

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

На правах рукописи



МОЛЧАНОВА КСЕНИЯ АНДРЕЕВНА

**РЫБОВОДНО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ
ФОРМИРОВАНИЯ МАТОЧНОГО СТАДА РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ
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 – 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	10
2 МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА	53
3 РЫБОВОДНО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МАТОЧНОГО СТАДА РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ В УСТАНОВКАХ ЗАМКНУТОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ	66
4 МОРФОМЕТРИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ И ПОТОМСТВА РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ, ВЫРАЩИВАЕМЫХ В УЗВ И САДКОВОМ ХОЗЯЙСТВЕ	113
5 ОЦЕНКА ФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ, ВЫРАЩИВАЕМОЙ В УЗВ	122
6 БИОТЕХНИЧЕСКИЕ НОРМАТИВЫ ФОРМИРОВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ РЕМОНТНО-МАТОЧНЫХ СТАД РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ В УЗВ	149
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	152
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	156
ПРИЛОЖЕНИЕ А Акт внедрения результатов исследования	180

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Радужная форель является самым популярным объектом пресноводного лососеводства благодаря высокой лабильности к абиотическим и биотическим условиям выращивания, быстрому росту, высокой степени доместикации и, наконец, деликатесным и диетическим свойствам мяса [102].

Радужную форель выращивают в основном в открытых рыбоводных системах (прудовых, бассейновых и садковых хозяйствах), в которых температурный режим определяется воздействием природно-климатических факторов. В условиях проявления общемировой тенденции потепления климата, особенно, в летний период температура воды может повышаться до 21 – 24 °С. Такие ситуации с температурным режимом в открытых водоисточниках не могут не отражаться на росте и развитии рыб [110, 195]. В наибольшей степени негативное воздействие высокой температуры воды (выше 18 – 20 °С) отражается на развитии репродуктивной системе рыб. В соответствии с положением, выдвинутом Г.М. Персовым, ухудшение условий выращивания производителей рыб в межнерестовый период ведет к уменьшению плодовитости, нарушениям в гонадо- и гаметогенезе [116]. Поэтому следует приветствовать опыт работы селекционно-племенных хозяйств, в которых удается на более высоком уровне реализовать репродуктивный потенциал новых пород [31]. Расположение этих хозяйств привязано к водоисточникам в наибольшей степени, соответствующих требованиям, предъявляемым качеству воды, подаваемой в питомные и товарные подразделения [121, 122, 164].

Формирование и эксплуатация маточного стада – один из самых ответственных процессов в рыбоводстве, так как успех работы хозяйства во многом определяется качеством производителей [198]. Но при эксплуатации ремонтно-маточных стад форели часто возникает дефицит посадочного материала, образующийся, в частности, из-за повышенных отходов икры и молоди форели. Во многих хозяйствах формированию ремонтно-маточного стада не уделяется должного внимания, а условия его содержания практически не отличаются от условий выращивания товарной форели [107].

В России до последнего времени практически отсутствовали промышленные УЗВ по разведению и выращиванию форели. Одной из причин этого отсутствие научных и практических исследований и обоснований технологических режимов разведения радужной форели.

Поэтому актуальным является формирование и эксплуатация ремонтно-маточных стад радужной форели в УЗВ, в которых реально управлять температурным и газовым режимом, другими абиотическими и биотическими факторами, способствующими формированию высокого качества половых продуктов у производителей и получению качественного посадочного материала с размерно-весовыми характеристиками [215, 227, 257, 265].

Исследования по изучению физиологических, гематологических и иммунологических показателей рыб в естественных и искусственных водоемах имеют важное теоретическое и практическое значение. Позволяют установить физиологический статус рыб, подтверждающий соответствие условий выращивания их биологическим потребностям. Следует отметить, что исследования по изучению физиологического статуса радужной форели в УЗВ немногочисленны.

Разработка технологии формирования и эксплуатации ремонтно-маточного стада форели в УЗВ позволит создать основу для гарантированного получения качественного посадочного материала, реализации эффективных моно- и полициклических, а также комбинированных технологий выращивания товарной форели.

Степень разработанности темы исследования. Разработкой технологии формирования маточного стада радужной форели в открытых рыбоводных системах занимались многие ученые: З.И. Галкина (1967), Е.А. Боровик (1969), А.Н. Елеонский (1946), В.С. Кирпичников (1987), Е.С. Слущкий (1984, 1985), Н.А. Леманова (1984, 1985), Ю.П. Бабушкин (1974, 1976), W. Steffens (1972), Г.Г. Савостьянова (1969, 1971, 1974), W. Steffens (1971, 1973, 1974, 1978), Н.П. Новоженин (1975, 1985, 1986), А.Н. Канидьев (1975, 1979, 1984), К. Schmidt (1977), Н. Kincaicl (1977), Н. Zobel (1978, 1979), Е.Ф. Титарев (1980, 1991, 2001, 2005), Е.Г. Терентьева (1979, 1980, 1995, 2006), В.М. Голод (1995, 2006), В.Я. Никандров (1981, 1984, 1995, 2006), Н.И. Шиндавина (1995), А.А. Ростовцев (2000) и И.И. Кцоева (2006).

Сотрудниками ГосНИОРХ в ходе проведения селекционно-племенной работы на Центральной экспериментальной станции «Ропша» впервые в СССР в 70-х го-

дах XX века было сформировано высокопродуктивное маточное стадо радужной форели, которое отличалось от исходного повышенным темпом роста, большей плодовитостью и более ранним созреванием. Также в нашей стране еще в 70-80-е годы предпринимались попытки разработки биотехники выращивания форели в УЗВ. Однако, они ограничились разработкой биотехнических нормативов по выращиванию посадочного материала радужной форели в УЗВ. Причем, в качестве исходного материала были личинки, мальки, полученные от производителей, содержащихся в открытых рыбоводных системах [7].

Цель и задачи работы. Целью данной работы было изучение рыбоводно-биологических особенностей радужной форели на разных этапах выращивания и разработка технологии формирования ремонтно-маточного стада радужной форели в УЗВ.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- 1) оценить влияние абиотических факторов на рост и развитие радужной форели;
- 2) изучить скорость роста и выживаемость ремонтного поголовья, производителей радужной форели и их потомства в УЗВ;
- 3) установить эффективность кормления ремонтного поголовья, производителей радужной форели и их потомства в УЗВ;
- 4) дать оценку влияния условий выращивания на фенотипические признаки радужной форели;
- 5) установить рыбоводные качества производителей и предложить биотехнические нормативы по формированию и эксплуатации ремонтно-маточных стад радужной форели в УЗВ;
- 6) оценить физиологический статус радужной форели, выращенной в УЗВ по морфофизиологическим, гематологическим и иммунологическим показателям.

Научная новизна. Установлены особенности созревания и адаптации репродуктивной системы производителей радужной форели в специфических условиях УЗВ. Впервые изучены особенности двукратного созревания в течение года производителей в условиях режима абиотических факторов в УЗВ. Изучено влияние условий выращивания производителей радужной форели в УЗВ на качество их половых продуктов. Установлены особенности роста и жизнестойкости, кормления

трех последовательных генераций. Впервые разработаны биотехнические нормативы формирования и эксплуатации ремонтно-маточных стад радужной форели в УЗВ. Впервые установлены особенности модификационных изменений экстерьера тела у производителей и их потомства, выращиваемых в хозяйствах с естественной термикой воды и управляемого режима выращивания в УЗВ. Установлен гематологический, морфофизиологический и иммунологический статусы радужной форели, выращиваемой в УЗВ, в возрасте сеголетков, годовиков и двухлетков.

Теоретическая значимость проведенных исследований заключается в подтверждении особого характера адаптации радужной форели к специфическим условиям УЗВ, проявляющегося в модификационных изменениях на фенотипическом уровне. Большой тепловой баланс и длительный период нагула, отражающий специфику УЗВ приводит к изменению характера созревания производителей радужной форели от типичной для весенне-нерестующей формы в сторону типичной для осенне-нерестующей. Интенсификация роста радужной форели в УЗВ обуславливает высокие размерно-весовые характеристики впервые созревающих производителей, согласующиеся с высоким качеством половых продуктов и потомства. При увеличении теплового баланса и продолжительности периода нагула радужной форели выделяется группа рыб, созревающих два раза в течение года, что можно рассматривать как основу для стабилизации этого свойства в следующих поколениях. Эмпирическим путем на основе экспериментальных данных определена степень влияния экологического коэффициента на степень раскрытия ростовой потенции радужной форели в УЗВ.

Предложенная технология и рекомендации по формированию ремонтно-маточного стада обосновывают выбор оптимальных условий выращивания форели в УЗВ, гарантирующих высокое качество производителей и их потомства.

Практическая значимость работы заключается в: предложенной технологии и рекомендациях по формированию ремонтно-маточного стада в УЗВ; предложенных биотехнических нормативах формирования и эксплуатации ремонтно-маточных стад радужной форели в УЗВ, которые могут быть применены на промышленных УЗВ при освоении моно- и полициклических технологий выращивания посадочного материала и товарной рыбы, а также при освоении комбинированных

технологий по схеме УЗВ (выращивание посадочного материала) – прудовые, бассейновые, садковые форелевые хозяйства.

Полученные данные используются в лекционном курсе «Специальные методы выращивания рыб» в бакалавриате и «Товарное лососеводство» в магистратуре по направлению «Водные биоресурсы и аквакультура» в ФГБОУ ВО «КГТУ», также их можно использовать в учебном процессе по направлению "35.03.08 Водные биоресурсы и аквакультура" в дисциплине «Основы индустриальной аквакультуры» и направлению "35.04.07 Водные биоресурсы и аквакультура" в дисциплине «Современные проблемы и перспективы развития аквакультуры».

Методология и методы диссертационного исследования в соответствии с целью и поставленными задачами основаны на применении стандартных и общепринятых методик, включая математических анализ полученных результатов.

Положения, выносимые на защиту:

- 1) Специфические условия УЗВ влияют на рост и развитие форели, а также на количество и качество продуцируемых производителями половых продуктов;
- 2) Потомство производителей форели отличается высоким темпом роста и жизнестойкостью;
- 3) Морфометрические, морфофизиологические, гематологические и иммунологические особенности ремонтного поголовья и производителей форели отражают условия их выращивания в УЗВ.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность результатов диссертационного исследования подтверждена апробацией их в промышленных условиях. Весь собранный материал обработан методами статистического анализа. Основные положения, материалы и результаты диссертации докладывались и обсуждались на международных научных конференциях «Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоемов» (Калининград, 2014, 2015, 2016); 11th Baltic Conference on Food Science and Technology “Food science and technology in a changing world” FOODBALT 2017 (Jelgava, 2017); на II Всероссийской молодежной конференции «Рыбохозяйственные исследования на внутренних водоемах» (Санкт-Петербург, 2016). А также с заочным участием в международных научно-технических конференциях «Инновационные технологии в пищевой промышленности: наука, образование и производство» (Воронеж, 2013, 2016, 2017), «Океано-

логия в XXI веке: современные факты, модели, методы и средства» (Ростов-на-Дону, 2017) и во всероссийской конференции «Современное состояние биоресурсов внутренних водоемов и пути их рационального использования» (Казань, 2016).

Отдельные разделы диссертации легли в основу коллективной монографии «Биологические и технологические особенности пастбищной аквакультуры в Калининградской области» и учебников «Товарное лососеводство» и «Современные проблемы и перспективы развития аквакультуры», используются в лекционном курсе в бакалавриате и магистратуре по направлению «Водные биоресурсы и аквакультура» в ФГБОУ ВО «КГТУ».

Декларация личного участия. Автором были поставлены цель и задачи исследования, проведены эксперименты, отработаны все этапы технологического процесса, выполнена статистическая обработка собранных данных, проанализированы полученные результаты, сделаны выводы. Весь материал по формированию и эксплуатации ремонтно-маточного стада радужной форели в УЗВ был собран и обработан автором самостоятельно в период с сентября 2011 г. по декабрь 2016 г.

Публикации. По результатам исследования опубликовано 22 печатных работы, в том числе 11 в журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, а также в соавторстве в 1 монографии и 3 учебных пособиях.

Объем и структура работы. Диссертация изложена на 180 с., состоит из введения, пяти разделов, заключения, практических рекомендаций, списка использованных источников (276 источников, в том числе 70 иностранных), содержит 67 рисунков и 29 таблиц, приложения.

Благодарности. Автор выражает самую искреннюю признательность научному руководителю к.б.н., доценту, профессору кафедры аквакультуры ФГБОУ ВО «КГТУ» Евгению Ивановичу Хрусталеву за неоценимую помощь в сборе и анализе материала; заведующему кафедрой аквакультуры ФГБОУ ВО «КГТУ», д.б.н., профессору Геннадию Георгиевичу Серпунину за ценные рекомендации в части оценки гематологического статуса рыб, а также за помощь в подготовке диссертации к защите; доцентам, к.б.н. той же кафедры Т.М. Кураповой и Л.В. Савиной за помощь в сборе материалов и проведении анализов по оценке физиологического статуса рыб. Отдельную благодарность автор выражает рыбоведам и начальнику цеха

по выращиванию рыб ООО «ТПК Балтптицепром» И.Е. Шаповаловой, оказавших практическую помощь в сборе материала.

1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Радужная форель (рисунок 1) обитает в холодноводных реках и озёрах тихоокеанского побережья Северной Америки и Азии. Она была интродуцирована приблизительно в 82 страны и получила широкое распространение как объект выращивания благодаря своим рыбоводным качествам: хорошо приспосабливается к искусственным условиям содержания и эффективно усваивает искусственные корма, обладает высоким темпом роста при значительной плотности посадки, что является результатом длительной domestikации и проводимой селекции [52, 66, 143, 198, 222, 224, 241, 273].



Рисунок 1 – Радужная форель (*Oncorhynchus mykiss*) [219]

Форель, выращенная в пресных водоемах, обычно продается порционного размера (300 – 500 г/шт.), а рыба более крупного размера (более 1000 г/шт.) [213]. Большая часть продукции радужной форели (рисунок 2), выращенной в морских садках, производится в Норвегии, Шотландии, Ирландии и на Фарерских островах (около 80 тыс. т). Общий объем производства радужной форели составляет более 800 тыс. т [160]. Основную же часть продукции форели получают в пресноводных садковых и бассейновых хозяйствах.

Норвегия является главным производителем радужной форели, объемы производства которой составляют 79 % от общего производства в Европе. В абсолютных показателях, производственные цифры в 2004 г. были самыми высокими в Норвегии (63401 т), за ней следовали: Дания (8785 т), Фарерские острова (5092 т), Соединенное Королевство Великобритании и Северной Ирландии (1664 т) и Швеция (1316 т). Основной страной за пределами Европы, выращивающей радужную форель, является Чили с объемами производства более 110 тыс. т [227].

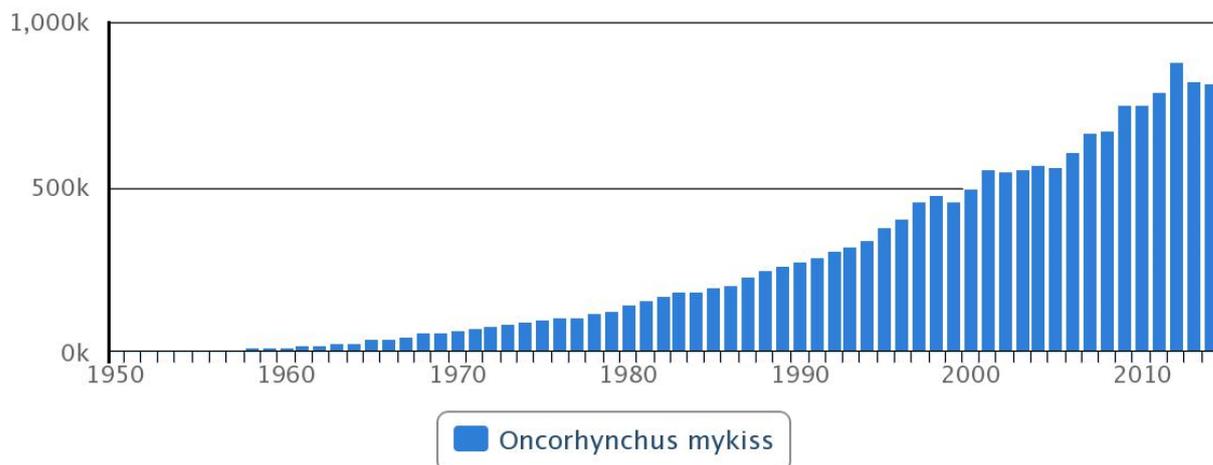


Рисунок 2 – Общий объем выращивания радужной форели [269]

Общероссийский лидер по выращиванию товарной форели – Карелия (56 хозяйств), на долю которой приходится 70 % от общего объема. Объем производства радужной форели с 1993 по 2016 г. вырос в десятки раз: с 400 т до 21,2 тыс. т [183].

