой MariCo Focus конечная масса у рыб первой группы была почти на 70 г выше таковой у рыб группы К2, которых кормили кормом Aller Trident. Различия между конечной массой рыб в средних группах С1 и С2 оказались недостоверными. Обе группы в течение 90 суток кормления разными рецептурами продемонстрировали схожий прирост массы тела.

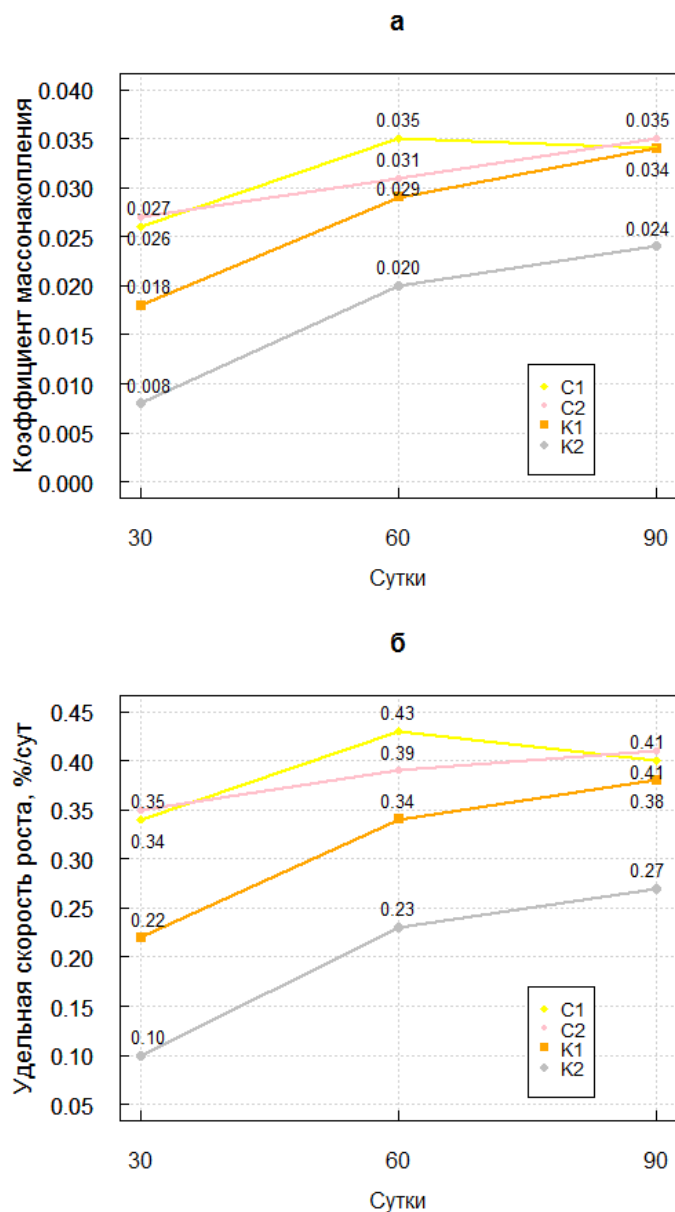
У рыб в группах С1 и К1, при кормлении которых использовался корм Correns MariCo Focus, отмечены высокие показатели роста. Масса рыб за 90 суток увеличилась на $190,3 \pm 11,8$ и $188,4 \pm 16,0$ г соответственно. При кормлении кормом Aller Trident скорость роста оказалась несколько ниже, что можно отметить как по значениям конечной массы и прироста, где масса рыб у группы С2 увеличилась на $184,9 \pm 13,0$ г, у группы К2 на $117,0 \pm 13,9$ г, так и по значениям общепродукционного коэффициента массонакопления и удельной скорости роста (рисунок 28).

Наименьшее значение этого показателя было отмечено в группе К2 на 30 сутки эксперимента – 0,008. Наибольшее значение отмечено в группе С1 на 60 сутки – 0,035. Аналогичная тенденция зафиксирована в значениях удельной скорости роста с минимальным значением 0,10 %/сут в группе К2 и максимальным 0,43 %/сут в группе С1 на 30 и 60 сутки соответственно.

Максимальное значение кормового коэффициента было отмечено в группе К2 и составило 2,05. В остальных группах значения колебались в пределах 1,31-1,36, что может говорить об эффективном расходовании питательных веществ на прирост. Наименьшее значение этого показателя отмечено в группе С1 – 1,31.

В рыбоводстве, часто пытаются снизить долю белка корма, используемого на энергетические нужды, заменив эту его часть в корме на жиры. Известно, что включение жира до 17 % в корма лососевых рыб оказывало по-

ложительное действие на рыбоводные и физиологические показатели без каких-либо отклонений от нормы [Остроумова, 2012]. Тем не менее чрезмерное содержание липидов в корме может оказывать негативный эффект на рост и здоровье рыбы посредством накопления жировых отложений в организме [Lee, Kim, 2005; Wang et al., 2006].



а - коэффициент массонакопления

б - удельная скорость роста

Рисунок 28 – Динамика показателей скорости роста судака во время эксперимента

Как показывает наше исследование, скорость роста оказалась выше в группах рыб, потреблявших корм с более низким содержанием жира. Причиной этого, вероятно, послужило более оптимальное для судака соотношение липидов и белков в рационе MariCo Focus. Схожие результаты обнаружены в экспериментах с речным и желтым окунем, где наиболее высокая скорость роста была достигнута при кормлении экспериментальными кормами, в сухом веществе которых содержалось 40 % белка и 10 % жира [Brown et al., 1996; Fiogbé et al., 1996; Kestemont et al., 2001]. При этом С. Schulz с соавторами [2008] отмечают, что молоди судака присущи низкие значения кормового коэффициента и хорошие показатели среднесуточного прироста при кормлении кормами с содержанием жира до 17 %, что вполне объяснимо, т.к. потребность в энергетических и пластических веществах у рыб меняется с возрастом [Остроумова, 2012].

4.4 Обсуждение результатов и рекомендации

Стоит выделить, что на 3-м этапе выращивания у рыбы было отмечено снижение скорости роста и зафиксировано снижение пищевой активности. На этом и последующих этапах рыба не готова потреблять больше 0,8 % суточной дозы корма. Ввиду отсутствия данных о конкретных параметрах роста взрослых особей судака, остается неясным, связано ли это замедление в росте с низкой пищевой активностью или же с низкой эффективностью продукционных кормов. Относительно высокие значения кормового коэффициента, обнаруженные у молоди судака в целом оказались выше, чем у других окуневых видов [Zakęś et al. 2003].

Повысить уровень потребления корма возможно путем увеличения ежедневной частоты кормления. Как отмечают S. Zienert и S. Heidrich [2005], непрерывная автоматическая раздача корма мелкими дозами в течение 24 ч для судака является более предпочтительной. Однако, как отмечает С. Schulz с соавторами [2005], автоматические кормораздатчики приводят к высоким значениям кормового коэффициента (более 3). В нашем случае ежедневное

двукратное кормление положительно отразилось на приросте, среднее значение кормового коэффициента за весь период выращивания составляло 1,27.

Как правило, окуневые, как и другие виды рыб имеют различные индивидуальные темпы роста. Так, в нескольких исследованиях с судаком обнаружена внутригрупповая изменчивость массы тела [Zakęś et al. 2006]. Польские ученые характеризуют судака как спокойного и неагрессивного потребителя искусственных кормов даже в условиях ограниченности пищи [Zakęś et al. 2006]. Это подтвердилось и в нашем исследовании. На протяжении всего периода выращивания, судак проявлял относительно невысокую активность к внесенному корму. Но, несмотря на это, визуально в бассейнах по характеру питания можно было выделить две группы рыб: активную, рыбы которой поедали корм непосредственно в толще воды в момент его внесения и пассивную, которым доставались лишь несъеденные ранее гранулы, поедание которых осуществлялось с дна бассейна.

Исследования, проведенные с радужной форелью [McCarthy et al., 1992] и судаком [Zakęś et al., 2003] показали, что доминирование между группами рыб связано с пищевой конкуренцией. В обоих случаях это было вызвано ограничительным режимом кормления, что нельзя применить к настоящему исследованию, так как выращиваемую рыбу не ограничивали в количестве вносимого корма.

По сравнению с другими видами, такими как атлантический лосось и европейский угорь, судак предпочитает корм, имеющий относительно небольшой размер гранул. Так, при кормлении судака массой 70-100 г кормом с диаметром гранул 4,5 мм через некоторое время увеличивается внутригрупповая изменчивость массы тела [Zakęś et al. 2013]. Чтобы этого избежать, по нашему мнению, наиболее подходящий диаметр гранул на первом и втором этапе товарного выращивания (от посадочного материала до массы 150 г) должен быть в пределах 2,0-3,2 мм. При достижении средней массы 150 г рыбу можно переводить на гранулы 4,5 мм.

На поздних этапах, когда пищевая активность судака снижается, рыбу необходимо кормить кормом максимально возможного диаметра [Zienert, Heidrich, 2005]. В нашем исследовании при достижении средней массы 500-600 г рыбу переводили на гранулы 6,0-8,0 мм.

Для товарного выращивания судака цех можно разделить на два участка. Первый участок – для выращивания судака от посадочного материала до 300 г, который ориентирован на выращивание крупной молодежи и проведение завершающих сортировок с помощью сортировального устройства. Второй участок служит для выращивания судака от 300 г до конечной товарной массы. Он ориентирован на доведение рыбы до товарных кондиций без проведения сортировок.

Как показали наши результаты, как и при выращивании посадочного материала, так и на этапах товарного выращивания скорость роста судака находится в обратной связи с плотностью посадки в бассейнах УЗВ. При этом стоит отметить, что такие хищные рыбы как радужная форель и нерка при увеличенной плотности лучше потребляют корм, а при низких плотностях становятся более агрессивными [Романенко, 1983; Линник, 1986; Запорожец, Запорожец, 2000].

Отдельно стоит отметить, что полученная первая генерация судака, вполне пригодна для рыбоводных целей. Так, часть рыб этой генерации впоследствии была отправлена нами на формирование маточного стада. Как результат, первые этапы domestikации судака в условиях УЗВ показали не только увеличение темпов роста выращиваемой рыбы, но и положительное влияние управляемого температурного режима на сокращение возраста первого созревания, что позволило добиться хороших рыбоводных показателей производителей судака, рабочая плодовитость которых составляла $23,3 \pm 1,1$ тыс. шт., а относительная рабочая плодовитость $58,2 \pm 1,9$ тыс. шт./кг [Пьянов и др., 2016б].

Полученные в ходе экспериментов результаты позволяют рекомендовать биотехнические нормативы выращивания судака до товарной массы в УЗВ, которые представлены в таблице 24.

Таблица 24 – Биотехнические нормативы выращивания товарного судака в УЗВ

Показатель	Значение
Выращивание молоди судака до 300 г	
Температура воды, °С	22-24 (допустимая 20-22)
Содержание растворенного в воде кислорода, мг/л	6-8
Водородный показатель (рН)	6,5-7,5
Содержание нитритов (NO ₂), мг/л	не более 0,6
Содержание нитратов (NO ₃), мг/л	не более 100
Объем бассейна, м ³	5-8
Водообмен в бассейнах, раз/ч	1
Соленость, ‰	0
Освещенность, лк	50
Плотность посадки, шт/м ³	100-200
Суточная доза, % от массы тела при массе рыб (г):	
20-50	1,6-2
50-75	1,6-2
75-100	1,2-1,6
100-150	1,0-1,2
150-300	0,6-0,8
Выживаемость, %	97%
Выращивание судака до товарной массы	
Показатель	Значение
Температура воды, °С	22-24
Содержание растворенного в воде кислорода, мг/л	7-8
Водородный показатель (рН)	6,5-7,5
Содержание нитритов (NO ₂), мг/л	не более 0,6
Содержание нитратов (NO ₃), мг/л	не более 100
Объем бассейна, м ³	5-8
Водообмен в бассейнах, раз/ч	1
Соленость, ‰	0
Освещенность, лк	50
Плотность посадки, шт/м ³	50-80
Суточная доза, % от массы тела, при массе рыб (г):	
300 – 400	0,7-0,8
400 – 600	0,6-0,7
600 – 800	0,5-0,6
800 – 1200	0,4-0,5
Выживаемость, %	95 %

5 ОЦЕНКА ФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СУДАКА

5.1 Оценка химического состава тела судака выращенного в УЗВ

Материал по химическому составу искусственно выращенного судака опубликован в статье «Рост и оценка химического состава судака (*Sander luciperca* L.), выращенного в искусственных условиях» [Пьянов, Дельмухаметов, 2016].

Влияние факторов окружающей среды, и в частности, характер естественной пищи, оказывает влияние на химический состав дикой рыбы. Химический состав судака, выращенного в контролируемых условиях на искусственных кормах, может отличаться.

В таблице 25 представлен химический состав мышечной ткани судака мороженого и судака живого, выращенных в промышленной УЗВ ООО «ТПК «Балтптицепром», а также химический состав тела дикого судака.