Одним из главных преимуществ рыбоводных хозяйств являются их приближенность к потребительскому рынку, который в России в значительной степени охватывает зоны умеренного климата. Упомянутое выше увеличение суммы температуры воды в последнее десятилетие делает выращивание форели, особенно в летний период, критическим. Проблематичным становится выращивание, прежде всего, ремонтно-маточного поголовья и посадочного материала. Так, в аномально жаркое лето 2010 г., когда в пределах европейской части России, а также странах Центральной и Восточной Европы, температура воздуха в течение 50 и более суток была выше 30 °С, а воды 23 – 27 °С. Потери поголовья разных видов рыб всех возрастов в открытых рыбоводных системах были крайне значимыми [204]. В большей степени это отразилось на форелевых хозяйствах. Особенно на производителях и молоди, более восприимчивых к проявлению негативных факторов [116].

Учитывая то, что в эмбриональный и личиночный период развития рыб решающее влияние на развитие оказывает наследственный фактор, то получение качественного потомства рыб возможно только при условии поддержания режима оптимальных абиотических и биотических факторов [42]. Но и на этапах выращивания мальков и сеголетков поддержание оптимального температурного режима обеспечивает интенсивный рост и высокую выживаемость молоди. Поэтому объек-

тивным является перевод ремонтно-маточного поголовья и молоди форели в объекты разведения и выращивания в УЗВ, в которых реально управлять температурным и газовым режимом, другими абиотическими и биотическими факторами.

В России до последнего времени практически отсутствовали промышленные УЗВ по разведению и выращиванию форели. Одной из причин этого отсутствие научных и практических исследований и обоснований технологических режимов разведения радужной форели.

Прогрессивным направлением в разведении и выращивании холоднолюбивых объектов индустриального рыбоводства, прежде всего радужной форели, является использование установок замкнутого водоснабжения [180]. В них можно более строго контролировать все технологические процессы разведения и гарантировать контроль постоянства важнейших абиотических факторов, определяющих рост и развитие рыб [214, 226, 264]. Ещё одним преимуществом УЗВ является возможность включения их в комбинированные технологические схемы, когда контролируемые условия обеспечат получение качественного посадочного материала с заданными весовыми кондициями, а выращивание товарной рыбы в открытых рыбоводных системах будет ориентировано на получение продукции в сокращенные сроки. Большой экономический эффект от использования УЗВ может быть достигнут при выращивании крупного посадочного материала, который поставляется в рекреационные хозяйства, что обеспечивает круглогодичный характер их работы. Для того чтобы приведенные технологические схемы или многочисленные их модификации эффективно работали, необходимо обосновать с научных позиций возможность формирования на базе УЗВ маточных стад форели, дающих качественные половые продукты и потомство.

Совершенствование выращивания рыб в УЗВ требует усилий рыбоводов по выяснению особенностей протекания биологических процессов у рыб в специфических условиях выращивания. Выяснение физиологических адаптаций рыб в этих условиях поможет определить оптимальные условия и кормления рыб на разных этапах выращивания [135, 151, 153].

Адаптация к изменившимся условиям внешней среды отмечена на всех уровнях биологической организации. На физиологическом уровне способы осуществления жизненных функций отражают внешние условия, с которыми сталкивается

вид [190]. В основе видовой адаптации лежат изменения физиологических механизмов различных систем организма, в том числе систем крови, дыхания и деятельности сердца. Акклиматизационные процессы у радужной форели в искусственных водоемах и при заводском выращивании вызывают изменения клеточного состава дыхательной функции крови, естественной резистентности, что в целом отражает адаптацию рыб к этим условиям [69].

Исходя из этого, оценивая потенциал развития товарного производства форели в районах с высоким прогревом воды в летний период, следует рассматривать целесообразность создания в них форелевых рыбопитомников, обеспечивающих посадочным материалом нагульные хозяйства. Функционирование нагульных хозяйств в этих районах основано на большей жизнестойкости форели старшего возраста в условиях повышения температуры воды до 21 – 24 °С, возможности установления принудительной аэрации воды, нагнетания глубинных слоев воды в поверхностные в районе размещения садков или увеличения глубины садков [178, 180]. Эксплуатация форелевых рыбопитомников на базе УЗВ можно также рассматривать с позиции обеспечения посадочным материалом товарных хозяйств на северо-западе России, где его, ввиду дефицита на отечественном рынке, вынуждены закупать в Финляндии, Норвегии, Белоруссии.

В России в настоящее время имеется два форелевых предприятия, работающие на базе промышленной УЗВ, «Селекционный центр аквакультура» и «Ф-Траут» (Калужская область). Первый выращивает посадочный материал, которым снабжают другие регионы России. В 2016 г. на предприятии выращено 7 млн мальков форели [170]. Однако это хозяйство, не имея и не создав маточное стадо, вынуждено завозить оплодотворенную икру форели из Франции. Продукция «Ф-траут» это порционная и товарная форель, но, также, не имея своих маточных стад форели, закупают икру в хозяйствах Европы и США [89]. Поэтому, предполагая возможность реализации полноциклической технологии выращивания форели в УЗВ, необходимо поставить задачи, решение которых обоснует целесообразность формирования и эксплуатации ремонтно-маточных стад форели в специфических условиях замкнутой искусственной системы, в которой, даже при поддержании оптимальной температуры воды, насыщения воды кислородом, концентрации продуктов метаболизма и форм их преобразования, как минимум на порядок выше,

чем в открытых рыбоводных системах [57, 213, 214, 248, 267]. Поэтому оценка влияния абиотических и биотических факторов, реализуемых в физиологическом статусе радужной форели на всех этапах в период формирования ремонтно-маточного стада, может рассматриваться как основа для установления стандартного подхода к эксплуатации УЗВ [135, 151, 153].

Поэтому объективным является научно-техническое обоснование формирования и эксплуатации ремонтно-маточных стад радужной форели в установках замкнутого водоснабжения и получение посадочного материала с заданными размерно-весовыми характеристиками, адаптированного к различным типам форелевых хозяйств. Такой подход также согласуется с вопросом обеспечения продовольственной безопасности, которая предусматривает производство продукции на всех этапах развития биологического объекта на территории России. При выведении промышленных УЗВ на полноцикличный режим разведения и выращивания форели, очевидно, станет вопрос о селекционно-племенной работе, направленной на улучшение рыбохозяйственных качеств объекта выращивания. Но на настоящем этапе необходимо оценить особенности развития репродуктивной, ростовой и адаптогенной потенции форели в специфических условиях УЗВ. А также установить физиологический статус рыб на всех этапах рыбоводного процесса. На основании исследований можно будет реализовать первый опыт разработки биотехнических нормативов разведения и выращивания форели в УЗВ.

1.1 Влияние абиотических условий на рост и развитие радужной форели на разных этапах выращивания

Температура воды является одним из абиотических факторов, оказывающих наибольшее воздействие на все жизненные функции гидробионтов, определяет их рост и развитие [63]. У. Хоар с соавторами в разработанной классификации определили температуру воды как основной, определяющий развитие рыб фактор [188]. Она действует на рыбу как непосредственно, изменяя интенсивность обменных процессов, происходящих в организме, активность потребления пищи, метаболизм, развитие половых желез, так и косвенно, оказывая влияние на степень развития естественной кормовой базы в водоемах, на формирование некоторых морфологических признаков рыб. Изменение температуры воды влияет на распространение

рыб в водоеме, на сроки и пути миграций, распределение по глубинам, смену мест нагула, зимовки и нереста, формирование зон промысловой концентрации [3, 27, 63, 93, 182, 244].

Следует отметить, что повышение или понижение температуры воды, вызывает соответствующие изменения в жизнедеятельности рыб. Так, например, при повышении температуры воды от минимальных до оптимальных значений, увеличивается потребление кислорода, ускоряется развитие, усиливаются поиск, потребление и переваривание пищи, увеличивается желудочная секреция и моторная деятельность кишечника, ускоряется всасывание растворенных веществ из окружающей среды и повышается чувствительность к токсикантам и т. д. [6, 19, 33, 38, 48]. При этом большую роль играет состояние организма (возраст, степень половой зрелости и др.).

Понижение температуры воды ниже оптимальной ведет к снижению резистентности организма, снижению поисковой активности и интенсивности питания, к изменениям в физиологическом состоянии (активность обменных процессов, интенсивность переваривания и усвоения пищи и т.д.), а также помутнению покровов, отслоению эпидермиса [83, 86, 210, 247]. Резкая смена температуры воды сказывается неблагоприятно на организме рыбы, поэтому необходимо выравнивать температуру воды при пересадках рыбы постепенно [63, 86]. Более того, при пересадках или перевозках рыб в первую половину года в умеренных широтах обоснован градиент в сторону увеличения температуры воды, во вторую в сторону понижения. Например, предстоит перевозка рыбы в марте из рыбоводной системы, в которой температура воды 8 °С. Целесообразная температура воды в новом месте выращивания должна быть 8 – 10 °С, отклоняясь в исключительных случаях не более, чем на 5 – 6 °С.

Радужная форель холодолюбива и относительно stenothermna. В реках и ручьях, где можно обнаружить радужную форель, перепад температуры в 5 °С – обычное явление [26, 198]. В пределах температурного градиента при возможности свободного перемещения радужная форель предпочитает определенную температуру воды, которая зависит от предварительной акклимации. Если температура акклимации была сравнительно высока, то избираемая температура ниже ее и наоборот [243, 259].

Изменения температуры воды не сопровождаются немедленными изменениями в обмене, особенно, когда условия среды быстро изменяются. Рыба считается акклимированной, если у нее установился новый уровень обмена. Так, в обычных условиях радужная форель погибает при температуре 25-26 °С [26, 34, 238, 251]. Однако для форели, акклимированной к 12 °С, летальной является температура 24,9 °С, к 16 °С - 25,4 °С, к 20 °С - 25,8 °С, к 24 °С — 26,3 °С [229, 237, 243, 261]. Увеличение температуры акклимации на 3 °С обычно повышает летальную температуру приблизительно на 1 °С - до достижения критического значения температуры, когда дальнейшая акклимация невозможна [198, 232, 240, 250, 259]. По данным Е.Ф. Титарева было установлено, что радужная форель, акклимированная к температуре 18 °С, в термоградиенте предпочитает эту же температуру. Для радужной форели благоприятная температура воды составляет 9-17 °С, а наиболее благоприятная – 12-15 °С [26, 179, 271].

Нерест радужной форели происходит при температуре 4-10 °С, чаще при 6-8 °С [52, 72, 250]. Скорость эмбрионального развития также зависит от температуры. Из литературных источников известно, что диапазон оптимальной температуры воды в период эмбрионального развития находится в пределах 6-10 °С [63, 156, 180, 234, 272]. Температура ниже 2 и выше 14 °С неприемлема для эмбрионального развития радужной форели. Ускоренное развитие эмбрионов приводит к вылуплению нежизнеспособных предличинок. Для выдерживания предличинок и подращивания личинок наиболее подходящей является температура 8-12 °С [234, 250, 272, 274]. При температуре ниже 2,5 °С предличинки не поднимаются на плав и не переходят на активное питание, в последствии погибают [52, 222, 244, 274]. При выращивании личинок и мальков наилучший результат достигается при температуре 12-14 °С, которую при дальнейшем выращивании молоди поднимают до 16 °С [224, 244, 245, 252].

При температуре воды 21-24 °С у радужной форели отмечают нарушения физиологических функций. Это проявляется в отклонениях от нормы процессов ассимиляции питательных веществ, что приводит к сокращению, а порой полному прекращению кормления рыб. В естественных водоемах повышение температуры воды часто сопровождается ухудшением газового режима, что приводит к недостаточному обеспечению органов и тканей рыб кислородом [28, 34, 63, 206, 211].

Рядом исследователей было показано, что при 100 % насыщении воды кислородом функционирование жизненно важных систем, в том числе и ассимиляция питательных веществ, проходят без заметных отклонений от нормы независимо от температуры воды. Так, было установлено, что при 100 % насыщении воды кислородом радужная форель нормально питалась и росла при температуре воды 29°C, а в естественных водоемах она перестает питаться при 20 °C [34, 63].

Определяющей созревание и разрешение репродуктивной функции у производителей рыб является сумма градусо-дней, набираемая ими за вегетационный сезон, зимний и преднерестовый периоды. Для многих рыб, развивающихся в естественных условиях с выраженной сменой сезонов года, первый нерест наступает, когда сумма градусо-дней за весь предшествующий период с момента вылупления предличинок составляет от 7 до 12 тысяч. Между последующими нерестами сумма градусо-дней составляет от 2,5 до 4 тысяч [70, 221, 252].

Установлено, что при температуре воды в период межнерестового нагула 6 – 10 °C у форели отмечают отставание в росте и относительно низкое качество половых продуктов, при 12 – 14 °C среднее раскрытие ростовой потенции и высокое качество половых продуктов, при 15 – 18 °C быстрый рост и хорошее качество половых продуктов, при 19 – 21 °C – низкие скорость роста и качество половых продуктов [26].

В условиях индустриальных рыбоводных хозяйств, использующих в технологическом цикле сбросную теплую воду или замкнутую систему водоснабжения, возможно: либо существенно удлинить вегетационный сезон с благоприятной для развития рыб температурой воды, сократив при этом осенний и весенний периоды и видоизменив характер зимнего содержания рыб; либо обеспечить в течение всего календарного года условия для достижения конкретных целей выращивания рыб. Поэтому сумма градусо-дней, набираемая рыбами в течение календарного года в таких хозяйствах, может достигать 5-10 тысяч. Это позволяет сдвигать сроки и возраст созревания и нереста рыб по сравнению с привычными и получать неоднократно в течение года потомство от одних и тех же производителей [63, 70, 102, 207].

Реальность двукратного созревания форели в течение года подтверждается встречаемостью в природе особей, у которых половые продукты созревают два

раза в год. Возможность выделения таких рыб в популяциях и дальнейшая селекция в условиях оптимизированного температурного режима лежат в основе создания отечественной породы форели с двухкратным нерестом [4, 104, 143, 165]. Наконец, существенно сокращать продолжительность выращивания посадочного материала и товарной рыбы [31, 155, 180, 242].

Растворимый в воде кислород по классификации У. Хоара и соавторов относится к основным лимитирующим развитие рыб факторам. При недостаточном содержании кислорода в воде интенсивность обмена веществ в организме рыб снижается и это отрицательно сказывается на их росте и развитии. Поэтому для каждого вида рыб существует нижняя граница содержания кислорода в воде - так называемый кислородный порог, за пределом которого организм не в состоянии осуществлять свои жизненные функции и погибает от удушья. Он не всегда постоянен, сдвигаясь в зависимости от температуры воды, солевого состава и концентрации водородных ионов [198].

Для радужной форели, как реофильной и оксигенофильной рыбы, главным компонентом реакции окисления питательных веществ в организме является кислород [92, 106, 168]. Благодаря реакции окисления организм получает всю необходимую для существования энергию. В спокойном состоянии утилизация кислорода у форели достигает 50-60 %. На утилизацию кислорода могут влиять аммиак, нитриты, свободный диоксид углерода, которые при определенной концентрации ухудшают качество воды [63, 180]. Чувствительность к низкому содержанию растворенного в воде кислорода неодинакова и зависит от периода развития (икра, личинки, молодь, взрослая рыба) и условий, в которых осуществляются основные процессы жизнедеятельности (питание, рост, размножение). Эти процессы, в свою очередь, определяются плавательной активностью и поведением рыбы. Концентрация кислорода, составляющая около 5 мг/л, является для роста форели критической, и ее дальнейшее уменьшение на каждый мг/л снижает темп роста на 30 % [198].

Многими учеными отмечено, что кислородный режим в бассейнах с центральным водосбором во всем объеме циркулирующей воды более благоприятен и процесс самоочищения происходит более эффективнее [52, 53, 235]. Это объясняется улучшением структуры водного потока, устранением застойных зон и более

равномерным распределением рыбы в бассейнах. Концентрация кислорода в рыбноводных емкостях при выращивании форели должна быть не менее 8 – 10 мг/л. Снижение ее до 3,5 мг/л вызывает угнетение жизнедеятельности; концентрацию 2,5 мг/л форель может переносить лишь в течение непродолжительного времени [52, 231, 244, 273]. Пребывание форели в воде с концентрацией кислорода менее 5 мг/л даже в течение 8-12 ч влечет за собой такое снижение темпа роста, которое наблюдается при постоянно низкой концентрации кислорода [198].

Потребление радужной форелью кислорода прямо пропорционально температуре воды и обратно пропорционально массе рыбы. Уменьшение содержания растворенного кислорода или перенасыщение им воды может замедлять развитие и рост предличинок форели, уменьшать размеры вылупившихся эмбрионов или задерживать вылупление. Для обеспечения нормального протекания процесса эмбрионального развития целесообразно поддерживать содержание кислорода в воде не ниже 7,5 мг/л, поскольку содержание кислорода в воде, составляющее около 3 мг/л, вызывает гибель икры, а менее 7 мг/л — тормозит ее развитие. Эмбрионы радужной форели наиболее чувствительны к дефициту кислорода во время вылупления. Высокая их смертность наблюдается при понижении содержания кислорода до 3 мг/л. Летальный уровень содержания кислорода для радужной форели колеблется от 0,95 до 3,4 мг/л [53, 179].

Уменьшение содержания растворенного кислорода даже до 50 %-ного насыщения может снизить потребление пищи и темп роста молоди даже при прочих благоприятных условиях. В.В. Стрельцова отмечает, что снижение содержания кислорода угнетающе действует на липолитическую активность кишечных ферментов у радужной форели [167]. Радужная форель продолжает плавать при концентрации кислорода, которая близка к летальной. Ее максимальная устойчивая скорость плавания в нормальных условиях снижается при любом уменьшении концентрации кислорода в воде по сравнению с нормальным уровнем насыщения. С увеличением скорости течения воды повышается потребление кислорода рыбами - оно удваивается при проточности, составляющей 1-2 длины рыбы в секунду и еще раз удваивается при повышении скорости течения до 2-3 длин рыбы в секунду [50].

Содержание растворенного кислорода в воде должно составлять от 10-11 (на токе) до 7 (на вытоке) мг/л, но не менее. Если разница в содержании кислорода на

входе и выходе из бассейна 2 – 3 мг/л, то это говорит о нормальной плотности посадки, если более то об уплотненной посадке, если менее 2 мг/л, то о разреженной или заболевании рыбы [120]. При температуре 20 °С содержание кислорода в воде должно составлять 8 мг/л (100 %-ное насыщение) [198]. Известно, что радужная форель хорошо переносит насыщение воды чистым кислородом до 300-350 % [52, 179]. При температуре воды 21-26 °С у форели отмечали определенный рост и сохранение жизнеспособности (как у молоди, так и у взрослой рыбы), когда в рыбоводную емкость подавали воду, содержащую по крайней мере 20 мг/л кислорода на входе) [198].

Потребление кислорода радужной форелью зависит от состава корма и, в частности, от соотношения протеина и энергии. Чем больше доля протеина, используемого на энергетические нужды, тем больше расходуется кислорода. При повышении в составе корма жира потребление кислорода снижается. Плохо сбалансированный по аминокислотам корм обуславливает повышение потребления кислорода, часть протеина разлагается до аммиака и выводится из организма. Потребление кислорода существенно меняется с ростом рыбы (таблица 1).

Таблица 1 – Потребление кислорода питающейся форелью в зависимости от температуры и массы тела, г/(кг×сут) [198]

Температура воды, °С	Масса рыб, г	
	25	100
5	2,5 – 3,0	1,5 – 2,0
10	5,0 – 5,5	3,5 – 4,0
15	9,0 – 10,0	6,5 – 7,5
20	11,0 – 12,0	7,5 – 8,5

Так, форель массой 1 г при интенсивном обмене веществ и температуре 15-20 °С потребляет около 1000 мг/ (кг×ч) кислорода, а форель массой 10 г - только 500 мг/(кг×ч). При обычном обмене веществ потребность в кислороде снижается до 200-300 мг/ (кг×ч).

Водородный показатель (рН), имеющий важное значение для рыб, зависит от соотношения растворенных в воде кислорода и свободной углекислоты и закономерно изменяется в зависимости от суточного и сезонного хода фотосинтеза.

Для каждого вида рыб характерны определенные значения активной реакции среды. При изменении ее величины обмен веществ также меняется, так как снижается способность организма поглощать кислород [63, 180]. Восприимчивость радужной форели к величине рН различна и ее следует рассматривать во взаимосвязи с окружающей рыб средой обитания [198].

Активная реакция среды является результатом взаимодействия множества растворенных в воде веществ и протекающих в ней биологических процессов, от которых зависят ее стабильность и изменчивость. Лучший рост рыб отмечают в воде с постоянным рН. Колебания рН в значительной степени зависят от диссоциации аммиака, наличия диоксида углерода и минеральных солей. Восприимчивость форели к кислой или щелочной рН зависит от времени контакта [3, 57, 59].

При выращивании форели лучше всего использовать воду, в которой рН составляет от 7 до 8, допустима рН от 6,5 до 9. Критическими для радужной форели значениями рН являются 4,5 и 9,2. Темп роста рыб в кислой воде ниже, чем в щелочной. Икра радужной форели не выживает при рН ниже 4,5 и выше 9, но при рН 5 выживаемость является приемлемой [198, 206].

При низких значениях рН (4,3-4,8) и содержании кальция 9,3 мг/л происходят удлинение срока инкубации и увеличение смертности икры, снижение частоты сердцебиения, замедление роста, образования костного вещества и меланина у эмбрионов.

Годовики форели более устойчивы к низким значениям рН, чем молодь на более ранних стадиях развития. Токсическое действие критических значений рН проявляется в разрушении жаберного и кожного эпителия, эрозии спинных и хвостовых плавников, повреждении роговицы, хрусталика глаза и слепоте. Половозрелая радужная форель обладает повышенной устойчивостью к кислой воде при повышенном содержании в воде кальция. Понижение или повышение величины рН относительно нейтральной затрудняет потребление форелью растворенного кислорода. Влияние рН связано с уровнем насыщения воды кислородом. При высоком содержании кислорода влияние рН может не сказаться на росте рыбы. При рН выше 8 равновесие между недиссоциированным аммиаком (NH_3) и диссоциированным аммиаком (NH_4) быстро смещается в сторону NH_3 , что увеличивает риск интоксикации.

Изменения рН оказывают воздействие на физиологическое состояние рыбы и ее поведение. Кислая вода отрицательно влияет на аппетит и рост форели, уменьшается потребление кислорода, возникает ацидоз и создаются благоприятные условия для развития и распространения эпидемических заболеваний. Повышение рН в кислой среде может быть достигнуто путем внесения извести в источник воды [86, 198].

Нитриты, нитраты, аммиак. Токсичность нитритов зависит от времени экспозиции и размера рыбы, наибольшую устойчивость проявляют мальки. Для радужной форели порог токсичности нитритов колеблется от 0,1 до 1 мг/л. Нитриты являются неустойчивыми образованиями, проявляющими тенденцию к окислению в нитраты при высоком содержании кислорода в воде (80-100 % насыщения и более) [84, 86].

Биологическое окисление нитритов в присутствии нитрифицирующих бактерий приводит к образованию нитратов, более стабильных и являющихся токсичными лишь при высокой концентрации – 100-300 мг/л. Нитраты редко достигают токсической концентрации при хорошей проточности, благоприятствуют развитию водорослей в водоеме [3].

В водных растворах аммиак содержится в двух формах: ионизированный аммиак или аммоний (NH_4^+) и неионизированный аммиак (NH_3). В связи с тем, что большее токсическое действие на рыб оказывает неионизированная форма аммиака, необходимо знать концентрацию NH_3 в общем количестве аммиака. Неионизированный аммиак находится в равновесии с аммонием, что главным образом зависит от рН и в меньшей степени от температуры и ионной силы воды [84, 86].

Для взрослой радужной форели летальная концентрация неионизированного аммиака (NH_3) составляет приблизительно 0,45 мгN/л. Пороговая концентрация неионизированного аммиака при нересте форели составляет 0,3-0,4 мг/л, при развитии икры – 0,35 мг/л, при росте и развитии предличинок и личинок – 0,025 мг/л, а затем возрастает в мальковый период развития до 0,44 мгN/л. При концентрации неионизированного аммиака от 0,10 до 0,15 мгN/л у радужной форели отмечаются вялость, потеря аппетита и плохой рост в течение первых двух недель или временное ухудшение роста, иногда же данная концентрация на рост и оплату корма влияния не оказывает. Как правило, рыба, акклиматизированная к этой концентрации, рас-

тет в дальнейшем нормально. Концентрация 0,07 мгN/л не оказывает никакого вредного влияния на радужную форель при содержании в течение длительного времени [84, 86, 206].

1.2 Влияние плотности посадки и уровня водообмена на рост радужной форели

В УЗВ применение высокой плотности посадки и водообмена снижает потребность в площадях и объемах выростных емкостей для выращивания рыбы, а также сокращает протяженность водоподающих и водосбросных сетей, но повышает требования к оборудованию, используемому при восстановлении качества воды [41, 214, 248, 254].

При высокой плотности посадки рыб в бассейнах УЗВ прекращение подачи воды даже на 5-10 мин может вызвать большой отход рыб [198].

Из литературных источников известно, что при увеличении плотности посадки выше допустимых значений темп роста рыб снижается, затраты корма увеличиваются, а при содержании кислорода на вытоке менее 5 мг/л повышается отход [41, 58, 214, 248, 254]. Влияние плотности посадки на эффективность выращивания рыбы в значительной степени корректируется кислородным режимом [78].

Расход воды на единицу массы рыбы, непосредственно связанный с плотностью посадки, является экономическим фактором в форелеводстве. Так, при массе рыбы 8 г, в зависимости от плотности посадки, температуры воды и интенсивности водообмена от 1 до 6 раз в час расход воды на 1 кг форели меняется следующим образом (таблица 2).

Таблица 2 – Зависимость расхода воды в бассейнах от температуры [198]

Температура воды, °С	4,5 - 7	7 - 9,5	9,5 - 12	12 - 15	15 - 18
Расход воды, л/мин	0,52 - 0,11	0,69 - 0,15	1,04 - 0,19	1,51 - 0,25	1,67 - 0,35

С увеличением интенсивности водообмена от 1 до 6 раз в час и увеличением индивидуальной массы рыбы расход воды на 1 кг форели уменьшается, а с увеличением температуры воды — возрастает [198]. Шведские рыбоводы рекомендуют

несколько другие нормативы (таблица 3) расхода воды на единицу массы форели при различной индивидуальной массе и температуре воды.

Таблица 3 – Потребность форели в пресной воде при 100%-ном насыщении кислородом, л/(мин×кг) [198]

Масса рыб, г	Температура воды, °С						
	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20
0,5	0,4	0,6	0,8	1,1	1,4	2,0	2,6
1,5	0,27	0,4	0,53	0,67	0,87	1,2	1,6
2,5	0,32	0,52	0,72	0,88	1,2	1,64	2,16
5,0	0,32	0,48	0,6	0,8	1,08	1,5	2,0
10,0	0,29	0,44	0,56	0,74	0,97	1,38	1,83
25,0	0,27	0,38	0,48	0,65	0,86	1,19	1,6
50,0	0,25	0,33	0,42	0,57	0,77	1,06	1,4
75,0	0,22	0,31	0,39	0,54	0,7	0,98	1,3
100,0	0,21	0,3	0,37	0,51	0,65	0,92	1,25
200,0	0,18	0,25	0,32	0,43	0,56	0,78	1,04

В отечественных руководствах по выращиванию форели в бассейнах и прудах предлагаемые нормативы допускают выращивание молоди массой 1-30 г при плотности посадки от 16 до 60 кг/м³, а взрослой рыбы массой 30-150 г - при плотности посадки от 30 до 75 кг/м³ (интенсивность водообмена 1 – 6 раз в час) [47, 87, 132, 133, 176].

При использовании управляемого температурного режима товарную рыбу средней массой 120-150 г при рыбопродуктивности 75-110 кг/м³ выращивают за год [198].

Если для выращивания форели используется природная вода и плотность посадки составляет 100-200 кг/м³, необходимо, чтобы в бассейнах была высокая проточность, что вызвано главным образом необходимостью доставки рыбам кислорода для обеспечения их нормального роста и развития и выведения продуктов метаболизма. Наиболее эффективно выращивание форели в воде со 100 %-ным насыщением кислородом [176, 198, 239].

В своих работах А.В. Линник отмечал, что уровень воды не оказывает прямого влияния на эффективность выращивания радужной форели. При сходном темпе роста и выживаемости молоди автор отмечал небольшое повышение затрат корма

при более высоком уровне воды, которое считал следствием увеличения двигательной активности рыб. Взрослые особи показывали аналогичную реакцию на изменение уровня воды [78, 79, 80].

Таким образом, плотность посадки и интенсивность водообмена являются важными элементами биотехники выращивания радужной форели в бассейнах. Уровень воды является фактором технологии кормления рыбы – при его повышении увеличивается доступность корма, определяемая временем контакта с потребляемым кормом отдельными особями, поскольку радужная форель реагирует преимущественно на горизонтальные размеры пространства.

1.3 Особенности кормления радужной форели

Основной задачей товарного форелеводства является выращивание рыбы в наиболее короткий срок и с минимальными затратами. Одним из основных факторов, определяющих быстрый рост форели, является оптимальная температура воды, от которой зависит интенсивность обмена веществ. Вторым не менее важным фактором при выращивании радужной форели является использование в составе корма белка животного происхождения (основной источник – рыбная мука) в количестве значительно большем, чем в кормах для карпа, сома и тиляпии [23, 91, 154, 155, 198].

Уже в первой половине прошлого столетия в пастообразные корма стали вводить сухие белковые концентраты (рыбную, мясо-костную муку), содержащие 40 – 60 % белка. Более концентрированный корм лучше усваивался и характеризовался меньшей величиной кормового коэффициента [24, 127, 253].

В развитии практической школы кормления форели выделяют три этапа:

1) кормление свежими животными кормами (мясо, рыбный фарш, внутренние органы животных). Из-за высокой влажности (70 – 80 %) такие корма характеризуются высокими значениями кормового коэффициента. Еще в 30-х прошлого столетия было установлено, что для получения 1 кг прироста форели необходимо затратить 6 – 8 кг свежего корма;

2) в кормах появляется значительная доля сухих белковых концентратов, что позволило снизить общие затраты корма (кормовой коэффициент уменьшался до 3 – 4) [253];

3) сухие гранулированные корма – высшая форма концентрирования питательных веществ. Кормовой коэффициент таких кормов, в основном, в диапазоне значений 1 – 2 [91, 225, 228, 237].

Биотические отношения, возникающие в процессе потребления рыбами искусственного корма, в высшей степени определяются его качественным составом и размерными характеристиками. При создании рецептур стартовых, производственных кормов, кормов для производителей исходят из поведенческих особенностей тех или иных объектов выращивания на разных этапах развития и роста и условий их содержания, привычного характера питания и отличительных сторон обмена веществ [63, 154, 159, 203].

Многочисленными исследованиями по физиологии пищеварения рыб установлено, что переваримость основных питательных веществ зависит от интенсивности и специфичности действия пищеварительных ферментов, моторики желудка и кишечника, возраста рыб, размера пищевого комка и других факторов [54, 65, 113, 114, 270].

Переваривание нормируемой порции корма идет более интенсивно, чем при обильном кормлении [167]. Перевариваемость двухлетками форели гранулированного корма по белку составляет 85 %, пастообразного – 74 %, что подтверждает целесообразность применения гранулированного корма.

Для нормального роста и развития рыбы необходимо определенное количество и соотношение питательных веществ. Протеин, жир, углеводы, минеральные вещества, витамины и другие биологически активные вещества должны находиться в составе корма в соответствии с потребностью рыб. Их потребность меняется в зависимости от возраста, размера рыбы, химического состава и температуры воды, содержания в ней кислорода, а также качественных особенностей самих питательных веществ корма [50, 203].

Важным достижением науки и практики кормления рыб является установление потребности в аминокислотах, прежде всего, незаменимых. Особенно важным это было для лососевых рыб, являвшихся, начиная с начала прошлого века, основным объектом индустриального рыбоводства, прирост массы которых обеспечивался исключительно за счет искусственных кормов [49, 122, 194]. Так, уже в 70-

80-х годах XX столетия была установлена потребность лососевых рыб в ненасыщенных жирных кислотах, особенно линолевой и линоленовой [216, 215].