Таблица 25 – Химический состав мышечной ткани судака ($M \pm m$, $n=6$)

Тип	АЛО, %	Влага, %	Белок, % ($N_{\text{общ}} \times 6,25$)	Жир, %	Зола, %
Мороженный	0,0187±0,0011	78,26±0,44	20,91±0,62	0,77±0,15*	0,99±0,09*
σ	0,00	0,75	1,07	0,26	0,17
CV, %	10,21	0,96	5,12	34,10	16,65
Живой	0,0147±0,0017	78,27±0,34	18,95±2,45	1,34±0,18*	1,62±0,21*
σ	0,00	0,59	4,24	0,32	0,36
CV, %	20,45	0,76	22,42	23,49	22,29
Дикий судак [Скурихин, 2007; Справочник по химическому составу..., 1999]	-	79,2 – 80,5	16,9 - 18,4	0,8 – 1,2	0,6 - 1,3
* различия достоверны при $p < 0,05$					

Химический состав мышечной ткани изученных рыб был различен. При сравнении показателей мороженой и живой рыбы, достоверные различия были отмечены по процентному содержанию жира и золы ($p < 0,05$). Так, пониженное содержание жира в мороженной рыбе может быть вызвано его окислением в процессе заморозки и хранения в течение месяца, что может

привести к последующему ухудшению качества продукта [McGill et al., 1974; Mackie, 1993]. Зола в мышечной ткани содержит важные минеральные вещества. Процентное содержание золы в мороженом судаке ($0,99 \pm 0,09$ %) также уменьшилось по отношению к живому ($1,62 \pm 0,21$ %). Корреляционных связей между значениями АЛЮ, влаги и белка не выявлено. В условиях заморозки количество бактерий и их активность постепенно снижаются, поэтому небольшое увеличение АЛЮ могло быть вызвано распадом триметиламиноксида [Huss, 1995].

Известно, что пищевая ценность рыбы определяется наличием в составе ее мяса полноценных белков, легкоусвояемых жиров и минеральных веществ [Горелик, Костенко, 2009].

У судака, выращенного в искусственных условиях, содержание белка 18,95 %, в то время как у судака Куршского залива оно значительно меньше и, в среднем, составляет 16,90 % [Справочник по химическому составу..., 1999].

В таблицах химического состава и калорийности российских продуктов питания [Скурихин, 2007] по живому судаку приводятся следующие значения: влага 79,2 %, белок 18,4 %, жир 1,1 %, зола 1,3 %. Сравнивая значения химического состава выращенного судака с данными из литературных источников, отметим, что более высокие значения по некоторым параметрам (белок, жир) могут свидетельствовать о более высокой пищевой ценности искусственно выращенной рыбы. Более высокое содержания жира (1,3 %) у судака из УЗВ, вероятно, обусловлено относительно меньшей подвижностью (ограниченные объемы бассейнов), а также применением искусственных кормов.

5.2 Концентрация и динамика лизоцима в органах судака

Неспецифические факторы защиты у рыб характеризуются большим разнообразием и быстротой активации. Лизоцим, протеолитический фермент

группы гликозидаз НФ 3.2.1.17, является важным компонентом врожденной защиты. Этот показатель неспецифического иммунитета обнаруживается в организме рыб в тканях, слизи, плазме крови, секреторных выделениях и других биологических жидкостях, а его активность отражает модулирующее действие защитной системы организма [Куровская, Стрелько, 2016; Лапирова, Флёрва, 2013; Суботкина, Суботкин, 2012; Saurabh, Sahoo, 2008].

Лизоцим оказывает бактерицидное или бактериостатическое действие на сапрофитов и патогенные микробы. Помимо антибактериальной функции, лизоцим способствует фагоцитозу посредством активации полиморфноядерных лейкоцитов и макрофагов [Лукьяненко, 1989].

Бактерицидная активность тканей у разных видов неодинакова. Как отмечает В.И. Лукьяненко [1971], подобно большинству хищных видов рыб, ярко выраженное антибактериальное действие также выявлено в органах и тканях судака [Курапова и др., 2012а, 2012б, 2013].

Нами была изучена активность тканевого лизоцима в печени, селезенке и жабрах искусственно выращенного судака. Результаты исследования представлены в таблице 26 и на рисунке 29.

Таблица 26 - Концентрация лизоцима в органах судака, мкг/г

Показатель	Размерные группы	$\bar{X} \pm SE\bar{X}$	σ	CV, %	N, шт
Печень	C1	1,89±0,21	0,12	10,91	15
	K1	1,54±0,80	0,62	69,65	12
	K2	1,93±0,19	0,11	9,93	12
	OK	2,96±1,66	0,96	56,17	10
Селезёнка	C1	0,54±0,19	0,11	34,74	15
	K1	3,88±0,50	0,29	12,89	12
	K2	1,92±0,19	0,11	9,75	12
	OK	3,00±1,11	0,64	37,06	10
Жабры	C1	1,93±0,19	0,11	9,93	15
	K1	2,76±1,71	0,81	51,06	12
	K2	1,46±0,31	0,18	21,37	12
	OK	3,27±1,91	1,10	58,40	10

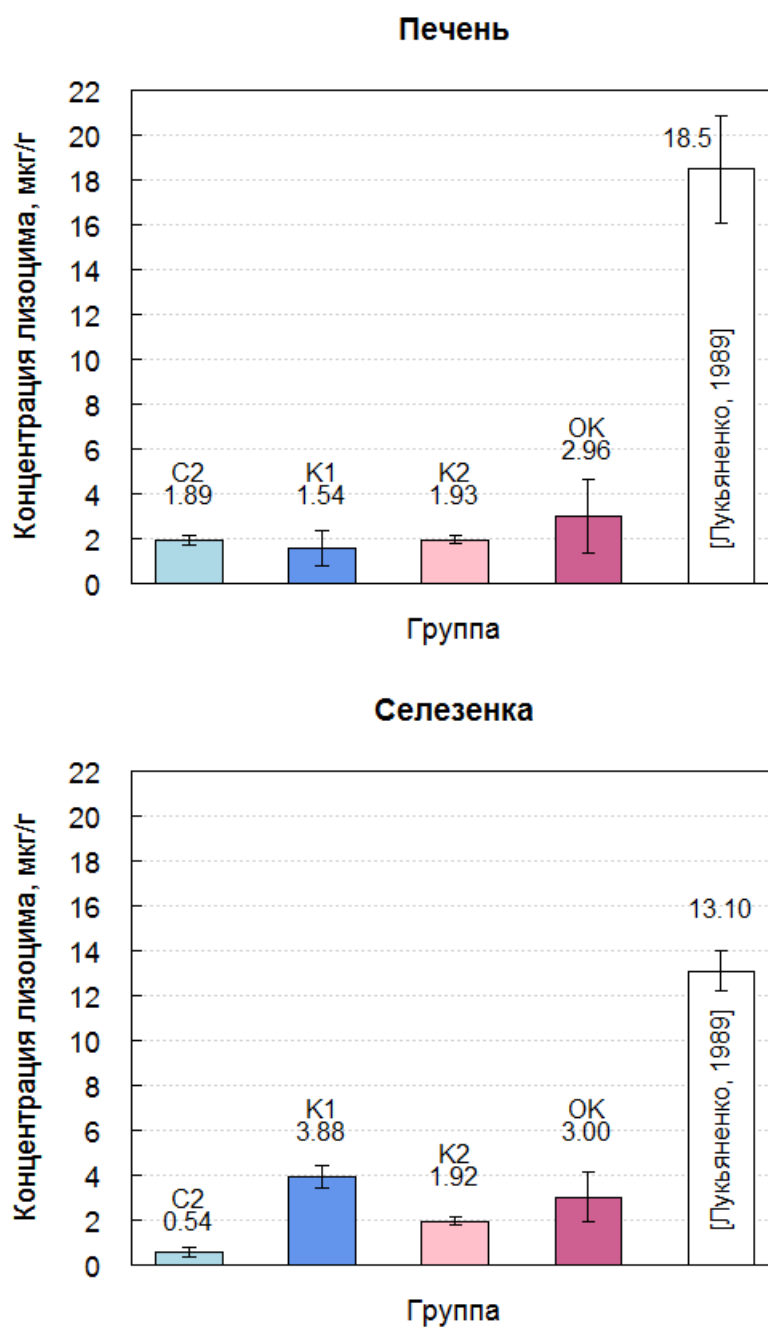


Рисунок 29 – Концентрация лизоцима во внутренних органах судака

Следует отметить, что имеющиеся литературные данные по концентрации лизоцима во внутренних органах судака малочисленны. Известно, что печень и селезенка богаты лимфоидной тканью и клетками ретикуло-эндотелиальной системы, поэтому в них интенсивно протекают процессы фагоцитоза. Эти органы осуществляют барьерные функции, задерживая в себе

антиген, препятствуя его дальнейшему распространению по организму [Лукьяненко, 1989].

При исследовании было выявлено достоверное различие между концентрацией лизоцима в печени у судака групп ОК ($2,96 \pm 1,66$ мкг/г) и К1 ($1,54 \pm 0,80$ мкг/г) при $p < 0,05$. В группах С1 и К2 концентрация лизоцима имела промежуточное значение - $1,89 \pm 0,21$ и $1,93 \pm 0,19$ мкг/мл соответственно, достоверных различий с другими группами не отмечено. По имеющимся литературным данным концентрация лизоцима в печени у судака из естественной среды составляет в среднем $18,50 \pm 2,40$ мкг/г [Лукьяненко, 1989].

В селезенке концентрация лизоцима сильно варьировала в различных группах. Достоверно наибольшая концентрация лизоцима была отмечена у судака в группе крупные 1 (К1) и составила в среднем $3,88 \pm 0,50$, а минимальная у рыб в группе С1 - $0,54 \pm 0,19$ мкг/г. Различия между этими группами оказались достоверными при $p < 0,05$.

У судака из групп крупные 2 (К2) и очень крупные (ОК) концентрация лизоцима имела промежуточное положение - от $1,92 \pm 0,19$ (не достоверно в сравнении с другими группами) до $3,00 \pm 1,11$ мкг/г (достоверно при $p < 0,01$ в сравнении с группой К1). У судака из естественной среды концентрация лизоцима в период нагула летом и осенью составляет $13,10 \pm 0,90$ мкг/г, а во время нерестового хода весной увеличивается до $18,20 \pm 2,16$ мкг/г [Лукьяненко, 1989].

Жабры, находясь в прямом контакте с внешней средой, играют ключевую роль в защите организма от патогенов. В жабрах судака концентрация лизоцима варьировала от $1,46 \pm 0,31$ (крупные 1) до $3,27 \pm 1,91$ мкг/г (очень крупные) (рисунок 34). Максимальная концентрация лизоцима в жабрах (достоверно в сравнении с другими группами при $p < 0,001$) отмечена $3,27 \pm 1,91$ мкг/г в группе ОК. Значения концентрации лизоцима в группах С1, К1 и К2 не демонстрируют достоверных между собой различий. Какие-либо данные

по активности лизоцима в жабрах у судака из естественной среды отсутствуют.

На содержание или активность лизоцима у рыб также влияет рН водной среды, проявляясь при значениях от 4 до 8,6 [Лукьяненко, 1989]. Так, оптимальными диапазонами для действия лизоцима у русского осетра являются величины рН 6,0–6,4 [Кольман, 2004], у серебряного карася рН 6,8–7,2 [Куровская, Стрелько, 2016]. В рамках данной работы детализированная оценка влияния водородного показателя на активность лизоцима у судака не проводилась. Как было отмечено ранее, среднее значение рН воды при выращивании товарного судака в среднем составляло $7,58 \pm 0,02$.

Во всех случаях значения концентрации лизоцима, вызванные реакцией организма на специфические условия выращивания, у исследованных нами рыб оказались ниже, чем у судака из естественной среды. Это говорит о том, что в УЗВ для выращиваемой рыбы были созданы благоприятные условия.

5.3 Гематологические показатели судака

Помимо иммунологических показателей, для полной оценки физиологического состояния рыбы необходимо изучение ее крови для установления гематологического статуса судака в УЗВ.

У выращенного в промышленной УЗВ судака оценивали такие показатели, как концентрация гемоглобина, эритроцитов, общего белка в сыворотке крови и среднее содержание гемоглобина в эритроците. Полученные результаты сравнивались с имеющейся информацией о гематологических показателях судака различного возраста и массы из естественных водоемов [Кузина, 2009; Кузьмина, 1967; Савина, 2004], с гематологическими показателями судака, выращенного на УЗВ ООО «КМП Аква» (особи близкого возраста и массы) в 2009–2010 гг. [Дельмухаметов, 2012], а также с данными А.В. Ми-

щенко и А.Б. Бегмановой [2013] по гематологическим показателям судака, выращенного в промышленных условиях.

На рисунке 30 представлены значения гематологических показателей товарного судака, а также судака, выращенного в промышленных условиях на УЗВ ООО «КМП Аква» [Дельмухаметов, 2012].

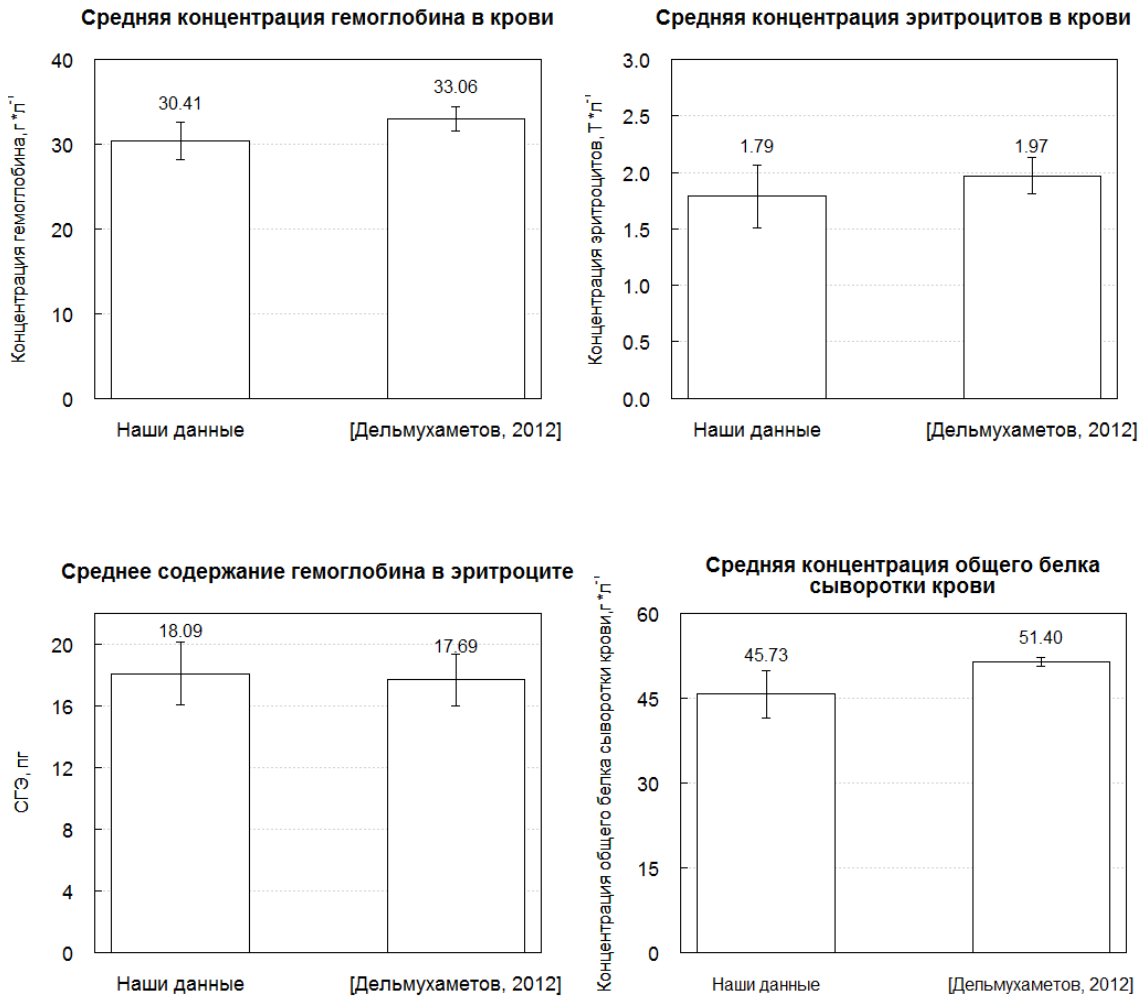


Рисунок 30 – Гематологические показатели исследованного нами товарного судака, а также судака из УЗВ «ООО КМП Аква» [Дельмухаметов, 2012]

Средняя концентрация гемоглобина в крови исследованных нами экземпляров судака составила $30,41 \pm 2,23$ г·л⁻¹. Минимальное значение концентрации гемоглобина составило 25,00 г·л⁻¹, максимальное – 36,66 г·л⁻¹.

Достоверных различий с концентрацией гемоглобина у судака близких возраста и массы, выращенного на ООО «КМП Аква», не отмечено. Таким образом, дефицита или повышенного содержания гемоглобина в крови у исследованных особей в сравнении с особями из УЗВ ООО «КМП Аква» не выявлено.

Концентрация гемоглобина в крови исследованных особей судака в целом соотносится с данными, приводимыми различными авторами для судака из естественных водоемов [Кузьмина, 1967; Савина, 2004] - $28-77 \text{ г}\cdot\text{л}^{-1}$, и судака, выращиваемого в УЗВ - $25,00-56,16 \text{ г}\cdot\text{л}^{-1}$ [Дельмухаметов, 2012]. При этом в УЗВ ООО «КМП Аква» судака выращивали с целью формирования маточного стада при разряженной посадке и кормили кормом иной рецептуры (Aller Sturgeon Rep).

Относительно невысокие, по сравнению с показателями судака из естественных водоемов, значения концентрации гемоглобина, вероятно, связаны с более благоприятными кислородными условиями в УЗВ (картина аналогична для обеих установок) [Временные рекомендации..., 1981]. Сходную картину можно увидеть, например, в исследованиях А.В. Мищенко и А.Б. Бегмановой [2013]: $37,1\pm 4,3 \text{ г}\cdot\text{л}^{-1}$ для судака, выращиваемого в бассейнах против $65,75\pm 3,85 \text{ г}\cdot\text{л}^{-1}$ для судака в прудах. Правда, в данном случае, речь идет о рыбе значительно меньшей массы (40-55 г) и возраста (170-180 сут.).

Средняя концентрация эритроцитов в крови судака составила $1,79\pm 0,28 \text{ Т}\cdot\text{л}^{-1}$, минимальное значение составило $1,63 \text{ Т}\cdot\text{л}^{-1}$, максимальное – $2,18 \text{ Т}\cdot\text{л}^{-1}$. Достоверных различий со значениями, характерными для судака ООО «КМП Аква» схожей массы и возраста, не отмечено.

У исследованных экземпляров судака концентрация эритроцитов в крови находилась в пределах значений, характерных как для рыбы из естественных водоемов ($1,30-2,26 \text{ Т}\cdot\text{л}^{-1}$) по данным различных авторов [Кузьмина, 1967; Савина, 2004], так и для судака, выращиваемого в условиях УЗВ ООО «КМП Аква» ($1,97-2,57 \text{ Т}\cdot\text{л}^{-1}$ [Дельмухаметов, 2012]).

Отметим, что концентрация эритроцитов в крови судака из обеих УЗВ по сравнению с показателями для рыбы из естественных водоемов, была достаточно высокой. Это позволяет сделать вывод об отсутствии негативных изменений в физиологическом состоянии рыб, отражающихся на концентрации эритроцитов или интенсивности эритропоэза.

Среднее значение содержания гемоглобина в эритроците (СГЭ) крови исследованных нами экземпляров судака составило $18,09 \pm 2,04$ пг. Минимальное значение СГЭ у исследованных экземпляров - 14,45; максимальное – 24,09 пг. В целом, значения СГЭ оказались близкими к зафиксированным у судака в условиях УЗВ ООО «КМП Аква» [Дельмухаметов, 2012] - 11,98-21,96 пг. Достоверных различий между значениями СГЭ у особей близкой массы и возраста из двух рассматриваемых УЗВ, также не отмечено.

Минимальная концентрация общего белка в сыворотке крови (ОБС) составила $35,1 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$, максимальная $52,5 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$. Среднее значение концентрации ОБС составило $45,73 \pm 4,16 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$. Достоверных различий между значениями концентрации ОБС для рыб близкой массы и возраста из двух рассматриваемых УЗВ не выявлено.

Согласно литературным данным [Кузьмина, 1967], концентрация общего белка в сыворотке крови судака Куршского залива колеблется в пределах $20-60 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$. А.В. Мищенко и А.Б. Бегманова [2013] отмечают для судака, выращенного в бассейнах, содержание ОБС $52,5 \pm 1,3 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$, что достаточно близко к полученным нами значениям (оговоримся, что как уже упоминалось, речь идет о рыбе меньшей массы и возраста). Для судака, выращиваемого в условиях УЗВ ООО «КМП Аква», характерны значения концентрации ОБС $46,5-52,6 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$ [Дельмухаметов, 2012].

Сравнивая полученные нами результаты с литературными данными, можно отметить, что значения концентрации ОБС исследованных экземпляров судака достаточно высоки. Это, по всей вероятности, может служить показателем нормального хода физиологических процессов.

По результатам исследований нами не выявлено существенных негативных изменений в гематологическом статусе изученных экземпляров судака. Все исследованные гематологические показатели в целом находились в пределах значений, характерных для судака, выращенного в индустриальных условиях.

5.4 Морфофизиологическая характеристика товарного судака

Отдельные данные по гематологическим и иммунологическим показателям не могут дать полную оценку физиологического состояния рыбы.

Для получения более полной картины физиологического состояния выращиваемой рыбы, применяли метод морфофизиологических индикаторов [Шварц и др., 1968], что дало возможность охарактеризовать влияние факторов внешней среды (абиотических и биотических) на физиологическое состояние выращиваемого судака.

В целях оценки морфофизиологических показателей рыбу вскрывали и взвешивали внутренние органы: печень, селезенку, сердце. Соответственно рассчитывались индексы печени, селезенки и сердца у судака возрасте 180 суток (средней массой $38,9 \pm 2,51$ г, $n=15$), в возрасте 360 суток (средней массой $101,27 \pm 4,08$ г, $n=15$) и в возрасте 510 суток (средней массой $269,2 \pm 0,13$ г, $n=15$). Данные расчетов показаны на рисунке 31.

Полученные нами результаты по судаку в возрасте 510 суток сравнивались с морфофизиологическими показателями ремонта судака близкого возраста, выращенного в УЗВ [Дельмухаметов, 2012]. Данные индексов внутренних органов судака раннего возраста в литературе отсутствуют.

Средние значения индекса печени исследованных нами экземпляров судака в возрасте 180, 360 и 510 суток составили $0,19 \pm 0,02$; $0,80 \pm 0,09$ и $0,65 \pm 0,08$ % соответственно. Различия между всеми группами оказались достоверными при $p < 0,05$. Максимальное отмеченное нами значение индекса печени судака составило 0,89 %.

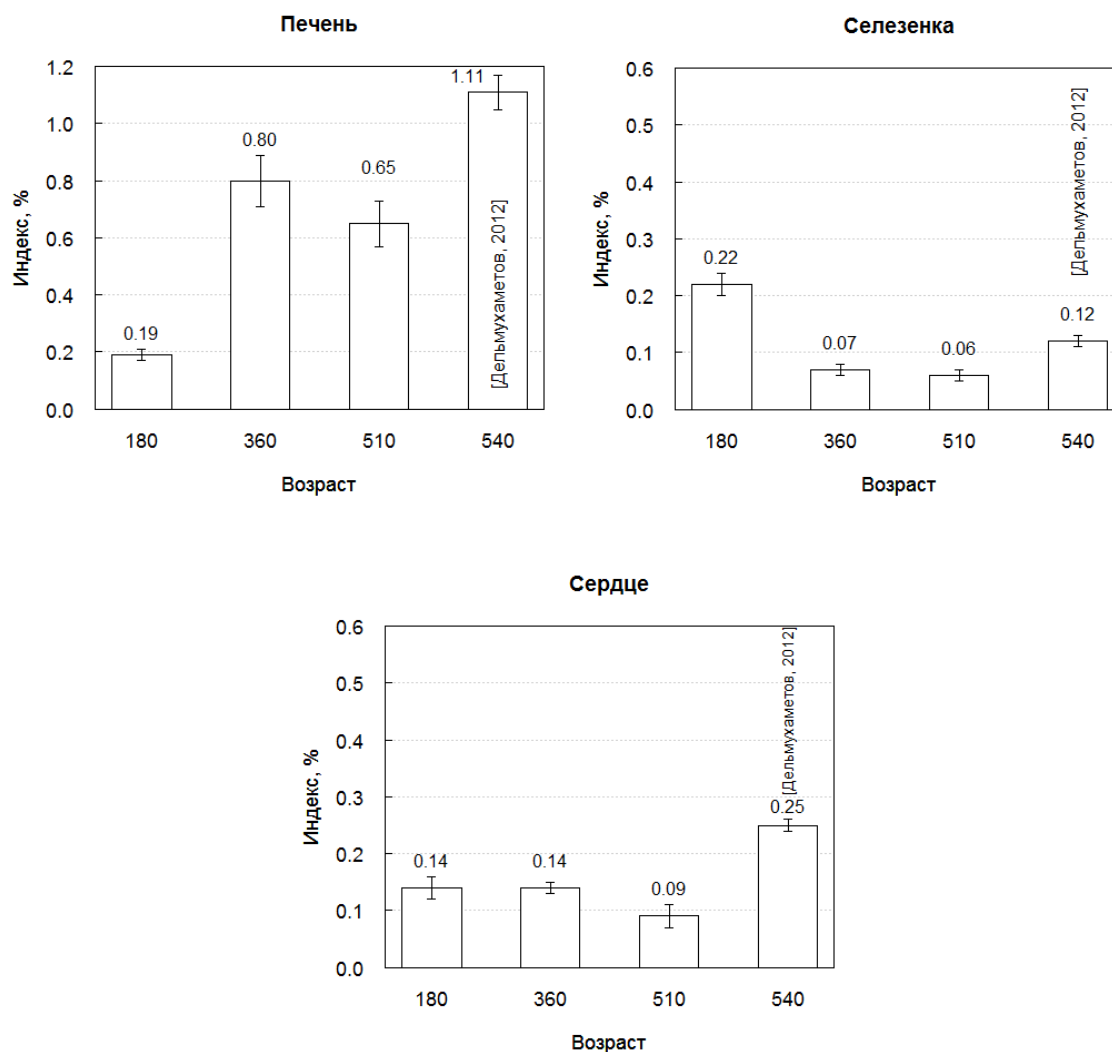


Рисунок 31 – Морфофизиологические показатели судака, выращенного в УЗВ

Полученные нами данные близки к таковым, приводимым в литературе по индексу печени для судака, выращиваемого в условиях УЗВ ($0,68 \pm 0,03$ % [Дельмухаметов, 2012]).

При этом, у судака из естественной среды индекс печени заметно варьирует: в Куршском заливе – $1,58 \pm 0,06$ % [Голубкова, 2003], в Южных регионах, в частности в водоемах Украины от $0,60 \pm 0,04$ до $1,13 \pm 0,10$ % [Причепя, 2013]. Здесь необходимо учитывать локальную антропогенную нагрузку на водоемы. Печень как орган, отвечающий за компенсаторные изменения различных физиологических систем рыб, реагирует на изменения экологических

параметров водной среды (ионный состав воды, наличие в воде токсинов) относительным увеличением своей массы [Причепа, 2013]. Помимо этого, величина индекса печени меняется в зависимости от физиологического состояния, состава и количества корма [Божко, Смирнов, 1976]. А. Б. Дельмухаметов [2012] также связывает низкие значения индекса печени с более высоким темпом роста в условиях УЗВ.