Важнейшей составной частью форелевых кормов является жир. Еще в середине прошлого столетия В. Шеперклаус утверждал, что 10 – 15 % свежего жира в корме не приносит вреда форели [255]. Во-первых, жир является важнейшим источником энергии, так как его калорийность в два раза выше, чем белка и в пять раз углеводов. Во-вторых, жир является важным источником незаменимых непредельных жирных кислот и витаминов [63, 111, 154]. Недостаток жира в корме ведет к снижению темпа роста лососевых рыб и вызывает ряд заболеваний [85, 196, 197], а патологическое накопление жира в печени у рыб может являться следствием недостатка метионина (незаменимой аминокислоты). Поэтому обогащение рациона форели подсолнечными фосфатидами с высоким содержанием фосфолипидов и лецитинов предохраняет рыб от жировой дегенерации печени и анемии [147, 148, 159]. В связи с этим в качестве источника жира для лососевых рыб рекомендуют использовать фосфатиды, растительные масла и рыбий жир [155].

Учеными доказано, что сбалансированный корм с большим количеством в нем белка, даже, при значительном содержании жира не вызывает ожирения рыбы, поскольку энергия жира, обеспечивая функциональные потребности организма, позволяет максимально реализовать энергию белка на рост рыб [154, 253]. При низком уровне белка в корме повышаются отложения балластного жира [148, 167], по содержанию которого в брюшной полости рыбы можно судить об уровне сбалансированности пищи.

Поскольку углеводы составляют небольшую часть в составе рецептуры, калорийность корма форели определяется в основном энергией белка и жира и их соотношением [63, 64, 149, 155, 167].

Еще с середины XX века ученые занимались совершенствованием состава искусственных кормов для форели [49, 203, 225, 237]. Повышение эффективности использования питательных веществ корма добивались путем введения различных ростостимулирующих и физиологически активных добавок [49, 51, 266].

При использовании неполноценных по балансу питательных веществ кормов отход рыбы может объясняться также недостатком витаминов в них. Известно, что компоненты комбикормов нередко содержат продукты окисления липидов, под

действием которых разрушаются водорастворимые витамины и в первую очередь витамин С [76]. Симптомом этого является плохой аппетит и рост, анемия, нарушение целостности жабр, кожи, жировое перерождение печени, геморрагия почек, некроз плавников, катаракта и другие нарушения, которые нередко приводят к массовой гибели рыб [51, 146, 199, 261]. В связи с этим в гранулированных кормах рекомендуют применять специальные витаминные добавки и премиксы [222, 226, 266, 268, 273].

Определение оптимальной дозы витаминов в рационах радужной форели остаётся одной из основных и наиболее сложных задач при разработке комбикормов [77]. Известно, что избыточное содержание в комбикорме витамина РР отрицательно влияет на обмен липидов, так как для вывода избытка его из организма радужной форели расходуется холин. Недостаток холина приводит к ожирению печени [75, 77, 155].

Исследования О.Т. Лемперт [77] показали, что повышение дозы витаминного премикса ПФ-1В в комбикорм РГМ-5В привело к возрастанию темпа роста форели. При введении 3 и 4 % премикса ПФ-1В абсолютный прирост форели был выше, соответственно, на 8,0 и 18,6 %, относительный – на 11,1 и 11,2 %, при более низких затратах корма (на 5,2 и 9,5 %, соответственно). При этом относительный среднесуточный прирост достоверно не отличался от контроля. При выращивании форели на комбикорме с 2 % премикса ПФ-1В абсолютный прирост рыб был выше на 7,5 %, среднесуточный прирост и затраты корма достоверно не отличались от контроля, в котором содержание премикса было 1 % [77].

В исследовании Е.Н. Пономаревой [123] было выяснено, что добавление в корма для лососевых рыб (радужная форель, стальноголовый лосось, форель камлоопс) повышенного содержания аскорбиновой кислоты в количестве 500 мг/кг корма оказывает положительное влияние на репродуктивные свойства производителей, увеличивает жизнеспособность эмбрионов на 15-20 %, сокращает процент уродств до 1-1,2 %, повышает выживаемость ранней молоди в период прохождения самых высокочувствительных стадий постэмбриогенеза. Комплексное введение витаминов С и Е (500 и 100 мг/кг корма) в корма радужной форели повышает процент созревания производителей до 100 и процент оплодотворения икры до 98.

Выживаемость икры в период инкубации повышается на 15 %, а выживаемость личинок в период перехода на активное питание на 10 % [119, 123].

Повышение эффективности выращивания молоди форели на начальных этапах производственного цикла в дальнейшем позволяет увеличить выход товарной продукции на 10-15 % [123].

При выращивании рыбы в УЗВ создаются условия для реализации системы многократного кормления. Так как именно многократность кормления, предполагающая дробление суточной дозы корма, позволяет в значительной степени уйти от перегрузки пищеварительного тракта рыб пищей, повысить эффективность ее переваривания и усвоения питательных веществ, снизить излишнее накопление запасных питательных веществ в печени, других органах и брюшной полости [63, 122, 155, 203].

Для кормления форели в производственных условиях применяют высокоэффективные стартовые, продукционные гранулированные корма и корма для производителей, которые изготавливают в Дании, Германии, Великобритании и других странах (Aller Aqua, BioMar, Coppens, MerkeFish Aqua-Garant, Raisioagro). В последнее время им не уступают по качеству корма российского производства (AQUAREX, Ассортимент-Агро).

У форели кормление начинают при рассасывании желточного мешка на 50 %, в тот момент, когда предличинки начинают становиться на плав и происходит изменение фототаксиса с отрицательного на положительный [63, 119, 122].

Если в стартовых кормах для лососевых содержание жира ограничивают 8 – 10 %, углеводов 15 – 20 %, что согласуется с особенностями обмена веществ молоди, то в продукционных кормах содержание жира в отдельных рецептурах может достигать до 32 % и углеводов до 25 – 30 %. Высокое содержание жира в рецептурах (в большинстве более 20 %) объясняется способностью лососевых накапливать в органах и тканях большое количество жира, что, в частности, определяет высокие вкусовые качества выращиваемых лососевых рыб. Способность лососевых усваивать более высокое количество углеводов определяется их предварительным гидролизом при экструдировании корма [203]. Но «жирные» корма применять при выращивании радужной форели и других рыб в УЗВ рискованно, поскольку перегружает искусственную экосистему метаболическим фосфором и азотом. Снижается

эффективность биологической очистки, чрезмерно нарастает биопленка на стенках бассейнов, трубопроводов и поверхности других технических узлов [129].

1.4 Особенности формирования ремонтно-маточных стад радужной форели

Существенным, сдерживающим выращивание форели фактором, является низкая продуктивность производителей. В частности, это проявляется в стремлении к увеличению численности маточного стада, как следствие, возрастании затрат и себестоимости посадочного материала и товарной рыбы. Необходимое количество посадочного материала форели, при этом, стремятся вырастить за счет увеличения количества закладываемой на инкубацию икру. Как правило, ожидаемого результата не достигается, поскольку при дефиците ремонтно-маточных прудов, бассейнов, садков, увеличение количества производителей приводит к ухудшению условий их содержания и выращивания. Вследствие этого качество производителей и их потомства снижается.

Результаты работы рыбоводных предприятий в большей степени зависят от качества племенных стад и уровня селекционно-племенной работы с ними. Улучшение продуктивности производителей, качества полученных от них половых продуктов и, соответственно, повышение жизнестойкости потомства определяются также условиями жизни, в первую очередь, условиями нагула ремонтного поголовья и производителей [107].

Г.М. Персов [116] установил определяющее плодовитость и размер икринок влияние условий нагула производителей рыб. При обеспечении в норме абиотических и биотических факторов плодовитость рыб стремится к максимуму, а размер икринок к среднему популяционному. При ухудшении условий плодовитость уменьшается, но размер икринок увеличивается, что способствует лучшей выживаемости потомства. Это положение в равной степени относится как к диким, так и искусственно выращиваемым популяциям рыб, в том числе радужной форели.

Биотехника работы с маточным стадом радужной форели складывается из трех основных процессов – формирования, выращивания и эксплуатации [107].

Под формированием понимают комбинацию мероприятий, направленных на выделение на отдельных этапах групп рыб, отличающихся размерными и экстерьер-

ерными преимуществами, соответствующими требованиям стандарту породы [104]. Под выращиванием – комплекс биотехнических приемов, учитывающих особенности реализации ростовой, адаптогенной и репродуктивной потенции у ремонта и половозрелых рыб в период нагула, когда температура воды выше 5 °С. Под эксплуатацией – комплекс биотехнических приемов в период зимнего, преднерестового и нерестового содержания производителей, обеспечивающих получение качественных половых продуктов, жизнестойкого потомства [180].

В практике форелеводства для племенных целей используют половые продукты повторно созревающих производителей. Половые продукты впервые созревающих производителей и их потомство рекомендуют, в основном, для выращивания товарной рыбы [87, 107, 132, 133, 176]. Используют производителей, отличающихся наиболее крупными размерами в своей возрастной группе, хорошим экстерьером с четко выраженными половыми признаками. Возраст самок составляет 4 – 6 лет, самцов – 3 – 4 года. Масса неоплодотворенной икры должна составлять 60-80 мг, диаметр – не менее 4,5 мм [107, 220, 274].

Однако, Ю.А. Привезенцев [125, 126] на примере формирования маточного стада карпа в условиях повышенного температурного фона, ускоренного роста рыб, достижения при первом созревании размера, соответствующего принятому в стандартных условиях при повторном созревании, показал возможность использования их потомства для племенных целей. Очевидно, это положение можно применить к другим рыбам, в том числе к форели.

Ремонтную группу формируют путем массового отбора при достижении определенного возраста выращиваемой рыбой. Основными показателями при отборе являются средняя масса и внешние признаки форели [107, 246].

Проведенные исследования по отбору в племенную группу в более раннем возрасте (более крупная, пигментированная икра, быстрорастущие, более жизнестойкие личинки и мальки) показали его нецелесообразность и неэффективность [104, 139, 165].

Первый отбор в ремонтное стадо форели целесообразно проводить среди сеголетков, у которых конституция тела достигает определенной завершенности и становится доступно измерение экстерьерных показателей. В зависимости от условий выращивания средняя масса сеголетков в конце вегетационного сезона, когда

проводят первый отбор, может быть в диапазоне 30 – 200 г. При отборе соблюдают принцип, когда до 80 % в отбираемой группе составляют рыбы со средними для генерации размерами, до 20 % составляют рыбы с опережающим ростом [104, 165, 180].

Если проводить отбор по признаку опережающего роста, то есть большая вероятность, что к возрасту половозрелости в старшевозрастной группе ремонта будут доминировать самцы.

Класс производителя служит основанием для установления предназначения содержащихся маточных стад. Производители пород форели, относящиеся к «элите» и «первому классу», составляют племенное ядро хозяйства, определяющего объемы и качество производимого племенного материала, а «второго класса» - для товарного выращивания [180].

Одним из главных показателей является возраст рыб в маточном стаде. Возраст производителей влияет на качество и количество половых продуктов, оплодотворяемость икры и жизнестойкость потомства. Наилучшие половые продукты продуцируют самки и самцы среднего возраста [180].

Основными критериями массового отбора самцов в маточное стадо является масса, длина тела, высота и толщина тела. Наряду с массовым отбором необходимо проводить индивидуальный – по качеству спермы (объем эякулята, концентрация и время подвижности сперматозоидов). Для индивидуальной оценки и отбора элитных самцов целесообразно применять единый критерий, отражающий взаимосвязь экстерьерных и репродуктивных признаков. Таким критерием может служить относительная плодовитость, которая рассчитывается как отношение количества сперматозоидов в объеме эякулята к единице массе тела [120, 180, 198].

Средние показатели концентрации сперматозоидов определяются возрастом самцов и частотой получения спермы. Подвижность сперматозоидов зависит не только от индивидуальных различий самцов, но и от момента взятия спермы. Концентрация и оплодотворяющая способность сперматозоидов форели зависит в первую очередь от времени получения эякулята. Как правило, эффективность осеменения икры выше в начале нерестового периода. Так, величину оплодотворения 95 – 97 % отмечают в начале нереста, 79 – 90 % - в конце [180], при этом следует

учитывать влияние температуры воды. При повышении ее к более высоким значениям подвижность сперматозоидов снижается.

При получении потомства проводят оценку элитных самцов по выживаемости эмбрионов и личинок. Оценка качества потомства проводится до достижения рыбами массы 1,5 г. Причем, чем больше молоди достигнет этой массы, тем лучше племенные качества [198].

Самцы, которые созревают в первую очередь при нерестовой температуре, имеют более темную окраску, яркую радужную полосы и намечающие изменения формы челюстей. Остальные самцы созревают позже. При этом надо учитывать, что как в естественных популяциях, так и искусственных, самцы в общей массе созревают на 2-3 недели раньше рано созревающих самок и на 2-3 недели позже поздно созревающих. Это биологическое свойство гарантирует осеменение икры от всех самок популяции и способствует сохранению и увеличению ее численности [180].

Впервые в отечественном форелеводстве стандарт качества самцов был установлен Ю.П. Бабушкиным [9, 10]. Согласно поведенных исследований и анализа большого статистического материала было предложено учитывать в рыбоводном процессе самцов радужной форели, продуцирующих эякулят в объеме, не менее 5 – 7 мл. В течение нерестового периода (1,5 – 2 месяца) таких эякулятов может быть получено от одного самца до 8 – 10. Очередность формирования последующего эякулята около трех суток. Время подвижности сперматозоидов должно быть не менее 30 с. [8, 9].

Однако, вся последующая практика форелеводства, разнообразие способов выращивания (прудовый, бассейновый, садковый) позволили существенно повысить продуктивные свойства самцов. В настоящее время объем эякулята у самцов массой 1 – 3 кг, как правило, составляет 10 – 20 мл, время подвижности сперматозоидов 40 – 60 с [9, 105, 120, 176, 118].

Качество икры, получаемой от самок радужной форели, зависит от их индивидуальных особенностей и тесно связано с возрастом, размером, племенной принадлежностью и условиями окружающей среды [198]. Установлено, что предличинки, полученные из икры, размеры которой значительно отличались от среднего, обладали пониженной выживаемостью [119, 179, 181].

В маточном стаде возраст самок должен составлять 4 – 6 лет [53, 104, 120, 176, 180], но благодаря улучшению условий содержания и селекции можно получать от впервые нерестящихся самок икру хорошего качества. При использовании впервые нерестящихся самок необходимо выбирать таких, которые продуцируют икринки массой более 40 мг, содержащих более 3 мг жира [198].

Средняя масса впервые созревающих самок должна быть не менее 0,8 – 1,5 кг, рабочая плодовитость 2 – 4 тыс. шт., масса икринок 50 – 60 мг, диаметр не менее 4,5 мм. Как правило, от таких самок полученную икру используют для выращивания посадочного материала, идущего на производство товарной форели [120, 180].

Полагают, что достаточно точно качество икры можно оценить по содержанию в ней жира, от количества которого зависит жизнестойкость предличинок и личинок. При увеличении массы и плодовитости самок соответственно увеличивается содержание в икринках жира [198].

Оптимальный возраст самок радужной форели – четырех-семигодовики, масса 1,5 – 5 кг и самцов – трех-пятигодовики, масса 0,8-2,0 кг. Рабочая плодовитость самок форели 2,5 – 6(8) тыс. икринок. Относительная рабочая плодовитость 1,8 – 2 тыс. шт/кг [53, 131, 132, 137, 178].

Ежегодное пополнение маточного стада форели не менее 25 – 30 %, с учетом отбраковки старшевозрастных производителей и после нерестового отхода. Резерв самок в маточном стаде должен составлять 50 %, самцов – 10 % [180].

Для поддержания нормальной жизнестойкости потомства и исключения близкородственного скрещивания (инбридинга) необходимо один раз в 3-5 лет завозить из благополучных по заболеванию хозяйств икру, сперму или оплодотворенную икру радужной форели, относящейся к другим популяциям [198].

1.5 Особенности эксплуатации маточных стад радужной форели и выращивания потомства

От производителей в первой половине нерестового периода получают половые продукты, характеризующиеся массой оплодотворенных икринок не менее 50-80 мг, диаметром икринок около 4,8 – 5 мм, окраской икры от янтарного до интенсивно оранжевого цвета [120, 177]. Абсолютная плодовитость самок должна составлять 1-10 тыс. икринок, относительная плодовитость – 1,6-3,0 тыс. икринок,

при массе рыб от 1 до 7 кг. Качество спермы самцов должно быть следующее: объем эякулята более 5 мл, время подвижности сперматозоидов более 30 с, концентрация спермы 4-7 млн./мкл, цвет спермы кремовый, консистенция густой сметаны. Однако, чаще, более 10 мл и 40 с, соответственно [120, 165, 180, 195].

В нагульный период раз в месяц в маточном стаде проводят контрольные обловы, позволяющие корректировать суточные дозы корма (специальные рецептуры). Суточные дозы корма табличные (таблица 4) на основе учета температуры воды и средней массы рыб. Кратность кормления 1 – 2 раза/сут.