Наши данные могут говорить о возможной нормализации физиологического состояния в период после 12 месяцев выращивания, негативные изменения которого предположительно были вызваны отчасти отклонениями в условиях выращивания, а также кормлением искусственными кормами, не полностью соответствующими потребностям вида.

Индекс селезенки исследованных нами экземпляров судака достаточно невысок. Средние значения индекса селезенки у исследованных экземпляров судака в возрасте 180, 360 и 510 суток составили $0,22 \pm 0,02$; $0,07 \pm 0,01$ и $0,06 \pm 0,01$ % соответственно. Различие между значениями в возрасте 180 и 510 достоверно при $p < 0,01$.

Невысокий индекс селезенки, вероятно, связан с функцией селезенки, как органа, осуществляющего эритропоэз, запасного резервуара для эритроцитов. В свою очередь, уменьшение массы селезенки может свидетельствовать об изменениях качественных параметров воды, особенно содержания растворенного кислорода в выростных емкостях на определенных этапах выращивания. При этом в естественной среде индекс селезенки судака может варьировать от 0,05 до 0,29 % [Голубкова, 2003; Причепа, 2013]. Полученные нами данные близки к этим значениям.

Индексы сердца судака в возрасте 180, 360 и 510 суток характеризовались средними значениями $0,14 \pm 0,02$; $0,14 \pm 0,01$ и $0,09 \pm 0,02$ % соответственно. Различия между значениями в возрасте 180 и 510 суток и 360 и 510 суток достоверны при $p < 0,05$ в обоих случаях. Согласно литературным данным, среднее значение индекса сердца судака в возрасте 15-18 месяцев в условиях

УЗВ, колеблется в пределах 0,15-0,25 % [Дельмухаметов, 2015]. Относительно невысокое значение индекса сердца может быть объяснено низкой двигательной активностью выращиваемых рыб. Тем не менее, отмеченные особенности можно признать физиологически нормальными в рамках реакции на условия выращивания.

Корреляционных связей с гидрохимическими показателями отмечено не было, что свидетельствует о благоприятных условиях для рыбы в течение всего периода выращивания.

6 ОЦЕНКА ВИДИМОЙ ПЕРЕВАРИМОСТИ КОРМОВ И ТЕСТОВЫХ ИНГРЕДИЕНТОВ СУДАКОМ

6.1 Результаты эксперимента

В ходе эксперимента судак активно потреблял искусственные корма из толщи воды. Суточная доза при этом составляла 0,8 % от массы тела.

Индивидуальный прирост массы тела за весь первый этап эксперимента, продолжавшийся 56 дней, в среднем составлял в разных группах от 27 до 56 г. Тем не менее, в конце данного этапа эксперимента при контрольном взвешивании были обнаружены единичные экземпляры рыб, масса которых была несколько меньше начальной, что связано с голоданием и отказом от экспериментального корма. Помимо этого, встречались и экземпляры массой более 500 г. Таким образом, индивидуальный прирост был не равномерным.

Сбор экскрементов осуществлялся ежедневно с 13:00 до 22:00 ч. В первые три недели эксперимента с каждого бассейна ежедневно собиралось от 1,2 до 3,5 г фекалий. В последующие дни и до конца первого этапа объем выделяемых рыбой экскрементов увеличился до 2,4-9,8 г в сутки.

В таблице 27 приведены значения коэффициента видимой переваримости сухого вещества, питательных веществ, валовой энергии базового (контрольного) корма (БК) и двух экспериментальных кормов с концентратом соевого белка (КСБ) и изолятом горохового белка (ИГБ) в своем составе.

Здесь и далее для определения достоверности различий использовался метод однофакторного дисперсионного анализа (One-way ANOVA или Analysis of Variance), где при установлении разницы между средними значениями в действительности сравниваются дисперсии анализируемых совокупностей. Преимущество этого метода обусловлено тем, что он предназначен для одновременного сравнения средних значений двух и более групп, в то время как, t-критерий Стьюдента предназначен исключительно для сравнения только двух совокупностей. Последний часто неверно используется для

попарного сравнения большего числа групп, что приводит к так называемому эффекту множественных сравнений [Мастицкий, Шитиков, 2015].

Ключевая идея дисперсионного анализа получить оценку различий между группами путем сравнения разброса групповых средних с разбросом внутри групп. Для проверки теорий в случае дисперсионного анализа используется F-распределение, форма которого полностью задается межгрупповым и внутригрупповым степенями свободы [Мастицкий, Шитиков, 2015].

Таблица 27 – Видимая переваримость экспериментальных кормов судаком на первом этапе эксперимента

Показатель	Корм			p
	БК	КСБ	ИГБ	
Сухое вещество	76,3±0,9	79,0±0,6	82,2±0,2	< 0,001
Общий белок	88,5±0,9	92,0±0,7	92,7±0,2	< 0,001
Валовая энергия	87,5±0,8	87,7±0,4	90,9±0,3	< 0,001
Углеводы	66,7±0,3	63,6±0,4	65,9±1,2	0,005
Жиры	92,8±0,7	92,0±0,3	93,7±0,2	0,012
Зола	31,4±2,3	41,5±2,8	35,1±1,4	0,004

Значения видимой переваримости сухого вещества различны: максимальное значение отмечено в корме ИГБ (82,2±0,2 %), минимальное – в контрольном БК (76,3±0,9 %). Такая же тенденция отмечена в значениях видимой переваримости общего белка, валовой энергии и липидов. Максимальные значения также зафиксированы в корме, содержащем изолят горохового белка, они составили 92,7±0,2; 90,9±0,3 и 93,7±0,2 % соответственно.

Значения видимой переваримости корма с содержанием концентрата соевого белка находились в промежутке между таковыми у контрольного корма и корма ИГБ. Только по золе, видимая переваримость оказалась выше в корме КСБ и составила 41,5±2,8 %. Максимальное значение видимой переваримости углеводов (безазотистые экстрактивные вещества (БЭВ)) отмечено в корме БК - 66,7±0,3 %, минимальное в корме КСБ - 63,6±0,4 %.

Значения коэффициента видимой переваримости тестовых ингредиентов представлены в таблице 28.

Таблица 28 – Значения коэффициента видимой переваримости тестовых ингредиентов судаком на первом этапе эксперимента

Показатель	Ингредиент		p
	КСБ	ИГБ	
Общий белок	99,0±2,1	98,8±0,4	н.д.
Валовая энергия	88,1±1,3	97,8±0,7	< 0,001
Углеводы	59,1±0,9	62,6±1,8	н.д.
Жиры	82,8±3,8	96,7±1,0	0,004
Зола	89,3±16,1	71,7±15,6	н.д.

Усвояемость тестовых ингредиентов была достаточно высокой. При проведении статистического анализа достоверными оказались различия по значениям коэффициента видимой переваримости валовой энергии и жиров при уровне значимости $p < 0,001$ и $p = 0,004$. Коэффициенты усвояемости по этим показателям в варианте с изолятом горохового белка оказались значительно выше, чем с концентратом соевого белка и составили $97,8±0,7$ и $96,7±1,0$ % соответственно.

На втором этапе отбор проб осуществляли ежедневно с 13:00 до 22:00 ч. С каждого бассейна собирали от 2,3 до 5,1 г фекалий в сутки.

В таблице 29 приведены значения коэффициента видимой переваримости сухого вещества, питательных веществ, валовой энергии базового (контрольного) корма (БК) и двух экспериментальных кормов с изолятом пшеничного глютена (ИПГ) и изолятом рапсового белка (ИРБ) в своем составе.

Таблица 29 – Видимая переваримость экспериментальных кормов судаком на втором этапе эксперимента

Показатель	Корм			p
	БК	ИПГ	ИРБ	
Сухое вещество	78,0±0,3	84,1±0,7	84,3±0,3	< 0,001
Общий белок	90,2±0,1	93,4±0,8	91,8±0,0	0,002
Валовая энергия	88,6±0,4	89,9±0,9	89,1±0,1	н.д.
Углеводы	71,3±1,4	69,2±1,8	77,1±0,8	0,004
Жиры	91,9±1,5	93,3±0,4	89,6±0,3	0,019

Значения коэффициента видимой переваримости тестовых ингредиентов на втором этапе представлены в таблице 30.

Таблица 30 – Значения коэффициента видимой переваримости тестовых ингредиентов судаком на втором этапе эксперимента

Показатель	Ингредиент		р
	ИПГ	ИРБ	
Общий белок	97,8±2,3	94,1±0,1	н.д.
Валовая энергия	92,8±3,3	90,4±0,3	н.д.
Углеводы	46,8±15,2	90,3±4,3	0,016
Жиры	99,5±3,2	64,6±5,1	< 0,001

Значения видимой усвояемости сухого вещества в корме ИПГ (84,1±0,7 %) и ИРБ (84,3±0,3 %) схожи. У контрольного корма этот показатель составляет 76,3±0,9 %, что согласуется со значением на первом этапе эксперимента (таблица 27). Корм ИПГ имеет самую высокую усвояемость протеинов, энергии и жиров: 93,4±0,8; 89,9±0,9 и 93,3±0,4 % соответственно. Наибольшее значение коэффициента видимой переваримости углеводов отмечено в корме ИРБ (77,1±0,8 %).

На всех этапах эксперимента температура воды составляла 22,22±0,03 °С, концентрация кислорода 8,72±0,03 мг/л (при насыщении 100 %), нитритов 0,26±0,01 мг/л, аммонийного азота 0,05±0,01 мг/л, значение водородного показателя 7,90±0,07.

6.1.1 Время прохождения пищи в кишечнике судака

На первый день, в корме БК и корме КСБ выделение окрашенных экскрементов началось через 7 ч после кормления, в то время как в корме ИГБ окраска проявилась только на 12-й час. В течение последующих 27 ч (34 ч после кормления) рыбы продолжали испражняться окрашенными в соответствующий цвет фекалиями.

На второй день, после кормления БК и КСБ новый цвет в фекалиях проявился уже через 5 ч после кормления, в случае с кормом ИГБ снова несколько позже – через 8 ч.

На третий день был зафиксирован одинаковый результат - во всех группах цвет экскрементов проявился через 5 ч после кормления.

В среднем время прохождения корма БК составило 32-35, корма КСБ 32-36, корма ИГБ 34-36 ч. Результаты опыта представлены в таблице 31.

Таблица 31 – Время прохождения пищи в кишечнике судака, ч

Корм	1-й день				2-й день				3-й день				4-й день			
	6	12	18	24	6	12	18	24	6	12	18	24	6	12	18	24
Корм БК			7					34								
							5					32				
											5					35
Корм КСБ			7					34								
							5					36				
											5					32
Корм ИГБ				12				34								
							8					36				
											5					35

Штриховой линией в таблице 31 обозначено время кормления. Время прохождения пищи, в первую очередь, зависит от видовой принадлежности рыбы и ее физиологии [Bromley, 1994]. Так, например, у атлантического лосося время транзита пищи составляет от 6 до 48 ч, у лаврака от 8 до 34 ч [Svier et al., 1999; Adamidou et al., 2009]. Методом инертной метки (микрогранул ионообменной смолы) было определено время прохождения искусственного корма у карпа, которое составляло от 3,5-4 ч до 5 ч [Шустин, 2002].

6.2 Обсуждение результатов

Усвояемость белка является одним из основных показателей, отражающих возможность использования того или иного ингредиента в кормах для рыб [Halver, Hardy, 2002].

Проведенные нами эксперименты показали, что на видимую переваримость сухого вещества, сырых питательных веществ и валовой энергии экспериментальных кормов оказало наличие выбранных нами ингредиентов в их составе.

На первом этапе эксперимента значение видимой переваримости сырого протеина у групп судаков, потреблявших диету с содержанием концентрата соевого белка, оказалось схожим с таковым у радужной форели (98-100 %) и трески (99 %) [Glencross et al., 2004, 2005; Tibbetts et al., 2006]. При кормлении диетой, в составе которой присутствовал изолят горохового белка, нами также зафиксировано схожее значение видимой переваримости – $98,8 \pm 0,4$ %, однако данные по усвояемости этого ингредиента другими видами рыб в литературе отсутствуют. Переваримость белка у радужной форели при потреблении кормов с содержанием сырого гороха и горохового концентрата, полученного путем воздушной сепарации, составляет 90,9 и 94,6 % соответственно [Thiessen et al., 2003]. В нашем эксперименте, более высокая усвояемость белка судаком, вероятно, достигнута благодаря использованию протеинового изолята, т.к. последний более глубоко переработан, чем концентрат, обладает высокой биологической ценностью и содержит меньшее количество не утилизируемых балластных веществ [Fredrikson et al., 2001].

Как показали результаты нашего эксперимента, высокая усвояемость концентрата соевого белка и изолята горохового белка соответствует высоким значениям видимой переваримости протеина экспериментальных кормов. При этом стоит отметить, что первый является коммерчески доступным ингредиентом и широко используется в аквакультуре при производстве кормов, в то время как изолят горохового белка до недавнего времени не применялся.

Одним из источников энергии в кормах являются углеводы. Обеспечение рыб энергией в форме углеводов позволяет снизить до минимума нера-

циональное использование такого дорогостоящего животного сырья, как белок, сохраняя его для роста [Щербина, Гамыгин, 2006; Остроумова, 2012].

Т.к. основными источниками углеводов в рыбных кормах являются зерно злаковых (пшеница, овес, кукуруза и др.), бобовых культур (соя), а также отходы переработки масличных культур (соевые и подсолнечные шроты), необходимо учитывать их удобоваримость – возможность пищеварительной системы расщеплять эти соединения. От способности утилизировать растительные компоненты зависит эффективность использования белка на рост [Щербина, Гамыгин, 2006; Остроумова, 2012].