Таблица 4 – Рекомендуемые суточные дозы для производителей форели [208]

Масса, г	Размер гранул, мм	Температура воды, °С								
		2	4	6	8	10	12	14	16	18
400 – 600	6	0,57	0,67	0,84	0,98	1,25	1,54	1,65	1,71	1,63
600 – 800	6	0,50	0,59	0,74	0,86	1,10	1,36	1,45	1,51	1,43
800 – 1000	6	0,44	0,52	0,65	0,76	0,97	1,19	1,27	1,33	1,26
> 1000	8	0,39	0,46	0,57	0,67	0,85	1,05	1,12	1,17	1,11

Оптимальной температурой в период нагула считается 14 – 18 °С. В естественных водоисточниках она фиксируется, чаще, с середины – конца мая до середины – конца сентября. Но, не исключено использование водоисточников, в которых температура воды в течение вегетационного сезона составляет 5 – 10(12) °С. В то же время, особенно в садковых хозяйствах летом на 1 – 3 недели, в аномально жаркое лето, на 1 – 1,5 месяца может повышаться до 21 – 23 °С [52, 53, 110, 119, 177, 178, 195]. В последних примерах применимо ранее высказанное положение, обосновывающее рост производителей и качество половых продуктов в зависимости от температуры воды в межнерестовый период.

Контрольные обловы в группах старшевозрастного ремонта и производителей целесообразно проводить раз в месяц, чтобы минимизировать стрессовое воздействие на рыб [206].

Период нагула заканчивается при понижении температуры воды до 5 – 8 °С. Насыщение воды кислородом в бассейнах и прудах должно быть не менее 90 % насыщения. При температуре 20 °С это около 7,5 мг/л. На выходе воды из бассейнов и прудов, не менее 5 мг/л [180].

После нагула производителей перемещают в преднерестовые бассейны или пруды, где их содержат до весеннего подъема температуры воды до 3 – 5 °С. Суточная доза кормления в преднерестовой период существенно снижается, кратность кормления уменьшается. По завершении преднерестового периода производителей рассортировывают по полу. Период зимнего содержания производителей при температуре воды 0,3 – 2 °С, очевидно, целесообразно включать в преднерестовый, поскольку IV стадии зрелости самцы и самки достигают в конце осени [120, 178].

Время первого созревания определяют, опираясь на подсчет градусо-дней. Принято считать, что до наступления V стадии зрелости производителям надо набрать за преднерестовый период 180 – 300 градусо-дней [180].

За две недели до созревания производителей сортируют по возрасту и полу и размещают в специальные бассейны или пруды, разделенные решетками на отсеки, площадью от 5 до 100 м², глубиной воды 1 м. Водообмен в бассейнах 1-3 раза в час, в отсеках прудов 1 раз/ч [180]. Плотность посадки самок зависит от водообмена (таблица 5).

Таблица 5 – Зависимость плотности посадки производителей форели от водообмена [180]

Водообмен, мин	Плотность посадки	
	шт./м ²	шт./м ³
до 20	20-25	40-50
30-40	10-15	20-30
до 60	5-10	10-20

При наступлении температуры близкой к нерестовой (5 – 12 °С при содержании кислорода в воде 9-10 мг/л), самок делят на три группы по степени готовности к нересту:

- самки с округлым мягким брюшком, при пальпации выдвигается покрасневшая генитальная пора и из нее могут выделяться икринки;
- самки с округлым, но тугим на ощупь брюшком, генитальная пора розового цвета;

- самки с невыраженными половыми признаками или серебристой окраской [180, 246, 274].

Третью группу переводят на межнерестовый нагул или выбраковывают. От самок первой группы необходимо в течение трех суток получить и осеменить икру. Самок второй группы проверяют с интервалом 5 – 7 дней по степени готовности к нересту и постепенно, по мере созревания, переводят в первую группу. Самцы, как правило, созревают раньше самок и поэтому всегда готовы к использованию в нерестовой кампании [180].

Самцов радужной форели разделяют на две группы. Первую группу составляют текущие самцы, вторую – слаботекущие или не текущие. Их рассаживают в отдельные рыбоводные емкости.

В хозяйствах, где половые продукты у рыб созревают в декабре-феврале, межнерестовый нагул форели заканчивается в конце октября. Эти сроки в зависимости от температуры воды и других условий могут быть сдвинуты и изменены [180].

Преднерестовый период, несмотря на его относительную кратковременность, очень важен. В это время завершается вителлогенез и формируются зрелые половые клетки. Качество половых продуктов можно значительно улучшить, если в этот период обеспечить благоприятные условия содержания, и, в первую очередь, хорошую проточность и полноценное питание [195].

Водообмен в бассейнах должен осуществляться за 20-30 мин. Целесообразная температура воды в преднерестовый период 2 – 4 °С. Содержание растворенного в воде кислорода 10 – 12 мг/л. Плотность посадки производителей может составлять 30 кг/м².

В этот период корм нужно задавать из расчета 0,5 – 1,5 % от массы тела производителей, 1 – 2 раза в день. Необходимо регулярно наблюдать за температурным и газовым режимами [195].

За трое суток до планируемого отцеживания половых продуктов производителей форели перестают кормить. Часто на весь нерестовый период отказываются от кормления производителей. Исследования показали, что отказ от кормления производителей, содержащихся при температуре воды 0,3 – 7 °С (преднерестовой и

нерестовой периоды), в течение полутора – трех месяцев не влияет на качество половых продуктов [195].

При осеменении икры радужной форели применяют сухой метод [250]. При получении половых продуктов возможно применять анестетики для обездвиживания рыбы. В результате этого появляется возможность отказаться от повторного отцеживания самок, рыбы переносят меньше стресса и травмирования [107, 250, 274]. В некоторых странах для меньшей травматизации самок отцеживание икры проводят давлением воздуха. Для этого используют шприц для подкожных инъекций (около 10 мм), иглу вкалывают в полость тела вблизи брюшных плавников и сжатым воздухом (2 фунта на квадратный дюйм) выдавливают икринки. После чего воздух удаляется из полости тела путем массажа по брюшку рыбы [250]. Однако, чаще икру с овариальной жидкостью сцеживают прямо в таз. Икру отцеживают в емкость (эмалированный таз), покрытую марлей, для предотвращения ее травматизации, а также для отделения овариальной жидкости [107, 120, 180].

Сперму самцов отцеживают таким же образом, как и икру у самок, стараясь избегать попадания воды и мочи [250]. Приемной емкостью для спермы, как правило, служат градуированные пробирки. Первую порцию спермы при отцеживании рекомендуется не использовать, но оценивают ее качество по всем параметрам [107]. Сперму рекомендуется брать от трех или четырех самцов для снижения инбридинга [250]. Для этого сперму от каждого самца собирают в отдельную пробирку. Это позволяет оценить продуктивные качества самцов и при необходимости провести их выбраковку [107].

Сперму смешивают с икрой, добавляют воду для активации сперматозоидов и стимулирования раскрытия микропиле. При этом икринки в течение двух часов после осеменения увеличиваются в диаметре примерно на 20 % [250]. После осеменения икру промывают и оставляют на набухание [246, 274]. В это время каждые 20-30 мин меняют воду в тазу или поддерживают постоянную малую проточность. Набухшую икру закладывают на инкубацию. Используют аппараты лоткового или вертикального типа [107, 176]. Инкубация икры может проходить в широком диапазоне температуры воды, оптимальный 6 – 10 °С. Содержание растворенного в

воде кислорода не менее 7 мг/л, рН 6,5 – 7,5 [53]. Учет заложенной на инкубацию икры осуществляют объемным или весовым методом [176].

В период инкубации регулярно следят за подачей воды, ее качеством, контролируют температуру воды, содержание в ней растворенного кислорода и гидрохимические показатели. Икра и предличинки должны находиться в темноте и полном покое. Лотковые инкубационные аппараты следует закрывать крышками, а промывку икры, выборку отхода проводят в условиях пониженного освещения [176, 180, 274].

Вылупление предличинок продолжается в течение 2 – 3 суток, выдерживание предличинок – 10-20 дней. В этот период расход воды в аппаратах увеличивают вдвое. Водообмен в лотках и бассейнах должен проходить за 10-15 мин. Плотность посадки не более 10 тыс. шт/м², уровень воды поднимают с 0,1-0,15 до 0,2-0,3 м. [107, 176].

При рассасывании желточного мешка на 50 % наступает личиночный период и у молоди возникает потребность во внешнем питании. У личинок появляется положительное чувство реотаксиса, они периодически поднимаются в толщу воды, а при остатке 10 – 20 % желтка плавают, не опускаясь на дно [87]. При подращивании личинок температуру воды поднимают до 12 °С, содержание растворенного кислорода в воде должно быть не менее 7 мг/л [180]. Плотность посадки остается прежней, увеличивают расход воды до 20-30 л/с на 1 млн. личинок. Водообмен каждые 10-20 мин [87, 176].

К концу личиночного периода появляется положительный фототаксис и крышки с лотков, бассейнов снимают, но так, чтобы свет был рассеянным [87, 176].

Для кормления используют высококачественные стартовые гранулированные корма с размером крупки 0,4 – 0,6 мм. Суточные дозы устанавливают с учетом температуры воды на основании данных кормовых таблиц. На первом этапе кормления, их количество должно быть не менее 24 раз в светлое время суток. Продолжительность подращивания личинок 10-15 сут [53, 61, 180].

При подращивании личинок до массы 0,3 г уровень воды в бассейнах и лотках поднимают до 0,4-0,5 м, расход 3-5 л/мин на 1 тыс. шт., плотность посадки остается прежней. Водообмен каждые 10-15 мин. Размер крупки увеличивают до 0,6-1 мм. Кормление устанавливают в соответствии с данными кормовых таблиц. К концу

личиночного периода температуру воды поднимают до 14 – 18 °С. Содержание растворенного в воде кислорода 8-11 мг/л [176, 180].

При выращивании личинок до массы 1 г плотность посадки устанавливают 8 – 10 тыс. шт/м². Температура воды 14 – 18 °С, содержание растворенного в воде кислорода не менее 7 мг/л. Размер крупки увеличивается до 1 мм. Частота кормлений составляет до 12-20 раз в светлое время суток.

Первую сортировку проводят при достижении молодью массы 1 г. Контрольные обловы и взвешивания проводят регулярно 2-3 раза в месяц. Мальков сортируют на 2 – 3 размерные группы и переводят на выращивание в выростные пруды, бассейны или садки. Плотность посадки снижают до 5 тыс.шт/м². Продолжительность этапа 40-45 сут [176, 180].

При выращивании посадочного материала плотность посадки устанавливают в зависимости от водообмена (таблица 6). Кормление проводят с частотой 4 – 6 раз в светлое время суток. Нормирование кормления в соответствии с данными кормовых таблиц. Контрольные обловы проводят раз в 15 дней [180].

Таблица 6 – Плотность посадки сеголетков форели в пруды [180]

Водообмен, мин	Плотность посадки, шт./м ²
20-30	600
30-45	400
45-60	300
60-90	200
90-120	150
120-180	100

Конечная масса стандартных сеголетков составляет от 20-30 до 50-70 г применительно к условиям разнотипных форелевых хозяйств. Выживаемость до 70 %. В конце сезона, при охлаждении воды до 3 – 5 °С, пруды, бассейны и садки облавливают. Рыбу взвешивают, сортируют и пересаживают на зимнее содержание [120, 198].

Зимнее содержание сеголетков проводят в бассейнах, прудах или садках при температуре воды не ниже 0,3 – 2 °С, оптимально при 3 – 5 °С. Плотность посадки сеголетков на зимовку остается той же, что и при нагуле. Так как в зимнее время форель питается, ее кормят, но сокращая частоту кормления. Суточные рационы

устанавливают в зависимости от температуры воды. К марту – апрелю масса годовиков увеличивается примерно на 100 % при температуре 3 – 5 °С, на 30 – 50 % при 0,3 – 2 °С. Отбор в ремонтном стаде форели проводят раз в год, весной. При этом отбраковывают рыб с проявляющимися отклонениями в экстерьере, отстающих в росте, вялых. В таблице 7 указано, что последний отбор в ремонтном стаде проводят в возрасте четырехгодовиков (для самок) [179].

Таблица 7 – Выживаемость и нормы отбора в ремонтно-маточных стадах радужной форели [179]

Возраст	Выживаемость, %	Нормы отбора, %
0+	-	50
1	85	75
1+	90	-
2	95	90
2+	95	-
3	95	95
3+	95	-
4	97*	95
4+	99	-
5	97*	-
5+	99	-
6	97*	-
6+	99	-
7	97*	-

* - с учётом возможных потерь производителей в период нерестовой компании

Быстрорастущая форель в условиях оптимального температурного и газового режима может созревать в возрасте двух-трехгодовиков и переводиться в состав маточного стада. Если масса впервые созревающих самцов в возрасте двухгодовиков превышает 800 г, а трехгодовиков 1800 г, то потомство от них можно использовать для селекционно-племенной работы [139].

При переводе ремонта в разряд производителей следует обеспечивать более комфортные условия содержания, существенно снизив плотность посадки, применяя специальные рецептуры корма.

В старшевозрастной группе ремонта (к моменту первого созревания) отбраковке подлежат особи со слабо выраженными половыми признаками, прогонистой формой тела, серебристой окраской. Коэффициент упитанности по Фультону у

разных форм форели при прудовом и бассейновом методах содержания должен быть не менее 1,3-1,5, при садковом – до 1,8 – 2,2 [10, 139, 195].

Резерв производителей радужной форели в племенных хозяйствах составляет для самок 30 %, для самцов 10 %, что согласуется со структурой маточного стада и возрастной динамикой, а в комбинированных хозяйствах резерв производителей обоего пола составляет 50-100 % [120].

1.6 Конструктивные особенности установок замкнутого водоснабжения (УЗВ)

Название «установки замкнутого водоснабжения» (УЗВ) в буквальном смысле подразумевает полную регенерацию воды и использование ее бесконечное количество раз для целей водоснабжения рыбоводных емкостей [41, 57, 254]. УЗВ позволяют в оптимальных условиях осуществлять круглогодичное выращивание любых видов гидробионтов, достигать максимальных значений показателей роста и продуктивности на фоне водосбережения и сохранения экологической чистоты производства [1186, 248, 264, 267]. Важнейшей особенностью замкнутых систем является возможность регулирования в них температурного, солевого, светового режимов в соответствии с задачами исследований или производства [163, 209].

Потребность в свежей воде для таких установок определяется компенсацией потерь воды на испарение, удаляемой из системы с отходами в виде рыбоводного осадка, протечек в технических узлах. Обычная потребность таких установок в подпитке воды на пополнение потерь составляет от 2 до 5 % общего объема воды в системе за сутки [209]. Так, при температуре воды 25 °С за сутки за счёт испарения уровень воды в прямоточных с глубиной до 1 м бассейнах уменьшается примерно на 1 см. При площади поверхности воды, например, 500 м² потери воды за счёт испарения могут составить до 5 м³.

Выделяемые рыбой продукты метаболизма проходят последовательные этапы превращения: от аммиака к аммонiu, далее к нитритам и нитратам. Если процесс биологической очистки технологической воды эффективен, то накопление азота в рециркуляционной системе вероятно только на последнем этапе в форме нитратов.

Несмотря на то, что рыбы способны выдерживать существенно большую концентрацию промежуточных форм азота, чем в открытых рыбоводных системах, тем

не менее, имеется предел, при котором нарушается жизнедеятельность рыб. Поэтому, применяя подпиточную воду, мы как бы разбавляем концентрации аммония, нитритов и нитратов и снижаем их возможную токсичность.

Кроме этого, образующийся в УЗВ и улавливаемый в механических фильтрах, конусах биофильтров, дегазаторов органический осадок не реже раза в сутки необходимо выводить из системы, иначе в циркулирующую воду начнут поступать токсичные продукты, в большей степени анаэробного разложения. Этот факт определяет дополнительную потребность в подпиточной воде [129].

В зависимости от конструктивных особенностей УЗВ, вида выращиваемых рыб, имеющих разную интенсивность обмена веществ, плотности их посадки, а значит нагрузки биомассы на искусственную экосистему, величина подмены воды может быть от 2-3 до 100 % в сутки. В первом случае, когда суточная подпитка составляет 2-3 %, может идти речь о выращивании рыб либо при разряженной посадке (например, производителей), либо о значительном неиспользуемом резерве биофильтра. Во втором, о чрезвычайно больших плотностях посадки, не согласующихся с размерами (способность эффективно очищать воду) биофильтра.

Показателями качества воды, которые определяются ежедневно не менее 2 раз в сутки, являются температура воды и содержание растворённого в ней кислорода. Не реже одного раза в 3 суток (если приборное обеспечение позволяет, то чаще) определяют по минимуму содержание нитритов, по максимуму общего аммиака, нитритов и нитратов. Температура воды в бассейнах должна соответствовать требованиям рыб на определённом этапе выращивания. Во втекающей в бассейны воде насыщение её кислородом должно быть 150-200 % (для личинок и мальков 100 %). В зависимости от температуры воды, например 22-24 °С, это 9-10 мг/л. В конце бассейна содержание в воде кислорода не должно опускаться ниже 5- мг/л. В этом случае речь идёт о достаточном обеспечении рыб кислородом и эффективном его потреблении. Контроль содержания общего аммиака, нитритов, нитратов позволяет оценивать эффективность работы биофильтра по очистке воды. Если значение первого показателя до 0,5-1 мг/л, второго до 0,2 мг/л, третьего до 60-100 мг/л (определение дано по содержанию азота в веществе), то это говорит о хорошем качестве воды, очищаемой в биофильтре. Если имеют место превышение, особенно первого и второго показателей, то возникает потребность смены большего количества воды

в УЗВ. При этом существенно уменьшают или прекращают кормление рыб до восстановления качества воды. После восстановления качественных показателей воды кормление до принятой нормы увеличивают постепенно [191].

Принципиальная схема УЗВ состоит из следующих элементов:

- рыбоводные емкости (бассейны);
- трубопроводы с запорной и регулирующей арматурой для подачи воды в рыбоводные бассейны и стока загрязненной воды на систему очистки;
- устройства механической очистки оборотной воды;
- устройства аэробной биологической очистки воды;
- вторичные механические фильтры, устанавливаемые после устройств биологической очистки воды;
- устройства для обеззараживания или снижения уровня бактериальной обсемененности оборотной воды;
- устройства для аэрации или оксигенации оборотной воды;
- оборудование для регулирования pH;
- система подпитки свежей воды;
- система терморегуляции (подогрева или охлаждения);
- контрольно-регулирующая аппаратура.

Кроме оборудования в составе одной или нескольких рыбоводных установок, имеется также общее для всех установок оборудование, которое обеспечивает поставку электроэнергии, воды, тепла, кислорода или воздуха, а также обработки стоков из рыбоводных систем [41, 57, 58, 214, 248].

Рыбоводные бассейны бывают разной формы, габаритов, выполняются из разных материалов в соответствии с биологическими требованиями выращиваемых объектов. Главные требования к бассейнам – они должны обеспечивать условия содержания гидробионтов (скорость водообмена, глубина воды в бассейнах, скорость течения воды) [248, 254]. Следует учитывать и такую важную конструктивную особенность бассейнов как способность к самоочищению. Под этим термином понимают высокую вероятность того, что экскременты рыб, несъеденный корм с потоком, выходящей из бассейнов воды, выносятся и по трубопроводам попадают в механические фильтры, где улавливаются и выводятся за пределы УЗВ. Это крайне важно, поскольку в противном случае, в бассейнах формируются зоны ор-

ганического загрязнения. В результате в этих местах массово развивается избыточная микрофлора, в том числе условно патогенная. Ухудшается также гидрохимический режим в УЗВ [180]. Кроме того, конструкция и габариты бассейнов должны обеспечивать удобное их обслуживание. Материалы для изготовления должны быть относительно долговечными [209].

Механические фильтры выполняют важнейшую роль в составе технических узлов УЗВ, улавливая и удаляя из установки органические взвеси. По конструктивным особенностям исполнительных механизмов механические фильтры можно подразделить следующим образом:

- отстойники;
- сетчатые фильтры;
- дисковые фильтры;
- песчано-гравийные фильтры;
- фильтры с плавающей загрузкой гранулированного полиэтилена;
- гидроциклоны;
- флотационные фильтры [129, 163].

Для первичной механической очистки воды после рыбоводных бассейнов применяют чаще барабанные фильтры Hydrotech и Faivre [55, 218]. Они компактны, способны удалять из оборотной системы взвеси размером от 15 микрон и более, работают в автоматическом режиме, удаление загрязнений производится не в периодическом, а в непрерывном режиме. Отстойники не получили развития из-за своих габаритов: они должны вмещать не менее 25 % объема воды в системе. Механические засыпные фильтры также не получили развития как из-за больших габаритов, так и из-за трудностей в обслуживании, которое заключается в периодической обратной промывке фильтрующего слоя.

Биофильтры, применяемые в УЗВ, отличаются конструктивно, имеют разную способность к очистке воды от органических веществ, выделяемых рыбой. Поэтому, современная оценка этих особенностей позволяет классифицировать их следующим образом:

- биофильтры с вращающимися дисками;
- биофильтры с плоскостной перфорированной поверхностью;
- биофильтры с вращающимся барабаном и неорганизованной загрузкой;

- биофильтры со статической объёмной загрузкой;
- биофильтры с неорганизованной загрузкой из полиэтиленовых гранул (модификации ерши, ежи и т.п.);
- биофильтры с постоянной регенерирующей загрузкой гранулированного полиэтилена, имеющего положительную или отрицательную плавучесть [112].

В биофильтрах решается задача, связанная с максимальным по возможности насыщением воды кислородом и обеспечения протекания эффективных процессов аммонификации и нитрификации. Эффективность биологической очистки находится в прямой зависимости с удельной площадью носителей (загрузки биофильтра). Поэтому принято учитывать, какая площадь различных носителей приходится на объём биофильтра, занимаемый ими. Говоря об определяющем эффект биологической очистки значении площади расселения бактерий на носителях, необходимо отметить, что развитие биоплёнки на первом этапе связано с увеличением её по толщине. В результате внутри слоёв биоплёнки начинают преобладать анаэробные (без участия кислорода) процессы разложения органики, в том числе отмерших бактерий. Как следствие, при достижении критической массы, когда происходит отрыв биоплёнки от поверхности носителей или разрушения целостности живой (бактериальной) поверхности биоплёнки токсичные продукты анаэробного разложения попадают в проходящую через биофильтр воду и загрязняют её. Поэтому важно ограничивать рост биоплёнки в толщину [122, 163].

Процесс аммонификации проходит при участии бактерий *Nitromonas* при значительном потреблении кислорода. В результате процесса нитрификации на первом этапе аммоний окисляется до нитритов. Далее на втором этапе процесса нитрификации при участии бактерий *Nitrobakter* нитриты окисляются до нитратов. [112, 122, 129, 163].

Дегазаторы устанавливаются после прохождения оборотной водой устройств биологической очистки. Их назначение – удалять взвешенные вещества, проскочившие предыдущие стадии обработки воды, избыток углекислого газа, а также частицы отмирающей биопленки биофильтров [213]. В дегазаторах, которые представляют ёмкость, по дну которой проложены многочисленные трубки. Трубки объединены в единую систему нагнетания воздуха под давлением в камеру дегаза-

тора. Нагнетание воздуха осуществляется через многочисленные отверстия в трубках. Диаметр отверстий около 1 мм. [129].

Оксигенация оборотной воды является одним из важнейших условий применения технологий УЗВ. Кроме эффекта увеличения плотности посадки культивируемых объектов производства на единицу площади или объема рыбоводных емкостей, оксигенация существенно снижает объем воды в системе. Это напрямую влияет на габариты таких установок, снижает энергозатраты на обеспечение работы систем УЗВ [213].

Наиболее часто используют в практике УЗВ безнапорные и напорные оксигенаторы. Безнапорные оксигенаторы, исключая использование насосов, а значит более экономичные в эксплуатации, целесообразно применять, когда биофильтры имеют большие габариты по высоте (не менее 6 м). В этом случае, по вертикали стока воды с верхнего оголовка биофильтра до бассейнов встраивают безнапорный оксигенатор. Внутри герметического сосуда имеется «флейта» через которую вода, поступающая в оксигенатор из биофильтра, разбрызгивается в его объеме. В нижнюю часть оксигенатора сбоку подведен через патрубок с редуктором и манометром технический кислород. Падающая из флейты вода скапливается в нижней части оксигенатора, откуда выдавливается в направлении на бассейны. Пузырьки кислорода проходят в оксигенаторе через небольшой слой воды и испаряются. Направление движения кислорода в верхнюю часть оксигенатора, где имеется клапан избыточного давления. Поднимающийся газообразный кислород насыщает стекающую тонкими струями воду кислородом. Эффект насыщения воды кислородом до 100-150 %. Потери кислорода в оксигенаторе за счёт выброса через клапан в атмосферу до 20 % [112, 129, 163].

Напорный оксигенатор предполагает подачу в герметическую камеру (сосуд) под давлением и воды и кислорода. Для обеспечения забора воды используют или специальную ёмкость сбора воды, выходящей из биофильтра, или дегазатор. Эти ёмкости нужны для забора из них насосом воды и подаче на оксигенатор. Причём, как правило, на оксигенацию забирается от 30 до 50 % циркулирующей в УЗВ воды, а остальная смешивается на следующем участке её движения с вышедшей из оксигенатора. В результате удаётся устанавливать процент насыщения входящей в бассейны воды в диапазоне от 100 до 300 %. В оксигенатор под давлением через

редуктор подаётся технический кислород. Давление поступающей в оксигенатор воды регулируется вентилями, кислорода редуктором [163].

В оксигенаторах, как было сказано ранее, используется технический кислород. Именно он под давлением растворяется в воде и обеспечивает, переносясь с водой к бассейнам, условия для нормального дыхания рыб и протекания аммонификационного и нитрификационного процессов. Исходя из этого, функционирование оксигенаторов без подачи в них кислорода не возможно. Источниками же кислорода являются специальные технические устройства:

- резервуары (баллоны) с кислородом под давлением (до 150 атм.), завозимые из предприятий по изготовлению технических газов;

- ёмкости (газгольдеры) для хранения жидкого кислорода;

генераторы кислорода, в которых кислород получают путём расщепления атмосферного воздуха на составляющие [112].

Для ограничения количества бактерий в циркулирующей в УЗВ воде, как следствие её осветления, применяют обеззараживание воды [112]. Обычно для этих целей используются **обеззараживающие установки** с ультрафиолетовыми бактерицидными лампами, озонирование воды или их совместное воздействие на микрофлору оборотной воды. При этом уровень мощности ультрафиолетового облучения или воздействия озона не должен обеспечивать полной стерильности оборотной воды. Выращивание рыбы в стерильных условиях снижает ее иммунитет, и перевод такой рыбы из систем УЗВ на товарное выращивание в традиционные рыбноводные хозяйства зачастую бывает проблемным [213].

В практике эксплуатации УЗВ применение малогабаритных озонаторов имеет место при очистке артезианской воды от железа и сероводорода (следы, то есть очень малые концентрации) [129, 194]. Озон, являясь мощным окислителем, разрушает оболочки бактерий, простейших, грибов. Признается еще один дополнительный эффект, особенно важный при обеззараживании артезианской воды с повышенным содержанием железа. При воздействии озона закисное железо переходит в окисленную форму и в виде хлопьев осаждается. Но при использовании озонаторов надо помнить, то при реакции озона образуются токсичные окислы, полный распад которых проходит за 15 минут. Поэтому воду, подвергнутую озониро-

ванию, надо отстоять в течение указанного времени и только потом использовать для водообеспечения рыбоводного процесса [112].

Поэтому в большинстве УЗВ в качестве обеззараживающего устройства применяют бактерицидные (ультрафиолетовые) лампы. Принцип их работы основан на использовании губительного действия ультрафиолетового излучения на бактерии, грибки и вирусы. Бактерицидные лампы как обеззараживающее устройство, могут быть одиночными в использовании для небольших установок. Множественными параллельно соединёнными в форме батареи для небольших и средних по размеру УЗВ. Кассетными автономными или встроенными в технические блоки иного назначения для средних и больших по размеру УЗВ [122, 129].

Наибольший губительный для микроорганизмов эффект ультрафиолетового излучения достигается при длине волны 2600 \AA (ангстрем). Отклонение от этой величины в обе стороны снижает губительный эффект. Немаловажное значение для достижения высокой эффективности излучения играет мутность воды. Высокий эффект гарантирован, если содержание взвешенных веществ меньше 2 мг/л . При увеличении концентрации взвешенных веществ эффективность обеззараживания снижается. Мощность излучения должна быть в диапазоне от 1000 до $10000 \text{ мкВт} \times \text{с/см}^2$. При такой мощности глубина слоя воды, омывающего ультрафиолетовую лампу, не должна превышать $1-1,5 \text{ см}$. В этом случае обеззараживающий эффект высокий. При увеличении толщины слоя воды обеззараживающий эффект существенно снижается [129].

Регулирование температуры воды в УЗВ складывается из усилий на поддержание температурного баланса циркулирующей воды в определённом диапазоне и подогрев или охлаждение подпиточной воды.

Поддержание определённой температуры воды сопряжено с поддержанием соответствующей температуры воздуха в помещении. Использование промышленных кондиционеров (климат-контроль), отопления здания с помощью традиционных теплоносителей позволяют поддерживать определённую температуру воздуха. Соответственно температуру воды.

Подогрев или охлаждение подпиточной воды зависит от количества и продолжительности подмены воды в установках. Также, когда содержание производителей в течение круглого года предполагает проведение «искусственной зимовки»

при температуре 4-6 °С, то неизбежно в эти периоды (каждый в пределах 2-3 месяцев) использование устройства «климат-контроль» [20, 129].

Традиционные (консервативные) методы регулирования температуры воды предполагают воздействие теплом или холодом непосредственно на технологическую воду, циркулирующую в УЗВ.

Одним из вариантов нагрева воды – использование электронагревателей. Например, для установки с объёмом воды до 2 – 4 м³ можно использовать общепринятые в аквариумистике подогреватели воды. В установках с объёмом воды 8 – 10 м³ и более целесообразно использовать проточные водоподогреватели. В них нагрев воды осуществляется с помощью электротэнов. Принцип работы таких водоподогревателей основан на нагреве электричеством тэнов и передачу от них тепла в воду. Включение их производится при понижении температуры воды, в результате подпитки свежей воды с низкой температурой или в результате испарения [169].

Перспективным способом терморегуляции применительно к УЗВ является использование тепловых насосов. Принцип их работы основан на использовании трёх взаимосвязанных технических узлов: компрессора, конденсатора и испарителя. В компрессоре сжимается циркулирующий по замкнутому кругу газ. В результате сжатия он нагревается и отдаёт тепло в воду (в конденсаторе), поступающую в тепловой насос. Остывший в результате передачи тепла в воду газ, поступает в испаритель. На один кВт/час электроэнергии, потребляемой компрессором, получают 3-4 кВт/час тепловой энергии на нагреве воды [169].

1.7 Особенности эксплуатации УЗВ

Эксплуатация УЗВ требует высокой культуры производства, строгого соблюдения технологической и производственной дисциплины, а также контроля режима и техники раздачи кормов, расчета суточных доз корма, плотностей посадки рыбы. Необходимости соблюдения бережного обращения с рыбой при пересадках, сортировках и прочих рыбоводных операциях, систематического контроля за качеством оборотной воды и состоянием рыбы [213]. Необходимо помнить, что УЗВ рассчитываются на определенные нагрузки по количеству рыбы и суточной дозы корма. Большое значение имеет организация дробного кормления, исключение перекорма

рыбы и попадания значительного количества несъеденного и размытого корма на оборудование оборотного водоснабжения [59, 186].

Специфика выращивания рыб в искусственной системе определяется, во-первых, балансом между общим объёмом циркулирующей воды и количеством выводимой технологической и поступающей свежей. Во-вторых, динамичностью качественного состава воды [257].

Формируя водный баланс УЗВ, рассчитывают, что при этом достигается присущая рециркуляционным системам экономия в потреблении воды по сравнению с проточными прудовыми и бассейновыми рыбоводными предприятиями [257]. Считается, что в среднем на выращивание 1 кг рыбы в УЗВ затрачивается 150 л воды, а в проточных бассейнах 150 м³ воды. Однако, при этом необходимо учитывать, что экономическая эффективность эксплуатации УЗВ напрямую зависит от количества выращиваемой в ней рыбы [122, 129, 174].

Проведение контрольных обловов является механизмом оценки раскрытия ростовой потенции у выращиваемых рыб, а также эффективности кормления за предыдущий период и внесения коррективов в него на следующий период. Большая частота контрольных обловов в раннем возрасте связана с чрезвычайно быстрым ростом, качественными изменениями в организме рыб. Поэтому необходимо как можно чаще регистрировать эти изменения и вносить коррективы в кормление. С возрастом увеличение периода времени между кормлениями связывают не только с внешними менее видимыми изменениями размеров, но и большей восприимчивостью к стрессовым воздействиям, к которым, несомненно, надо отнести контрольный облов [63, 203].