Высокое содержание углеводов в концентрате соевого белка по сравнению с изолятом горохового белка (27,4 % против 1,5 %, таблица 1) в нашем случае не оказало отрицательного влияния на коэффициент видимой переваримости сырого протеина. Это согласуется с результатами усвояемости концентрата соевого белка такими видами рыб как радужная форель и атлантический лосось [Chowdhury et al., 2012].

Однако высокое содержание углеводов могло повлиять на удобоваримость энергии. Более того, из-за высокого содержания углеводов фекалии становятся менее цельными, а это в свою очередь приводит к размыванию их в толще воды. Как результат, содержание питательных веществ в экскрементах уменьшается, и поэтому, значения коэффициента видимой переваримости энергии, могут быть предположительно завышены [Glencross et al., 2005]. Однако в нашем эксперименте структура экскрементов во всех исследуемых группах была одинакова.

Коэффициент видимой переваримости энергии у судака составил $88,1 \pm 1,3$ %, что согласуется с результатами у радужной форели и атлантического лосося, когда при использовании кормов с содержанием концентрата соевого белка этот коэффициент составлял 85-87 % [Glencross et al., 2004, 2005; Chowdhury et al., 2012]. То, что это значение ниже, чем переваримость энергии изолята горохового белка (97 %) связано с более низким значением

усвояемости липидов в первом ингредиенте (82,8 %), что, видимо, вызвано воздействием некрахмальных полисахаридов соевых бобов на удобоваримость жиров [Storebakken et al., 1998; Refstie et al., 1999]. Как подтверждение этому, в случае с изолятом горохового белка высокое значение коэффициента видимой переваримости липидов (96,7 %) сказалось на высокой переваримости энергии (97,8 %). Эти результаты свидетельствуют об отсутствии некрахмальных полисахаридов во втором ингредиенте.

Известно, что содержание фитиновой кислоты (натуральный антиоксидант) в белках растительного происхождения может оказывать воздействие на удобоваримость сырого протеина [Spinelli et al., 1983]. В нашем случае, значения коэффициента усвояемости протеина КСБ и ИГБ превышали 98 %, что может говорить об отсутствии негативного эффекта. Это также согласуется с результатами по радужной форели и атлантическому лососю [Chowdhury et al., 2012].

На втором этапе эксперимента усвояемость сырого вещества была схожей в базовых кормах, в то время как коэффициент видимой переваримости кормов ИПГ и ИРБ был выше. Стоит отметить, что данные по усвояемости этих ингредиентов другими видами рыб не многочисленны.

Известно, что тепловая обработка снижает доступность белка пшеницы [Hansen, Johnston, 1976]. Тем не менее, на втором этапе эксперимента, значение видимой переваримости белка и энергии у групп судаков, потреблявших диету с содержанием изолята пшеничного глютена, оказалось схожим с таковым у трески (99,9 и 95,4 % соответственно) [Tibbetts et al., 2006]. В нашем случае, значение видимой переваримости белка составило $97,8 \pm 2,3$; энергии - $92,8 \pm 3,3$ %.

Коэффициент видимой переваримости энергии у трески при использовании кормов с содержанием рапсового белкового концентрата составляет 60,6 % [Tibbetts et al., 2006]. В нашем случае более высокое значение этого

коэффициента ($90,4 \pm 0,3$ %), вероятно, также связано с применением лучше переработанного протеинового изолята.

На всех этапах эксперимента суточная доза корма была достаточно низкой. Однако, ни частота кормления, ни суточная доза не влияют на показатель видимой переваримости.

Одним из главных факторов, воздействующих на значения коэффициента видимой переваримости, является методика сбора экскрементов.

Сбор фекалий посредством ручного сцеживания из анального отверстия позволяет избежать так называемого выщелачивания питательных веществ, что часто происходит при сборе проб непрямым пассивным методом, когда после дефекации экскременты могут какое-то время задерживаться в водной среде. Это снижает питательную ценность фекалий и как результат отражается на конечных значениях видимой переваримости (как правило, значения будут занижены) [Hajen et al., 1993]. Однако, сам метод сцеживания может привести к снижению времени прохождения пищи в кишечнике у рыбы и ослаблению возможности поглощения питательных веществ ее организмом [Austreng, 1978]. Более того, этот метод не может быть применим к судаку. После полученного после сцеживания стресса, рыба, как правило, переставала питаться в последующие несколько дней. Кроме того, дефекация у судака продолжается в течение 24 ч после кормления, поэтому метод с использованием устройства для сбора экскрементов позволяет собрать необходимое количество фекалий за более короткие сроки (пробы собираются ежедневно) и является наиболее подходящим для данного вида.

В нашем исследовании, как было замечено, экскременты в воде не задерживались. Наоборот, сразу после дефекации током воды через пластиковую трубку они моментально выносились на устройство для сбора. Исходя из этого, ошибка в конечных значениях коэффициента видимой переваримости минимальна.

Стоит отметить, что до настоящего времени какие-либо эксперименты по оценке времени переваривания пищи у судака не проводились. Лишь отдельные исследования были предприняты по таким окуневым видам, как светлоперый судак и желтый окунь [Lane, Jackson, 1969]. Время транзита у обоих длилось до 60 ч. Однако, эти исследования были проведены на ранней молодежи средней массой 0,5 г и при сравнительно низкой температуре (12 °С), что почти в два раза ниже, чем в нашем опыте. Известно, что при повышении температуры увеличивается скорость прохождения пищи через желудочно-кишечный тракт [Carneiro et al., 1994], в то время как размер исследуемого объекта является спорным фактором. Так, например, у плотвы скорость прохождения пищи в кишечнике одинакова вне зависимости от массы тела [Langton, 1977], а у пестрого толстолобика время переваривания увеличивается с размером [Opuszynski, Shireman 1991]. Количество поедаемой пищи также определяет скорость ее прохождения по пищеварительному тракту [Щербина, Гамыгин, 2006]

Как отмечает А.Г. Шустин [2002], переваривание искусственного корма требует адаптации транспортных и ассимиляционных механизмов в соответствии со структурными особенностями корма. Например, чем гранулы прочнее – тем дольше время переваривания корма [Adamidou et al., 2009].

Известно, что включение в состав корма соевой муки увеличивает твердость гранул [Sørensen et al., 2009]. Корм с концентратом соевого белка, применявшийся в наших экспериментах, был действительно тверже по консистенции базового корма и корма с изолятом горохового белка, что вероятно связано с большим содержанием жира в последних. Из-за свойства гидрофобности жир может ослаблять связывающую силу ингредиентов в составе корма, а маслянистость, образуемая между частицами, приводит к снижению давления при прессовании и как следствие ухудшает прочность и водостойкость гранул [Thomas et al., 1998].

Однако, как показывают результаты нашего опыта в целом, время прохождения пищи не зависело от состава рациона. Это объясняется тем, что различия в питательном составе экспериментальных кормов были невелики. Водостойкость гранул корма с концентратом соевого белка была лучше, но незначительно.

Отрицательного воздействия пищевой краски на скорость переваривания и на потребление корма отмечено не было, что согласуется с результатами других исследований. P.N. Rozin и J. Mayer [1964] использовали красный краситель кармин при определении в желудочно-кишечном тракте времени транзита у серебряного карася, а T.H. Lane и H.M. Jackson [1969] – нейтральный жирорастворимый краситель Судан III в опытах с желтым окунем. Ни в одном из этих исследований не установлено снижение потребления кормов из-за красителей.

С практической точки зрения, следует отметить, что не все используемые нами цвета удобны в применении для такого рода экспериментов. Синий был отчетливо виден, в то время как более яркий цвет, такой как оранжевый, не сильно контрастировал с экскрементами и препятствовал их цветовому различию.

Все тестовые ингредиенты, исследуемые в данном эксперименте, показали хорошую усвояемость. Поэтому в будущем такие компоненты как концентрат соевого белка, изолят горохового белка, изолят пшеничного глютена и изолят рапсового белка можно использовать в качестве альтернативных источников белка растительного происхождения при составлении рецептур кормов для судака.

Тем не менее, возникает необходимость проведения дальнейших экспериментов, в частности, следует определить переваримость или биологическую доступность аминокислот, содержащихся в исследуемых нами ингредиентах. Это позволит в полной мере определить питательную ценность кор-

мового компонента, используемого в качестве источника протеина [Совместное использование..., 2008].

Более того, требуется также установить максимальное процентное содержание ингредиента, которое можно включить в рецептуру корма, не снижая его эффективности и позволяя наиболее экономично использовать сырьевой материал при производстве.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые в России нами разработана технология выращивания товарного судака в установках замкнутого водоснабжения. Согласно установленным физиологическим особенностям развития судака в УЗВ на разных этапах онтогенеза предложены рыбоводно-биологические нормативы, которые могут быть применены при выращивании посадочного материала и товарного судака в условиях промышленных рыбоводных предприятий.

Впервые проведено исследование по оценке видимой переваримости питательных веществ и энергии белковых концентратов и изолятов растительного происхождения. Изучено время прохождения пищи в кишечнике судака.

По диссертации можно сделать следующие выводы:

1) Усовершенствована биотехника выращивания посадочного материала судака в УЗВ, позволяющая получать посадочный материал судака средней массой около 20 г за 4 месяца при выживаемости 57 и 85 % в первые 75 суток (от личинок до мальков массой около 3 г) и последующие 55 суток соответственно.

2) Разработана биотехника выращивания товарного судака в УЗВ, позволяющая получать судака, имеющего среднюю конечную массу $777,9 \pm 32,0$ г за 19 месяцев. Перспективу дальнейшего совершенствования биотехники на последующих этапах доместикации подтверждает разработанная потенциальная модель роста судака, учитывающая факторы, оказавшие прямое влияние на рост рыбы.

3) При выращивании товарного судака в УЗВ установлено эффективное расходование питательных веществ продукционного корма на прирост массы. Предложенные суточные нормы кормления можно считать экономически выгодными. Кормовой коэффициент за исследуемый период в среднем по всем размерным группам составил 1,27.

4) Химический состав мышечной ткани показывает высокую пищевую ценность судака, выращенного в УЗВ. Более высокое содержание жира у судака в УЗВ вызвано относительно меньшей подвижностью и особенностями искусственных кормов. Полученные данные могут быть использованы в дальнейшем для оценки химического состава тела судака в промышленных условиях.

5) Впервые изучена активность тканевого лизоцима в печени, селезенке и жабрах у судака, выращенного в УЗВ. Значения концентрации лизоцима у судака в УЗВ были ниже, чем у судака из естественной среды, что позволяет охарактеризовать его состояние как благополучное и свидетельствует о благоприятных условиях выращивания.

6) Негативных изменений в гематологическом статусе судака не выявлено. Все исследованные гематологические показатели: концентрация гемоглобина, эритроцитов, общего белка в сыворотке крови, среднее содержание гемоглобина в эритроците находились в пределах значений, характерных для судака, выращиваемого в промышленных условиях.

7) Непрямой метод оценки видимой переваримости экспериментальных кормов с применением инертного маркера TiO_2 является наиболее подходящим для судака. Использование установки с устройством Дж. Шуберта для сбора экскрементов позволяет собрать у судака необходимое для анализов количество фекальных проб за 52-54 дня, минимизировать ошибку в конечных значениях коэффициента видимой переваримости.

8) Концентрат соевого белка, изолят горохового белка, изолят пшеничного глютена и изолят рапсового белка хорошо перевариваются судаком. Значения коэффициента видимой переваримости протеина исследованных ингредиентов находились в пределах 94-99 %.

9) Путем окрашивания экспериментальных кормов жидкими пищевыми красителями впервые было определено время прохождения пищи в кишечнике у судака, которое составило 32-36 ч.

Поскольку охвачены первые этапы доместикации, дальнейшее усовершенствование биотехники позволит перейти на более стабильные режимы выращивания, что выразится в конкретизированной нормативной базе, применение которой позволит повысить экономическую эффективность выращивания судака в промышленных условиях, в частности в УЗВ.

Дальнейшие эксперименты по определению биологической доступности аминокислот исследуемых нами ингредиентов и по установлению максимального процентного соотношения этих ингредиентов в рецептуре комбикорма позволят в будущем в полной мере определить их питательную ценность.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1) Такие процессы, как транспортировка и сортировка судака должны осуществляться бережно и быть хорошо организованными. За 24 ч перед транспортировкой необходимо прекратить кормление рыбы, что позволит снизить количество выделяемых ею аммиака и экскрементов во время перевозки.

2) На всех этапах рыбоводного процесса следует поддерживать насыщение воды кислородом на уровне 80-100 %.

3) Ввиду отсутствия видоспецифичных продукционных комбикормов рекомендуется применять рецептуры, разработанные для осетровых и лососевых рыб, в частности для стерляди и радужной форели.

4) При выращивании посадочного материала судака целесообразно придерживаться установленных суточных доз кормления. При кормлении науплиями артемии: 70 % при массе рыбы 0,0005 – 0,005 г; при кормлении искусственными стартовыми кормами: 10 % при массе рыбы 0,002 – 0,02 г, 7 % при массе 0,02 – 1 г, 5 – 5,5 % при массе 1 – 5 г, 4 – 5 % при массе 5-10 г, 3 – 4 % при массе 10 – 20 г.

5) При выращивании товарного судака целесообразно придерживаться следующих суточных доз кормления: 1,6 – 2 % при массе рыбы 20 – 75 г; 1,2 – 1,6 % при массе 75 – 100 г; 1,0 – 1,2 % при массе 100 – 150 г; 0,6 – 0,8% при массе 150 – 300 г; 0,7 – 0,8 % при массе 300 – 400 г; 0,6 – 0,7 % при массе 400 – 600 г; 0,5 – 0,6 % при массе 600 – 800 г; 0,4 – 0,5 % при массе 800 – 1200 г.

6) При выращивании судака от посадочного материала до массы 300 г плотность посадки не должна превышать 20 кг/м^3 , а при выращивании товарной рыбы значения этого показателя должны находиться в пределах 20-30 кг/м^3 .

7) При планировании и проведении биотехнических работ по товарному судаку следует ориентироваться на получение величины рыбопродукции 60 кг/м^3 .

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Баранов С.А. Основные уравнения роста биологических объектов / С.А. Баранов, В.Ф. Резников, Е.А. Стариков, Г.И. Толчинский // Биологические ресурсы внутренних водоемов СССР. М.: Наука, 1979. – С. 156-168.

Биотехнический и производственный потенциал пастбищной аквакультуры на трансграничных водоемах России и Литвы / Е.И. Хрусталева, Т.М. Курапова, В.В. Жуков и др. – Калининград: Изд-во ИП Мишуткина И.В., 2009. – 198 с.

Божко А.М., Смирнов В.С. Отражение экологической специфики в морфофизиологических показателях разных популяций рыбца // Рыбец (комплексные исследования в нескольких точках ареала). – Вильнюс: Мокслас, 1976. – С. 27-108.

Бредихина О.В., Новикова М.В., Бредихин С.А. Научные основы производства рыбопродуктов. – М.: КолосС, 2009. – 152 с.

Васильева Л.М. Аквакультура – реальный путь насыщения российского потребительского рынка рыбопродуктов // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2013. – № 1. – С. 57-62.

Временные рекомендации по определению физиологического состояния рыб по физиолого-биохимическим данным / А.А. Яржомбек, Н.Ф. Шмаков, В.В. Лиманский, Е.Н. Бекина. - М.: ВНИИПРХ, 1981. – 53 с.

Гамыгин Е.А. Новое в кормлении личинок судака и молоди осетровых / Е.А. Гамыгин, С.В. Пономарев С.В., Ю.Б. Белоцерковский, С.Г. Большакова, М.В. Михайлова, Е.В. Аношкина, Г.А. Жаркова // Сб. науч. трудов ВНИИПРХ. – 1992. – Вып. 67. – С. 3-4.

Горелик О.В., Костенко Ю.В. Оценка качества рыбы семейства карповые по морфологическому и химическому составу // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2009. – Т. 1. – № 22-2. – С. 287-289.

ГОСТ 7631-85 Рыба, морские млекопитающие. Морские беспозвоночные и продукты их переработки. Правила приемки, органолептические методы оценки качества, методы отбора проб для лабораторных испытаний.

ГОСТ 7636-85 Рыба, морские млекопитающие. Морские беспозвоночные и продукты переработки. Методы анализа.

Дельмухаметов А.Б. Биотехника формирования и эксплуатации ремонтно-маточного стада судака в установках замкнутого цикла водообеспечения: дисс. ... канд. биол. наук. – Калининград, 2012. – 157 с.

Дельмухаметов А.Б., Пьянов Д.С. Рост судака различных поколений в установках замкнутого водоснабжения // Известия КГТУ. – 2014. – №32. - С. 85-90.

Дельмухаметов А.Б., Пьянов Д.С., Хрусталеv Е.И. Технология выращивания судака в условиях установок замкнутого водоснабжения (УЗВ) // Международная научно-техническая конференция «Инновационные технологии в пищевой промышленности: наука, образование и производство»: сборник материалов. Воронеж: ВГУИТ, 2013. – С. 632-637.

Замахаяев Д. Ф. О компенсационном росте // Вопр. ихтиологии. – 1967. - Т. 7, № 2. - С. 303—325.

Запорожец Г.В., Запорожец О.М. Разработка нормативов плотности посадки молоди нерки *Onchorhynchus nerca* для промышленного выращивания на Камчатке // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и Северо-Западной части Тихого океана: сб. научных трудов КамчатНИРО. – Петропавловск-Камчатский, 2000. – Вып. 5. – С. 133-138.

Зыков Л.А., Иванов В.П. Эколого-географическая изменчивость роста судака *Lucioperca lucioperca* (L.) в границах ареала // Вестник АГТУ. – 2008 – № 3. – С. 26-32.

Кольман Г. С. Влияние температуры и рН среды инкубации на бактериологическую активность лизоцима плазмы крови русского осетра

(*Acipenser gueldenstaedtii* Brandt, 1833) // Известия КГТУ. – 2004. – № 5. – С. 23-27.

Королев А.Е. Биологические основы получения жизнестойкой молоди судака: дисс. ... канд. биол. наук. – СПб, 2000. – 188 с.

Кузина Т.В. Анализ гематологических показателей судака Волго-Каспийского канала // Естественные науки. – 2009. – № 4. – С 96-100.

Кузьмина С.А. О некоторых свойствах крови судака Куршского залива: дисс. ... канд. биол. наук. – Калининград, 1967. – 124 с.

Купинский С.Б. Продукционные возможности объектов аквакультуры. – Астрахань: ДФ АГТУ, 2007. – 133 с.

Курапова Т.М., Миловидова Н.П., Пьянов Д.С. Бактериостатическая и антиокислительная активность у сеголетков судака и стерляди, выращенных в УЗВ ООО «КМП Аква» / Труды X Международной научной конференции «Инновации в науке, образовании и бизнесе – 2012. – 2012. – Ч. 1 – С. 83-85.

Курапова Т.М., Шувалова А.В., Пьянов Д.С. Оценка некоторых иммунологических показателей сеголетков стерляди и судака, выращенных в УЗВ ООО «КМП Аква» // Труды X Международной научной конференции «Инновации в науке, образовании и бизнесе – 2012. – 2012. – Ч.1 – С. 85-87.

Курапова Т.М., Хрусталева Е.И., Савина Л.В., Гончаренко О.Е., Пьянов Д.С., Дельмухаметов А.Б. Некоторые иммунологические показатели сеголетков судака, выращенных в УЗВ // Тезисы докладов XXIX Международной конференции «Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Европейского севера». Мурманск: ПИНРО, CD-ROM. 2013. - 2 с.

Куровская Л.Я, Стрелько Г.А. Влияние pH водной среды на уровень заражения эктопаразитами, содержание белка и лизоцима у некоторых видов карповых рыб (Cyprinidae) // Рибогосподарська наука України. – 2016. – № 1. – С. 88-101

Лав М.Р. Химическая биология рыб. – М.: Пищевая промышленность, 1976. – 352 с.

Лапирова Т.Б., Флёрова Е.А. Сравнительный анализ некоторых иммунофизиологических параметров крови щуки *Esox Lucius (L.)* и судака *Stizostedion lucioperca (L.)* // Вестник АГТУ. Сер.: Рыбное хозяйство. – 2013. – № 1. – С. 140-145.

Линник А.В. Влияние плотности посадки на темп роста и питание радужной форели // Биологические основы рационального кормления рыбы: сб. тр. ВНИИПРХ. – М., 1986. – Вып. 49. – С. 147-154.

Лукьяненко В.И. Иммунология рыб. – М.: Пищевая промышленность, 1971. – 367 с.

Лукьяненко В.И. Иммунология рыб: врожденный иммунитет. – М.: Агропромиздат, 1989. – 271 с.

Мазник А.П., Калиновская О.П., Тюктяев И.Ш., Лысенко В.Я. Производство комбикормов для прудовых рыб. – М.: Колос, 1976. – 96 с.

Марценюк В.П. Досвід розведення та вирощування судака (*Sander lucioperca*) за різних технологій // Рибогосподарська наука України. – 2014. – № 3. – С. 55-66.

Маслов Е.В. Влияние плотности посадки на некоторые морфобиологические показатели сеголетков карпа в условиях лесостепи Украины: автореф. дисс. ... канд. биол. наук. – М., 1973. – 19 с.

Мастыцкий С.Э., Шитиков В.К. Статистический анализ и визуализация данных с помощью R. – М.: ДМК Пресс, 2015. – 496 с.

Методические указания и рекомендации по лабораторным и диагностическим исследованиям / Под ред. В.В. Селивестрова. – М.: Минсельхозпрод, 1999. – 226 с.

Мищенко А.В., Бегманова А.Б. Сравнительная оценка рыбоводно-биологических и физиологических показателей молоди судака, выращенной в различных условиях // Вестник АГТУ. Сер. Рыбное хозяйство. – 2013. – № 2. – С. 187-190.

Михеев П.В., Мейснер Е.В. Разведение судака в прудах. – М.: Пищевая промышленность, 1966. – 64 с.

О состоянии рыбохозяйственного комплекса Калининградской области (в рамках Федеральной целевой программы «Развитие океанического, прибрежного рыболовства и аквакультуры в Калининградской области на 2013-2015 годы): аналитическая записка. – Калининград: Калининградстат. – 2015. – 28 с.

Остроумова И.Н. Биологические основы кормления рыб. Изд-е 2-е, испр. и доп. – СПб.: ГосНИОРХ, 2012. – 564 с.

Пехливанов Л.З. Питание молоди судака и ерша в водохранилище «Александр Стамболийский» в связи с ее распределением и покатной миграцией: автореф. дисс. ... канд. биол. наук. – М., 1986. – 21 с.

Письменная О.А. Некоторые аспекты выращивания молоди судака (*Stizostedion lucioperca*) на ранних этапах онтогенеза в условиях установки замкнутой системы водоснабжения // Естественные науки. – 2011. – № 4 (37). – С. 114-121.

Пономарев С.В., Грозеску Ю.Н., Бахарева А.А. Индустриальное рыбоводство. – М.: Лань, 2013. – 420 с.

Причепа Н.В. Вплив екологічних чинників водного середовища на морфологічні показники судака та окуня // Рибогосподарська наука України. – 2013. – № 4. – С. 75-85.

Проскуренок И.В. Замкнутые рыбоводные установки. – М.: ВНИРО. – 2003. – 152 с.

Пучков Н.В. Физиология рыб. – М.: Пищепромиздат, 1954. – 368 с.

Пьянов Д.С. Выращивание судака в УЗВ в условиях переменного температурного режима // Материалы Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов с международным участием, посвященной 90-летию со дня постройки первого научно-исследовательского судна ПИНРО «Персей». Мурманск: ПИНРО, 2012. – С. 228-234.

Пьянов Д.С. Оценка эффективности кормления судака в УЗВ // Материалы I Всерос. заочной науч.-техн. конф. аспирантов, молодых ученых и специалистов «Комплексные исследования водных биоресурсов: рыболовство, аквакультура, экология, переработка, экономика и управление рыбохозяйственной отраслью». Владивосток: Дальрыбвтуз, 2012. – С. 33-36.

Пьянов Д.С., Дельмухаметов А.Б. Выращивание посадочного материала судака в установках замкнутого водоснабжения для выпуска в естественные водоемы // Труды второй международной научно-практической конференции «Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоемов». Калининград: ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2014. – С. 67-69.

Пьянов Д.С., Дельмухаметов А.Б. Рост и оценка химического состава судака (*Sander lucioperca* L.), выращенного в искусственных условиях // Материалы II Всероссийской молодежной конференции «Рыбохозяйственные исследования на внутренних водоемах». СПб: ГосНИОРХ, 2016. – С. 308-314.

Пьянов Д.С. Дельмухаметов А.Б. Хрусталева Е.И. Результаты выращивания судака (*Sander lucioperca*, L.) в режиме полного цикла в установках замкнутого водоснабжения // Известия КГТУ. – 2016. – № 41. – С. 49-59.

Пьянов Д.С., Молчанова К.А., Дельмухаметов А.Б., Хрусталева Е.И. Особенности доместикации судака (*Sander lucioperca*) и радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*) на этапах роста и созревания в условиях установок замкнутого водообеспечения // Известия КГТУ. – 2016. - № 43. – С. 55-66.

Романенко В.Д. Эколого-физиологические основы тепловодного рыбводства. – Киев: Наукова думка, 1983. – 140 с.

Савина Л.В. Использование гематологических показателей рыб для оценки новой кормовой добавки МИК БАК и экологического состояния естественных водоемов: дисс. ... канд. биол. наук. – Калининград, 2004. – 188 с.

Серпунин Г.Г., Савина Л.В. Методы гематологических исследований рыб. - Калининград: КГТУ, 2006. – 53 с.

Скурихин И.М. Таблицы химического состава и калорийности российских продуктов питания. – М.: ДеЛи принт, 2007. – 275 с.

Совместное использование кровяной муки с другими источниками животного белка в комбикормах для рыб. – 2008 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.aquafeed.ru/node/55> (дата обращения 14.06.2016).

Сорвачев К.Ф. Основы биохимии питания рыб. – М.: Легкая и пищ. пром-сть, 1982. – 247 с.

Справочник по химическому составу и технологическим свойствам рыб внутренних водоемов (под ред. В.П. Быкова). – М.: Изд-во ВНИРО, 1999. – 207 с.

Суботкина Т.А., Суботкин М.Ф. Лизоцим сыворотки крови некоторых объектов аквакультуры (отряды Cypriniformes и Perciformes) центрального Вьетнама // Вестник АГТУ. Сер.: Рыбное хозяйство. – 2012. – № 2. – С. 140-147.

Туменов А.Н. Рыбоводно-биологическая эффективность товарного выращивания русского осетра (*Acipenser gueldenstadtii* Brandt et Ratzeburg) в установках замкнутого водоснабжения: автореф. дисс. ... канд. сельхоз. наук. – Усть-Кинельский, 2012. – 18 с.

Хрусталева Е.И. Рыбоводно-биологические особенности выращивания радужной форели в солоноватых водах: Автореф. дисс...канд. биол. наук. – Калининград, 1986. – 24 с.

Хрусталева Е.И., Дельмухаметов А.Б. Рыбоводно-биологические показатели судака при выращивании в искусственных условиях // Известия КГТУ. – 2010. – № 17. – С. 15-20.