Методика кормления отражает основные положения системы нормирования кормления рыбы, которая включает обоснованный выбор рецептуры корма, размера кормовых частиц, суточной дозы корма, частоты кормления, способа кормления [63, 203].

При эксплуатации УЗВ серьезное внимание необходимо уделять контролю за абиотическими факторами. Измерение температуры воды и содержания в ней кислорода дважды в день, гидрохимических показателей – раз в трое суток.

Особое внимание необходимо уделять водородному показателю. Повышение рН отрицательно действует на физиологическое состояние рыбы, повышает ток-

сичность аммонийного азота и снижает эффективность процесса нитрификации в биофильтрах. Не следует допускать содержания кислорода в вытекающей из бассейнов воде свыше 100 % насыщения, поскольку при прохождении биофильтров лишний кислород испаряется в атмосферу [163, 214].

Важнейшее значение имеет обеспечение стабильной органической нагрузки на биофильтры. Биофильтры – живая система, при резком снижении суточной дозы корма из-за недостатка питания значительная часть биопленки отмирает, а при резком возрастании суточной дозы уровень развития биопленки не может обеспечить своевременную переработку возросшего количества загрязнения [254].

Система УЗВ – это единый комплекс рыбоводных бассейнов и комплекс этот живой и базируется на жизнедеятельности рыбы и бактерий [41, 254, 267].

Поэтому для поддержания оптимальных условий выращивания рыбы в УЗВ необходимо:

- придерживаться оптимальной плотности посадки рыб в бассейнах;
- не допускать снижения уровня водообмена;
- не допускать снижения содержания кислорода в воде на вытоке из бассейнов ниже 5 мг/л;
- не допускать снижения рН ниже 6 и выше 7,5;
- не допускать колебаний температуры воды в течение суток более чем на 2 – 3 °С;
- применять при выращивании диапазон оптимальный для каждого вида, возраста температурный режим;
- не допускать занижения объемов и очистительной способности биофильтров;
- применять механические фильтры, задерживающие загрязняющие частицы размером от 20 микрон и более [41, 112, 129, 180, 254, 267].

2 МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

2.1 Проведение исследований

Основные исследования проводились на базе мобильной рыбоводной лаборатории (МРЛ) КГТУ и промышленной УЗВ ООО «ТПК Балтптицепром», г. Калининград. Весь материал по теме диссертации был собран в период с апреля 2011 по декабрь 2016 г.

Работы по получению потомства и выращиванию молоди проводили в МРЛ КГТУ. На этапе подращивания и выращивания личинок использовали бассейны из прорезиненной ткани объемом до $0,2 \text{ м}^3$ с уровнем воды $0,2 \text{ м}$. Водообмен составлял 1 раз в час. По достижении мальками средней массы 1 г , уровень воды в бассейнах повышали до $0,4 \text{ м}$, объем воды возрастал до $0,4 \text{ м}^3$. Водообмен оставался прежним (рисунок 3).



Рисунок 3 – Бассейны мобильной рыбоводной лаборатории (МРЛ)

В составе технических узлов бассейнового участка МРЛ входили: сетчатый механический фильтр, биофильтр-биореактор «кипящего слоя» с загрузкой гранулированного полиэтилена (диаметром 3 мм), бактерицидные лампы для обеззараживания воды и оксигенатор напорного типа.

Работы по формированию ремонтно-маточного стада форели проводили в 2011 – 2013 гг. на базе в УЗВ ООО «КМП Аква» (рисунок 4) и промышленной УЗВ предприятия ООО «ТПК Балтптицепром» (рисунок 5).



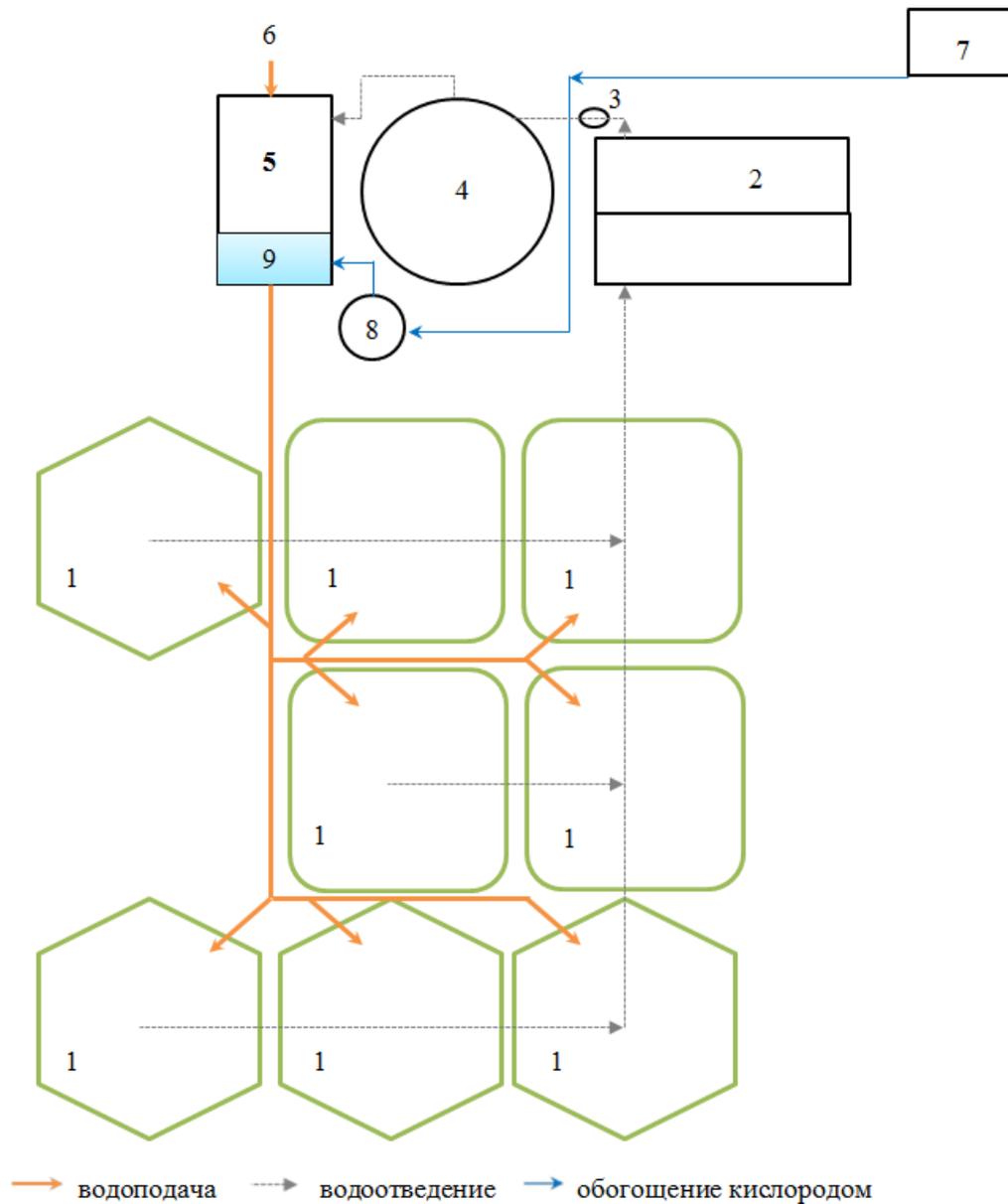
Рисунок 4 – Рыбоводные бассейны УЗВ ООО «КМП Аква»



Рисунок 5 – Рыбоводные бассейны УЗВ ООО «ТПК Балтптицепром»

В 2013 г. молодь форели перевезли в цех для производителей предприятия ООО «ТПК Балтптицепром» и продолжили работы по формированию второй генерации ремонтно-маточного стада. Промышленная УЗВ представляла собой модульную систему (рисунок 6), каждый блок которой включал в себя четыре пластиковых бассейна шестиугольной формы объемом 3 м^3 и четыре квадратных бассейна объемом $1,6 \text{ м}^3$. В состав технических узлов также входили механический фильтр со стабильным наклонным сетным полотном ячеей $0,3 \text{ мм}$, дегазатор, биофильтры «кипящего слоя» (биореактор) с загрузкой гранулированного полиэтилене-

на, ультрафиолетовое устройство и конусообразный оксигенатор напорного типа из нержавеющей стали.



1 – бассейны, 2 – механический фильтр, 3 – насосы, 4 – биофильтр, 5 – дегазатор,
 6 – подпитка из скважины, 7 – генератор кислорода, 8 – оксигенатор,
 9 – ультрафиолетовые лампы

Рисунок 6 – Схема УЗВ на предприятии ООО «ТПК Балтптицепром»

Для производства кислорода использовался кислородный генератор Atlas Carco GX11FF (PLC, Nacka, Sweden). Температура воды в установке цеха производителей поддерживалась за счет нагрева или охлаждения воздуха в помещении с помощью регулировки рабочего режима панельных радиаторов отопления. Уро-

вень воды в бассейнах составлял 0,4 – 1 м. Циркуляция воды осуществлялась за счёт насоса производительностью 20 м³/ч. Ежедневная подмена воды составляла 10 %.

Контроль за температурой воды и содержанием растворенного в воде кислорода проводили ежедневно перед каждым кормлением с помощью оксиметра «Hanna Instruments - 9145». Величину водородного показателя и содержание нитритов определяли раз в 3 суток с помощью отечественного иономера «Аквилон И-500».

Контрольные взвешивания осуществляли раз в 10 дней на этапах выдерживания предличинок, подращивания и выращивания личинок на торсионных весах с точностью до 1 мг и раз в 15 дней на электронных весах с точностью до 0,1 г на этапах выращивания мальков и рыб более старшего возраста. Рыб массой более 0,8 кг взвешивали раз в месяц. Объем выборки при проведении контрольных обловов составлял 1 % от общего количества рыб в рыбоводной ёмкости.

На этапах подращивания, выращивания личинок и мальков использовали стартовый корм датской фирмы Aller Aqua (A/S, Christiansfeld, Denmark) рецептуры Aller Futura. При выращивании рыб более старшего возраста использовали продукционные корма фирмы Aller Aqua следующих рецептур: Aller Bronze и Aller Trident. Фракцию 3,2 мм применяли до достижения рыбами массы близкой к 100 г, фракцию 4,5 мм весь оставшийся период до завершения 1-го этапа исследований. По достижении рыбами массы 600 г переходили на корма для производителей рецептуры Aller Sturgeon REP EX. Размер крупки и гранул изменяли по мере роста рыб. Суточные дозы кормления устанавливали в соответствии с рекомендуемыми нормами данного производителя [208]. Коррективы в них вносили с учетом поедаемости корма.

Отход форели учитывали ежедневно, методом прямого учёта. Выживаемость рыб выражали в процентах от общего числа наблюдаемых рыб [203].

Для оценки скорости роста рыбы использовали показатели общепродукционного коэффициента массонакопления и величину относительного среднесуточного прироста.

Скорость роста как объемную функцию весового роста определяли по формуле (1) общепродукционного коэффициента массонакопления [67, 68, 130]:

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

где M_H и M_K – масса рыб начальная и конечная, г; T – продолжительность периода выращивания, суток.

Скорость роста как линейную функцию весового роста определяли по величине относительного среднесуточного прироста:

$$C = \frac{(M_K - M_H) \times 2 \times 100}{(M_H + M_K) \times T}, \quad (2)$$

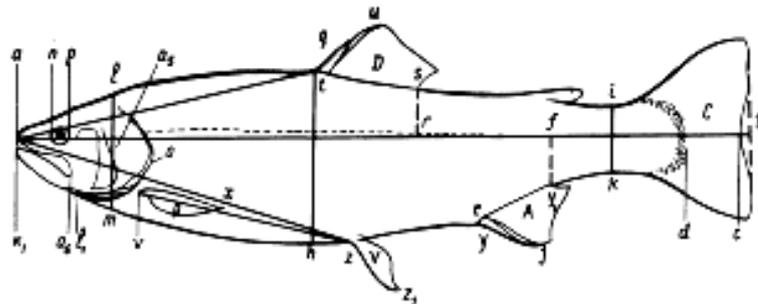
где M_H и M_K – масса рыб начальная и конечная, г; T – период выращивания, сут.

Эффективность кормления оценивали по величине кормового коэффициента. Величину этого показателя определили по формуле [124]:

$$K_k = \frac{P}{\Pi}, \quad (3)$$

где P – количество корма, использованного в периоды между контрольными обловами, кг; Π – прирост общей массы рыб в периоды между контрольными обловами, кг.

Измерения морфометрических показателей проводили по схеме, предложенной И.Ф. Правдиным [124]. Визуализация измеряемых у самцов и самок показателей представлена на рисунке 7.



ab – длина всей рыбы; ad – длина бес C ; od – длина туловища; an – длина рыла; pr – диаметр глаза (горизонтальный); ao – длина головы; po – заглазничный отдел головы; lm – высота головы у затылка; qh – наибольшая высота тела; ik – наименьшая высота тела.

Рисунок 7 – Схема измерений радужной форели (по И.Ф. Правдину, 1966) [124]

Пластические признаки анализировали в системе индексов. По данным измерений и взвешиваний рассчитывали селекционные индексы: коэффициент упитанности ($K_u=100 P/L$), относительная длина головы (C/L , %), относительная высота тела или индекс прогонистости (H/L , %), индекс наибольшего обхвата тела или компактности (O/L , %). Морфофизиологические анализы проводили путем вскрытия рыбы и извлечения внутренних органов (печень, селезенка), а также кожи и жабр с последующим определением их массы. Для определения индекса внутренних органов использовали метод морфофизиологических индикаторов [128, 156, 201]. Выделенные органы взвешивали на торсионных весах ВЛК-500 с точностью до 0,1 г и выражали в процентах к массе тела. Для исследований отбирались клинически здоровые рыбы без видимых повреждений.

Гематологические показатели определяли, по стандартным методикам, принятым в рыбоводстве [29, 88, 111]. Концентрацию эритроцитов определяли пробирочным методом с использованием консервирующего раствора, микроскопа и камеры Горяева, лейкоцитов - косвенным методом на мазке крови, гемоглобина - гемиглобинцианидным методом на спектрофотометре, общего белка в сыворотке крови – рефрактометрически, скорость оседания эритроцитов – в СОЭ-метре, содержание гемоглобина в одном эритроците и цветной показатель – расчетным методом [88].

Подсчет лейкоцитарной формулы осуществляли на фиксированных мазках, окрашенных по Паппенгейму. На каждой мазке подсчитывали 200 лейкоцитов с учетом стадий их цитогенеза по классификации Н.Т. Ивановой [45]. Идентифицировали следующие виды лейкоцитов: миелоциты нейтрофильные, метамиелоциты нейтрофильные, палочкоядерные нейтрофилы, сегментоядерные нейтрофилы, псевдобазофилы, моноциты и малые лимфоциты [25].

Отлов рыбы производили непосредственно перед проведением исследования - использовали активную и клинически здоровую рыбу, без видимых повреждений. Забор крови осуществляли прижизненно из гемального канала хвостового стебля (рисунок 8). Рыбу перед проведением анализов не кормили в течение суток.

В качестве основных иммунологических показателей исследовали такие показатели, как бактерицидная активность, концентрация лизоцима и гамма – глобулинов. Исследования были проведены в лабораторных условиях по модифицирован-

ным методикам [90]. Содержание сывороточного лизоцима определяли по методике О.В. Бухарина [18].



Рисунок 8 – Взятие крови из гемального канала рыбы

Относительное содержание γ -глобулинов находили через показатель оптической плотности (ОП). Определение ОП проводили сначала в пробирке №4, затем в пробирках №3, 2 и 1 (рисунок 1). Расчет результатов производился по схеме:

ОП пробирки №1 - ОП пробирки № 2 = ОП альбуминов;

ОП пробирки №2 - ОП пробирки №3 = ОП альфа-глобулинов;

ОП пробирки №3 - ОП пробирки №4 = ОП бета-глобулинов;

ОП пробирки №4 = ОП гамма-глобулинов.

Принимая сумму ОП альбуминов и всех глобулиновых фракций за 100% (ОП пробирки №1), вычисляли долю содержания каждой фракции в процентах.

Процентное содержание гамма-глобулинов определяли по формуле 4:

$$\text{Относительное содержание } \gamma \text{ – глобулинов} = \frac{ОП_{gg} \times 100}{E_{20П}}, \quad (4)$$

где ОП_{gg} – гамма-глобулин (ОП – пробирки № 4), E_{0п} – сумма ОП всех белковых фракций (ОП пробирки №1), 100 – коэффициент перевода содержания гамма-глобулина в %.