Хрусталева Е.И., Дельмухаметов А.Б., Пьянов Д.С. Сравнительная характеристика различных генераций судака, выращенных в условиях установок замкнутого цикла водообеспечения (УЗВ) // Тезисы докладов XXIX Международной конференции «Биологические ресурсы Белого моря и внут-

ренных водоемов Европейского севера». Мурманск: ПИНРО, CD-ROM. 2013. 2 с.

Щербаков В.Г., Иваницкий С.Б. Производство белковых продуктов из масличных семян. – М.: Агропроиздат, 1987. – 152 с.

Щербина М.А., Гамыгин Е.А. Кормление рыб в пресноводной аквакультуре. – М.: Изд-во ВНИРО, 2006. – 360 с.

Шварц С.С., Смирнов В.С., Добринский Л.Н. Метод морфофизиологических индикаторов в экологии наземных животных // Сб. науч. тр. Ин-та экологии растений и животных УФАН СССР. – 1968. – Вып. 58. – С. 459-466.

Шустин А.Г. Эффективность использования экструдированных комбикормов для карпа и радужной форели: дисс. ... канд. биол. наук. – Рыбное, 2002. – 100 с.

Шкудлярек М. Польский опыт по подращиванию личинок судака в системах с замкнутым кругооборотом воды // Аквакультура Варминско-Мазурского воеводства как компонент сотрудничества Польши, Литвы и Калининградской области. – Ольштын, 2007. – С. 35-43.

Adamidou S. Apparent nutrient digestibility and gastrointestinal evacuation time in european seabass (*dicentrarchus labrax*) fed diets containing different levels of legumes / S. Adamidou, I. Nengas, M. Alexis, E. Foundoulaki, D. Nikolopoulou, P. Campbell, I. Karacostas, G. Rigos, G.J. Bell, K. Jauncey // Aquaculture. – 2009. – Vol. 289 (1–2). – P. 106-112.

Anderson J. Fish meal quality assessment for atlantic salmon (*salmo salar* L.) reared in sea water / J. Anderson, D. Higgs, R. Beames, M. Rowshandeli // Aquaculture Nutrition. – 1997. – Vol. 3 (1). – P. 25-38.

Arntfield S., Ismond M., Murray E. The fate of antinutritional factors during the preparation of a fababean protein isolate using a micellization technique // Canadian Institute of Food Science and Technology Journal. – 1985. – Vol. 18 (2). – P. 137-143.

Austreng E. Digestibility determination in fish using chromic oxide marking and analysis of contents from different segments of the gastrointestinal tract // *Aquaculture*. – 1978. – Vol. 13 (3). – P. 265-272.

Aquapri inaugurates world's largest pike perch RAS plant: сайт «Undercurrent News». – 2016 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.undercurrentnews.com/2016/04/14/aquapri-inaugurates-worlds-largest-pike-perch-ras-plant> (дата обращения 16.06.2016)

Baránek V. Comparison of two weaning methods of juvenile pikeperch (*Sander lucioperca*) from natural diets to commercial feed / V. Baránek, J. Dvořák, V. Kalenda, J. Mareš, J. Zrůstová, P. Spurný // *Proceedings of International Ph.D. Students Conference "MendelNet'07 Agro"*. Brno: Mendel University, 2007. – P. 45.

Bhujel R.C. *Statistics for Aquaculture*. - Iowa: Wiley-Blackwell., 2008. – 222 p.

Bromley P. J. The role of gastric evacuation experiments in quantifying the feeding rates of predatory fish // *Reviews in Fish Biology and Fisheries*. – 1994. – Vol. 4 (1). – P. 36-66.

Brown P.B., Dabrowski K., Garling D.L. Nutrition and feeding of yellow perch (*Perca flavescens*) // *J. Appl. Ichthyol.* – 1996. - Vol. 12. – P. 171–174.

Bureau D., Cho. C. *Measuring Digestibility in Fish*. UG/OMNR Fish Nutrition Research Laboratory. Technical Document. – Ontario: University of Guelph. – 1999. – 9 p.

Bureau D.P., Hua K. Letter to the Editor of *Aquaculture* // *Aquaculture*. – 2006. – Vol. 252 (2–4). – P. 103-105.

Carneiro D.J. Interaction between temperature and dietary levels of protein and energy in pacu (*Piaractus mesopotamicus*). II. effects on digestibility of protein and transit time through the gastrointestinal tract / D.J Carneiro, R.T. Rantin, T.C.R. Dias, E.B. Malheiros // *Aquaculture*. – 1994. – Vol. 124 (1–4). – P. 131.

Cho C., Slinger S. J., Bayley H. S. Bioenergetics of salmonid fishes: Energy intake, expenditure and productivity // *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Comparative Biochemistry*. – 1982. – Vol. 73 (1). – P. 25-41.

Choubert G., De La Noüe J., Luquet P. Digestibility in fish: Improved device for the automatic collection of feces // *Aquaculture*. – 1982. – Vol. 29 (1–2). – P. 185-189.

Chowdhury M. A. K., Tacon A. G. J., Bureau D. P. Digestibility of amino acids in indian mustard protein concentrate and indian mustard meal compared to that of a soy protein concentrate in rainbow trout and atlantic salmon // *Aquaculture*. – 2012. – Vol. 356–357. P-128-134.

Corazza, L., Nickum, J. G. Rate of food passage through the gastrointestinal tract of fingerling walleyes // *The Progressive Fish-Culturist*. – 1983. – Vol. 45 (3). – P. 183-184.

Cromwell G. Soybean Meal – An Exceptional Protein Source // *Animal and Food Sciences Department University of Kentucky* – 2008 [Электронный ресурс]. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. – URL: <http://www.soymeal.org/ReviewPapers/SBMExceptionalProteinSource.pdf> (дата обращения 16.06.2016).

Dalsgaard J. Farming different species in RAS in Nordic countries: Current status and future perspectives / J. Dalsgaard, I. Lund, R. Thorarinsdottir, A. Drengstig, K. Arvonen, P.B. Pedersen // *Aquacultural Engineering*. – 2013. – Vol. 53. – P. 2-13.

Dias J. Feed transit and apparent protein, phosphorus and energy digestibility of practical feed ingredients by senegalese sole (*solea senegalensis*) / J. Dias, M. Yúfera, L. M. P. Valente, P. Rema // *Aquaculture*. – 2010. – Vol. 302 (1–2). – P. 94-99.

Dutch pike perch farm up for sale: сайт «Undercurrent News». – 2014 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.undercurrentnews.com/2014/11/13/dutch-pike-perch-farm-up-for-sale> (дата обращения 16.06.2016).

FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture. – Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. – 2014. – 243 pp.

Ferraris R.P. Digestibility in milkfish, *chanos chanos* (forsskal): Effects of protein source, fish size and salinity / R.P. Ferraris, M.R. Catacutan, R.L. Mabelin, A.P. Jazul // *Aquaculture*. – 1986. – Vol. 59 (2). – P. 93-105.

Fiogbé E.D. The effects of dietary crude protein on growth of Eurasian perch *Perca fluviatilis* / E.D. Fiogbé, P. Kestemont, C. Mélard, J.C. Micha // *Aquaculture*. – 1996. – Vol. 144. – P. 239-249.

Fredrikson M. Production process for high-quality pea-protein isolate with low content of oligosaccharides and phytate / M. Fredrikson, P. Biot, M. L. Alminger, N. Carlsson, A. Sandberg // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 2001. – Vol. 49 (3). – P. 1208-1212.

Frisk M., Skov P.V., Steffensen J.F. Thermal optimum for pikeperch (*Sander lucioperca*) and the use of ventilation frequency as a predictor of metabolic rate // *Aquaculture*. – 2012. – Vol. 324-325. – P. 151-157.

Gatlin D. M. Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds: A review / D. M. Gatlin, F. T. Barrows, P. Brown, K. Dabrowski, T. G. Gaylord, R. W. Hardy, E. Herman, G. Hu, A. Krogdahl, R. Nelson, K. Overturf, M. Rust, W. Sealey, D. Skonberg, E. Souza, D. Stone, R. Wilson, E. Wurtele // *Aquaculture Research*. – 2007. – Vol. 38 (6). – P. 551-579.

Gaylord T. G., Barrows F. T., Rawles S. D. Apparent amino acid availability from feedstuffs in extruded diets for rainbow trout *oncorhynchus mykiss* // *Aquaculture Nutrition*. – 2010. – Vol. 16 (4). – P. 400-406.

Glencross B., Hawkins W. A comparison of the digestibility of lupin (*lupinus* sp.) kernel meals as dietary protein resources when fed to either, rainbow trout, *oncorhynchus mykiss* or red seabream, *pagrus auratus* // *Aquaculture Nutrition*. – 2004. – Vol. 10 (2). – P. 65-73.

Glencross B.D. A comparison of the digestibility of a range of lupin and soybean protein products when fed to either Atlantic salmon (*Salmo salar*) or rain-

bow trout (*Oncorhynchus mykiss*) / B.D. Glencross, C.G. Carter, N. Duijster, D.R. Evans, K. Dods, P. McCafferty, W.E. Hawkins, R. Maas, S. Sipsas // *Aquaculture*. – 2004. – Vol. 237 (1–4). – P. 333-346.

Glencross B. Evaluation of the digestible value of lupin and soybean protein concentrates and isolates when fed to rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, using either stripping or settlement faecal collection methods / B. Glencross, D. Evans, K. Dods, P. McCafferty, W. Hawkins, R. Maas, S. Sipsas // *Aquaculture*. – 2005. – Vol. 245 (1-4). – P. 211-220.

Halver J.E., Hardy R.W. *Fish nutrition*. – San Diego: Academic Press Inc, 2002. – 824 pp.

Hamza N. Effect of dietary phospholipid levels on performance, enzyme activities and fatty acid composition of pikeperch (*Sander lucioperca*) larvae / N. Hamza, M. Mhetli, I.B. Khemis, C. Cahu, P. Kestemont // *Aquaculture*. – 2008. – Vol. 225. – P. 274-282

Hansen L.P. Johnston P.H. Heat-moisture effects on wheat flour. II. An evaluation study of heat-processing effects on flour proteins by digestive enzymes – pepsin, trypsin and trypsin-carboxipeptidase B // *Cereal Chem*. – 1976. – Vol. 53 (5) – P. 656-670.

Hardy R. W. Utilization of plant proteins in fish diets: Effects of global demand and supplies of fishmeal // *Aquaculture Research*. – 2010. – Vol. 41 (5). – P. 770-776.

Heinitz M. C., Lemme A., Schulz C. Measurement of digestibility in agastric fish based on stripping method - apparent nutrient, energy and amino acid digestibilities of common feed ingredients for carp diets (*Cyprinus carpio*) // *Aquaculture Nutrition*. – 2015 [Электронный ресурс]. URL: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/anu.12324/full> (дата обращения 12.07.2016).

Hajen W.E. Digestibility of various feedstuffs by post-juvenile chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) in sea water. 1. Validation of technique /

W.E. Hajen, R.M. Beames, D.A. Higgs, B.S. Dosanjh // *Aquaculture*. – 1993. – Vol. 112 (4). – P. 321-332.

Hemre G. Digestibility of dry matter, protein, starch and lipid by cod, *Gadus morhua*: Comparison of sampling methods / G. Hemre, Ø. Karlsen, A. Mangor-Jensen, G. Rosenlund // *Aquaculture*. – 2003. – Vol. 225 (1–4). – P. 225-232.

Hilge V. Beobachtungen zur Aufzucht von Zandern (*Sander lucioperca* L.) im Labor // *Archiv für Fischereiwissenschaft*. - 1990. – Vol. 40 (1-2). - P. 167-173.

Hopkins K.D. Reporting Fish Growth: A Review of the Basics // *Journal of the World Aquaculture Society*. – 1992. – Vol. 23 (4). – P. 173-179.

Huss H.H. Quality and quality changes in fresh fish. – Rome: FAO, 1995. – 203 pp.

Index Mundi. Fishmeal Monthly Price - Euro per Metric Ton // [Электронный ресурс]. URL: <http://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=fish-meal&months=120¤cy=eur> (дата обращения: 08.06.2016).

MacGill A.S., Hard. R, Burt, J.R. Hept-cis-4-enal and its contribution to the off flavor in cold stored cod // *Journal of Science Food and Agriculture*. – 1974. – Vol. 25 (12). – P. 1477-1489

Mackie I.M. The effects of freezing on flesh proteins // *Food Reviews International*. – 1993. – Vol. 9 (4). – P. 575-610

Maynard L.A., Loosli J.K. *Animal Nutrition*. – New York, NY: McGraw-Hill Book Co., 1979. – 500 p.

McCarthy I., Carter C., Houlihan D. The effect of feeding hierarchy on individual variability in daily feeding of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) // *Journal of Fish Biology*. – 1992. – Vol. 41 (2). – P. 257-263.

Nutrient Requirements of Fish and Shrimp. – Washington, DC: The National Academies Press, 2011. – 392 p.

Nyina-wamwiza L. Effect of dietary protein, lipid and carbohydrate ratio on growth, feed efficiency and body composition of pikeperch *Sander lucioperca* fin-

gerlings / L. Nyina-wamwiza, X. L. Xu, G. Blanchard, P. Kestemont // *Aquaculture Research*. – 2005. – Vol. 36 (5). – P. 486-492.

Toner D. A new production model for large scale percid culture. – European Percid Fish Culture (EPFC) workshop 2015: “Big is beautiful – isn’t it? Upscaling of percid fish culture in Europe”. – Rotterdam, 2015. Доступно на: http://www.epfc.net/files/workshops/2015/EPFC2015_03_Toner.pdf (дата обращения 16.06.2016).

Jarmołowicz S., Zakęś Z. Amino acid profile in juvenile pikeperch (*Sander lucioperca* (L.)) – impact of supplementing feed with yeast extract // *Arch. Pol. Fish.* – 2014. – Vol. 22 – P. 135-143.

Kestemont P., Dabrowski K., Summerfelt R.C. *Biology and Culture of Percid Fishes*. – Springer Netherlands, 2015. – 901 pp.

Kestemont P. Growth and nutrition status of Eurasian perch *Perca fluviatilis* fed graded levels of dietary lipids with or without added ethoxyquin / P. Kestemont, E. Vandeloise, C. Melard, P. Fontane, P. Brown // *Aquaculture*. – 2001. – Vol. 203. – P. 85-99.

Kestemont P. Feeding and nutrition in european percid fishes - a review / P. Kestemont, X. Xu, G. Blanchard, C. Mélard, M. Gielen, J. Brun-Bellut, P. Fontaine // *Proceedings of PERCIS*. University of Wisconsin, Madison, WI, USA – 2003. – P. 39–40.

Kowalska A. Effect of different dietary lipid levels on growth performance, slaughter yield, chemical composition and histology of liver and intestine of pikeperch, sander *lucioperca* / A. Kowalska, Z. Zakęś, B. Jankowska, K. Demska-Zakęś // *Czech J. Anim.Sci.* – 2011. – Vol. 56. – P. 136-149.

Kristan J., Blecha M., Policar T. Alcalase treatment for elimination of stickiness in pikeperch (*Sander lucioperca* L.) eggs under controlled conditions // *Aquaculture Research*. – 2015. – P. 1–6.

Krogdahl A. Important antinutrients in plant feedstuffs for aquaculture: An update on recent findings regarding responses in salmonids / A. Krogdahl, M.

Penn, J. Thorsen, S. Refstie, A.M. Bakke // *Aquaculture Research*. – 2010. – Vol. 41 (3). – P. 333-344.

Lane T.H., Jackson H.M. Voidance Time for 23 Species of Fish // *Investigations in Fish Control 33: Report / U.S. Fish and Wildlife Service* – 1969. – P. 1-9

Langton R.W. A review of methods used for estimating gut evacuation rates and calculating daily ration for fish. – Northeast Fisheries Center: Woods-Hole Lab. Ref. No. 77-07, 1977. – 25 p.

Lee S., Kim K-D. Effect of various of lipid exchanged with dextrin at different protein level in diet on growth and body composition of juvenile flounder *Paralichthys olivaceus* // *Aquaculture Nutrition*. – 2005. – Vol. 11. – P. 435-442

Liu B. Influence of stocking density on growth, body composition and energy budget of Atlantic salmon *Salmo salar* L. in recirculating aquaculture systems / B. Liu, Y. Liu, Z. Liu, D. Qiu, G. Sun, X. Li // *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*. – 2014. – Vol. 32 (5). – P. 982-990.

Márquez L. Comments on the calculation of the specific growth rate in experiments with untagged individuals / L. Márquez, G.A. Morales, M. Sáenz de Rodrigáñez, E. Almansa, F.J. Moyano, M. Díaz // *Scientia Marina*. – 2015. – Vol. 79 (4). – P. 505-508

Opuszynski K., Shireman J. V. Food passage time and daily ration of big-head carp, *aristichthys nobilis*, kept in cages // *Environmental Biology of Fishes*. – 1991. – Vol. 30 (4). – P. 387-393.

Osborne D.R., Voogt P. *The Analysis of Nutrients in Foods*. – London: Academic Press, 1978. – 251 p.

Ostaszewska T., Boruta A. The effect of diet on the fatty acid composition and liver histology of pikeperch (*Sander lucioperca* (L.)) larvae // *Arch. Pol. Fish.* – 2006. – Vol. 14 (1). – P. 53-66.

Peisker M. Manufacturing of soy protein concentrate for animal nutrition // *Cahiers Options Méditerranéennes*. – 2001. – Vol. 54. – P. 103-107.

Post G., Shanks W.E., Smith R.R. A Method for Collecting Metabolic Excretions from Fish // *The Progressive Fish-Culturist*. – 1965. – Vol. 27 (2). – P. 108-111.

Pyanov D., Delmukhametov A., Khrustalyov E. Russian experience of growing of pike-perch (*Sander lucioperca*) fingerlings in the Recirculating Aquaculture Systems (RAS) // *Aquaculture Europe 15*. Rotterdam: EAS, 2015. – P. 655-656.

Pyanov D., Delmukhametov A., Khrustalev E. Pike-perch farming in recirculating aquaculture systems (RAS) in the Kaliningrad region // 9th Baltic Conference on Food Science and Technology “Food for consumer well-being” *FOODBALT 2014 Conference Proceedings*. Jelgava: LLU, 2014. – P. 315-317

Refstie S. Nutrient digestibility in atlantic salmon and broiler chickens related to viscosity and non-starch polysaccharide content in different soyabean products / S. Refstie, B. Svihus, K.D. Shearer, T. Storebakken // *Animal Feed Science and Technology*. 1999 – Vol. 79 (4). – P. 331-345.

Refstie S. Differing nutritional responses to dietary soybean meal in rainbow trout (*oncorhynchus mykiss*) and atlantic salmon (*salmo salar*) / S. Refstie, Ø. J. Korsøen, T. Storebakken, G. Baeverfjord, I. Lein, A. J. Roem // *Aquaculture*. – 2010. – Vol. 190 (1–2). – P. 49-63.

Rodehutschord M. Free amino acids can replace protein-bound amino acids in test diets for studies in rainbow trout (*oncorhynchus mykiss*) / M. Rodehutschord, S. Mandel, M. Pack, S. Jacobs, E. Pfeffer // *The Journal of Nutrition*. – 1995. – Vol. 125 (4). – P. 956.

Ronyai A., Csengeri I. Effect of feeding regime and temperature on ongrowing results of pikeperch (*Sander lucioperca* L.) // *Aquaculture Research*. – 2008. – Vol. 39. – P. 820–827.

Rozin P. N., Mayer, J. Some factors influencing short-term food intake of the goldfish // *The American Journal of Physiology*. – 1964. – Vol. 206. – P. 1430-1436.

Saurabh S., Sahoo P. K. Lysozyme: An important defence molecule of fish innate immune system // *Aquacult. Res.* – 2008. – Vol. 39 (3). – P. 223–239.

Schlumpberger W., Schmidt K. Vorläufiger Stand der Technologie zur Aufzucht von vorgestreckten Zandern (*Stizostedion lucioperca* [L.]) // *Z. Binnenfischerei DDR.* – 1980. – Vol. 27. – P. 284–286.

Schmidt G. Experiences with the production cycle of pikeperch in a RAS. - European Percid Fish Culture (EPFC) workshop 2015: “Big is beautiful – isn’t it? Upscaling of percid fish culture in Europe”. – Rotterdam, 2015. Доступно на: http://www.epfc.net/files/workshops/2015/EPFC2015_02_Schmidt.pdf (Обращение 16.02.2016).

Schulz C. Effects of varying dietary fatty acid profile on growth performance, fatty acid, body and tissue composition of juvenile pike perch (*sander lucioperca*) / C. Schulz, U. Knaus, M. Wirth, B. Rennert // *Aquaculture Nutrition.* – 2005. – Vol. 11 (6). – P. 403-413.

Schulz C. Effect of dietary protein on growth, feed conversion, body composition and survival of pike perch fingerlings / C. Schulz, M. Böhm, M. Wirth, B. Rennert // *Aquaculture Nutrition.* – 2007. – Vol. 13. – P. 373-380.

Schulz C. Effects of varying dietary protein to lipid ratios on growth performance and body composition of juvenile pike perch (*Sander lucioperca*) / C. Schulz, M. Huber, J. Ogunji, B. Rennert // *Aquaculture Nutrition.* – 2008. – Vol. 14. – P. 166-173.

Sørensen M. Soybean meal improves the physical quality of extruded fish feed / M. Sørensen, N. Stjepanovic, O. Romarheim, T. Krekling // *Animal Feed Science and Technology.* – 2009. – Vol. 149 (1). – P. 149-161.

Sosulski F., McCurdy A. Functionality of flours, protein fractions and isolates from field peas and faba bean // *Journal of Food Science.* – 1997. – Vol. 52 (4). – P. 1010-1014.

Spinelli J., Houle C. R., Wekell J. C. The effect of phytates on the growth of rainbow trout (*salmo gairdneri*) fed purified diets containing varying quantities of calcium and magnesium // *Aquaculture*. – 1983. – Vol. 30 (1). – P. 71-83.

Spyridakis P. Studies on nutrient digestibility in european sea bass (*dicentrarchus labrax*): 1. methodological aspects concerning faeces collection / P. Spyridakis, R. Metailler, J. Gabaudan, A. Riaza // *Aquaculture*. – 1989. – Vol. 77 (1). – P. 61-70.

Storebakken T. Binders in fish feeds: I. effect of alginate and guar gum on growth, digestibility, feed intake and passage through the gastrointestinal tract of rainbow trout // *Aquaculture* – 1985. – Vol. 47 (1). – P. 11-26.

Storebakken T. The apparent digestibility of diets containing fish meal, soybean meal or bacterial meal fed to atlantic salmon (*salmo salar*): Evaluation of different faecal collection methods / T. Storebakken, I.S. Kvien, K. D. Shearer, B. Grisdale-Helland, S. J. Helland, G. M. Berge // *Aquaculture*. – 1998. – Vol. 169 (3-4). – P. 195-210.

Storebakken T. Estimation of gastrointestinal evacuation rate in atlantic salmon (*salmo salar*) using inert markers and collection of faeces by sieving: Evacuation of diets with fish meal, soybean meal or bacterial meal / T. Storebakken, I. S. Kvien, K.D. Shearer, B. Grisdale-Helland, S. J. Helland // *Aquaculture*. – 1999. – Vol. 172 (3–4). – P. 291-299.

Sveier H., Wathne E., Lied E. Growth, feed and nutrient utilisation and gastrointestinal evacuation time in atlantic salmon (*salmo salar* L.): The effect of dietary fish meal particle size and protein concentration // *Aquaculture*. – 1999. – Vol. 180 (3). – P. 265-282.

Szkudlarek M., Zakęś Z. Effect of stocking density on survival and growth performance of pikeperch, *Sander lucioperca* (L.), larvae under controlled conditions // *Aquaculture Research*. – 2007. – № 15. – P. 67-81.

Thiessen D.L., Campbell G.L., Adelizi P.D. Digestibility and growth performance of juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed with pea and canola products // *Aquaculture Nutrition*. – 2003. – Vol. 9 (2). – P. 67-75.

Thomas M., van Vliet T., van der Poel A. F. B. Physical quality of pelleted animal feed 3. contribution of feedstuff components // *Animal Feed Science and Technology*. – 1998. – Vol. 70 (1–2). – P. 59-78.

Tibbetts S. M., Milley J. E., Lall S. P. Apparent protein and energy digestibility of common and alternative feed ingredients by atlantic cod, *Gadus morhua* (Linnaeus, 1758) // *Aquaculture*. – 2006. – Vol. 261 (4). – P. 1314-1327.

Tömösközi S. Isolation and study of the functional properties of pea proteins / S. Tömösközi, R. Lásztity, R. Haraszi, O. Baticz // *Nahrung/Food*. – 2001. – Vol. 45 (6). – P. 399-401.

Wang Y. Effects of dietary protein and energy levels on growth, feed utilization and body composition of cuneate drum (*Nibea miichthioides*) / Y. Wang, J. Guo, K. Li, D.P. Bureau // *Aquaculture*. – 2006. – Vol. 252. – P. 421-428.

Wang N., Xu X.L., Kestemont P. Effect of temperature and feeding frequency on growth performances, feed efficiency and body composition of pikeperch juveniles (*Sander lucioperca*) // *Aquaculture*. – 2009. – Vol. 289. – P. 70–73.

Willemsen J. Influence of temperature on feeding, growth and mortality of pikeperch and perch // *Verhandlungen Internationale Vereinigung für Theoretische und Ungewandte Limnologie*. – 1978. – Vol. 20. – P. 2127–2133.

Wolf W. J. Soybean proteins, their functional, chemical and physical properties // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 1970. – Vol. 18 (6). – P. 969-976.

Zakęś Z. Effects of feeding regimes on growth, within-group weight variability and chemical composition of the juvenile zander, *Sander lucioperca* (L.), body / Z. Zakęś, M. Szkudlarek, M. Woźniak, K. Demska-Zakęś, S. Czerniak – 2003 [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.ejpau.media.pl/volume6/issue1/fisheries/art-04.html> (дата обращения 15.06.2016).

Zakęś Z. Effect of feeding frequency on growth and size variation in juvenile pikeperch, *Sander lucioperca* (L.) / Z. Zakęś, A. Kowalska, S. Czerniak, K. Demska-Zakęś // Czech J. Anim. Sci. – 2006. – Vol. 51. – P. 85-91.

Zakęś Z. Impact of feeding pikeperch *sander lucioperca* (L.) feeds of different particle size on the results of the initial on-growing phase in recirculation systems / Z. Zakęś, M. Hopko, A. Kowalska, K. Partyka, K. Stawecki // Archives of Polish Fisheries. – 2013. – Vol. 21 (1). – P. 3-9.

Zhao H. Fishmeal can be completely replaced by soy protein concentrate by increasing feeding frequency in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* GIFT strain) less than 2 g / H. Zhao, R. Jiang, M. Xue, S. Xie, X. Wu, L. Guo // Aquaculture Nutrition. – 2010. – Vol. 16 (6). – P. 648-653.

Zienert S., Heidrich S. Aufzucht von Zandern in der Aquakultur. Schriften des Instituts für Binnenfischerei e.V. Potsdam-Sacrow. – Potsdam-Sacrow: Institut für Binnenfischerei, 2005. – 75 p.