Расчет величины показателей бактериостатической активности (5) и напряженности бактериостатической активности (6) проводили по формулам:

$$БА (\%) = 100 - (100 \times (D_k - D_n)) / D_k - D_n, \quad (5)$$

где D_n – оптическая плотность начальная; D_k – оптическая плотность конечная. 100-коэффициент перевода оптической плотности в % [144].

$$НБА (\%) = (A_n \times T_n + A_k \times T_k) / T + 1, \quad (6)$$

где A_n – оптическая плотность начальная; A_k – оптическая плотность конечная; T_n – оптическая плотность начальная; T_k – оптическая плотность конечная.

Собранный материал был статистически обработан по общепринятым методикам [2, 71, 118]. Обработка данных выполнена с помощью программы «Microsoft Excel». При статистической обработке определяли следующие параметры признаков: среднеарифметические значения (M); стандартная ошибка среднего (m); среднеквадратичное отклонение (σ). Для определения достоверности различий использовали непарный параметрический критерий Стьюдента.

2.2 История формирования ремонтно-маточного стада радужной форели

Маточное стадо в УЗВ было сформировано из посадочного материала, завезенного из рыбководного хозяйства ООО «Аквакультура», расположенного в водоем-карьере «Прибрежный» Калининградской области (рисунок 9).



Рисунок 9 – Садковая линия форелевого хозяйства ООО «Аквакультура»

Гибридная форма форели, выращиваемая в садковом хозяйстве «Аквакультура» (рисунок 10), была получена в результате скрещивания в середине – конце 80-х годов прошлого столетия рыб из трех популяций форели, завезенных из рыбхоза

«Волма» (Беларусь), рыболовецкого колхоза «Банга» (Латвия), рыболовецкого колхоза «Прогресс» (Ленинградская область).

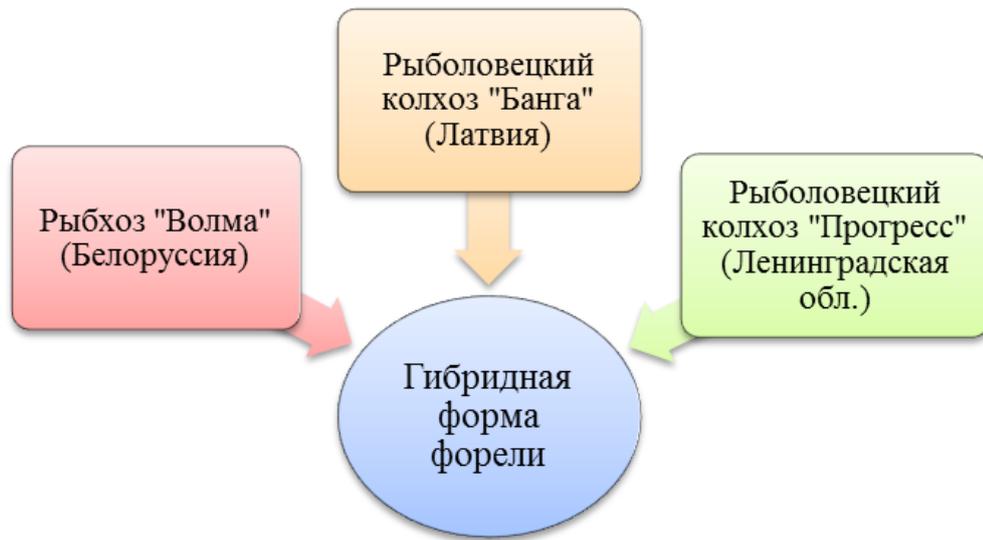


Рисунок 10 – Схема получения гибридной формы

В 2011 г. из форелевого хозяйства «Аквакультура» для исследований были завезены на предприятие «КМП Аква» сеголетки форели, средней массой 10 г.

После двухмесячного карантина при температуре воды около 16 – 20 °С, молодь была посажена в УЗВ со следующими параметрами:

- объём воды в бассейнах – 10 м³;
- объём биофильтра (биореактора) с загрузкой гранулированного полиэтилена – 1,5 м³;
- объём загрузки гранул диаметром 3 мм - 0,5 м³;
- механический фильтр со стабильным сетным полотном с диаметром отверстий 0,5 мм (размер 1,2×1×1м) – 1 шт;
- дегазатор объёмом – 0,3 м³;
- насос производительностью – 20 м³/ч;
- водяные помпы с инжекторной системой подачи воздуха в струю выбрасываемой воды, производительностью по прокачиваемой воде 3 м³/ч – 4 шт.

Исследованиями были охвачены три последовательные генерации радужной форели (рисунок 11).



Рисунок 11 – Формирование ремонтно-маточного стада форели в УЗВ

Первая генерация. Период формирования первой генерации ремонтно-маточного стада был разделён на два этапа:

Первый этап: выращивание ремонтного поголовья до начала созревания рыб и проявления различий в скорости роста самцов и самок (01.09.11 – 01.02.2012 г.).

При выборе плотности посадки исходили из конечной цели исследования – выращивание производителей форели в соответствии с условиями, складывающимися в УЗВ в, как можно, сжатые сроки. Поэтому были применены два варианта плотности посадки (в двойной повторности): 20 и 40 шт/м².

Такую плотность посадки установили в сентябре 2011 г. (при рассадке на выращивание сеголетков форели массой 10 г) и сохраняли до окончания первого этапа исследований при достижении ремонтным поголовьем средней массы 474 – 530 г [112, 193]. В качестве рецептуры корма при выращивании форели на первом этапе была апробирована Aller Bronze, датской фирмы Aller Aqua.

Кратность кормления форели на первом этапе составляла 2 раза в светлое время суток в 9 и 17 ч.

Второй этап: до созревания производителей и получения зрелых половых продуктов (01.02.12 – 01.04.2013 г.)

На втором этапе (в марте 2012 г.) плотность посадки была снижена в обеих группах до 10 и 20 шт/м², соответственно.

Выращивание маточного стада проходило в установке с объемом циркулирующей воды 12 м³ [191].

Для кормления рыб использовали рецептуру Aller Sturgeon. Фракцию 6 мм применяли при выращивании форели до массы близкой к 700 г. Фракцию 9 мм при выращивании форели далее до завершения второго этапа исследований.

Кратность кормления форели на втором этапе составляла один раз в сутки в 9 часов.

Вторая генерация. Исходным материалом для формирования ремонтно-маточного стада второй генерации форели явились половые продукты и личинки, полученные от производителей первой генерации, выращенных в УЗВ. Потомство второй генерации форели было получено в феврале 2013 г. в рыбоводном цехе ООО «КМП Аква». В июле 2013 г. ее перевезли в УЗВ рыбоводного цеха ООО «ТПК Балтптицепром».

Третья генерация потомства форели была получена от производителей второй генерации в марте 2015 г.

При выращивании второй и третьей генерации форели в УЗВ плотность посадки была:

- у мальков 1000 шт/м³
- при достижении молодью массы 20–30 г – 50 шт/м³
- по достижении молодью массы 100 г – 40 шт/м³
- по достижении рыбами массы 0,8 – 1 кг – 25 шт/м³.

При разработке технологии формирования и эксплуатации ремонтно-маточного стада форели в УЗВ для проведения оценки рыбоводных показателей и физиологического статуса рыб было взято 2849 экз. Для определения гематологического статуса форели, выращенной в УЗВ, использовали 12 гематологических па-

раметров. Общая схема исследований представлена на рисунке 12. Общее количество использованного в исследованиях материала представлено в таблице 8.



Рисунок 12 – Схема исследований

Таблица 8 – Объем исследуемого материала, шт

Направление исследований	Садковое хозяйство (ООО «Аквакультура»)		УЗВ (ООО «ТПК «Балтптицепром»)					
			1 генерация		2 генерация		3 генерация	
	молодь	производители	молодь	производители	молодь	производители	молодь	производители
Оценка рыбоводных показателей	-	-	854	92	786	77	903	62
Морфометрическая характеристика	50	25	-	-	-	50	50	50
Морфофизиологическая характеристика	-	25	-	-	-	25	50	25
Оценка гематологического статуса: - количество рыб - анализов	-	-	-	-	-	-	15 180	10 120
Оценка иммунологического состояния: - количество рыб - анализов	-	-	-	-	-	-	50 3900	25 2250

3 РЫБОВОДНО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МАТОЧНОГО СТАДА РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ В УСТАНОВКАХ ЗАМКНУТОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

3.1 Температурный и гидрохимический режим в УЗВ в период формирования, эксплуатации ремонтно-маточного стада и выращивания потомства

3.1.1 Температурный и гидрохимический режим при формировании ремонтно-маточного стада радужной форели (первая генерация)

Температура воды в УЗВ зависела от изменения температуры воздуха в цеху, которая большую часть периода исследований в значительной степени коррелировала с температурой воздуха вне помещения. Лишь на завершающем этапе стимулировали овулирование икры у самок и спермацию у самцов незначительным подогревом воды в установке.

Температура воды в течение сентября 2011 г. постепенно снижалась с 20 до 15 °С (рисунок 13), что следует признать периодом благоприятных температурных условий для развития и роста форели.

Благоприятными оставались условия и в последующие два месяца, когда она незначительно изменялась в диапазоне значений от 15 до 15,5 °С. Лишь в январе 2012 г. температура снизилась до 10 °С, что следует рассматривать с позиции искусственной имитации зимнего содержания форели в открытых рыбоводных системах, но при больших значениях температуры воды.

В июле и августе 2012 г. температура воды превышала допустимые для производителей значения (до 20 °С), в отдельные дни повышалась до 24 °С. К январю 2013 г. удалось понизить температуру воды до значений «искусственной зимовки» [17, 58, 59, 122]. Среднемесячная температура воды во время зимовки составила 8,2 °С, минимальная 5,5 °С.

Рассматривая температуру воды как основной направляющий развитие рыб фактор, необходимо учитывать особенности проявления одного из основных лимитирующих факторов – содержания в воде растворенного кислорода.

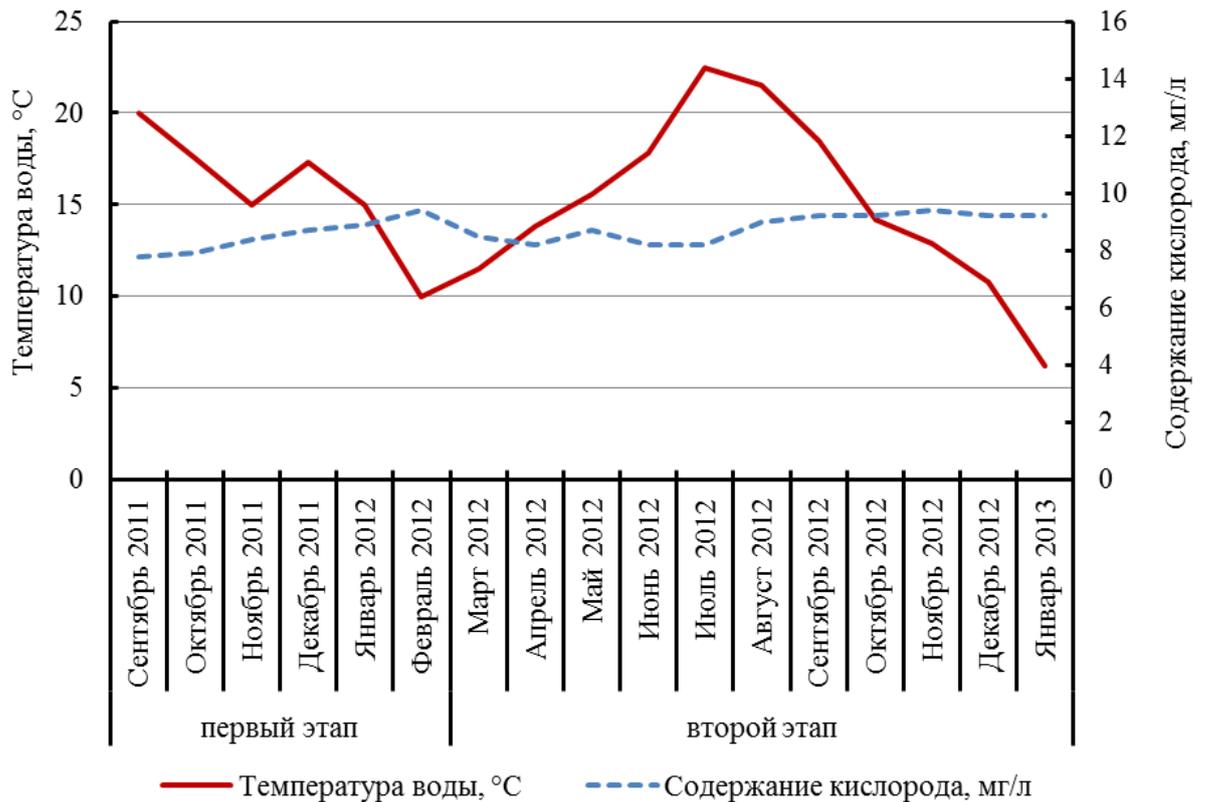


Рисунок 13 – Изменение температуры воды и содержания в ней кислорода при формировании первой генерации радужной форели

Здесь следует отметить, что на этом этапе формирования первой генерации ремонтно-маточного стада, в виду относительно низкой биомассы рыб насыщение воды кислородом проводили путем аэрации (нагнетания через установленные в бассейнах помпы водно-воздушной смеси) [112].

Содержание кислорода на втором этапе исследований было достаточно высоким, благодаря оксигенации воды. Насыщение воды кислородом было близким к 100 % [193].

Ещё одним лимитирующим развитие и рост рыб фактором в УЗВ следует признать величину водородного показателя (рисунок 143). Поскольку при закислении воды или защелачивании происходит разбалансирование химических связей, что в УЗВ может приводить к резкому увеличению в воде аммиака, аммония и нитритов [112].

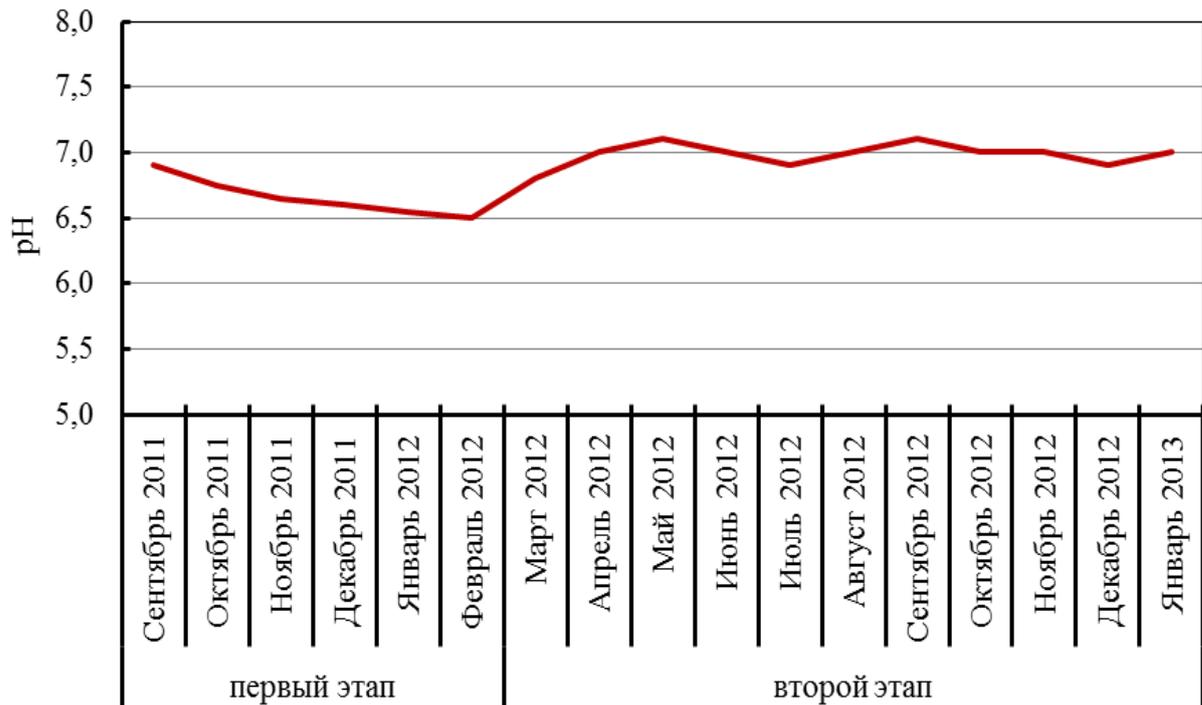


Рисунок 14 – Динамика рН воды при формировании первой генерации радужной форели

Оценивая с этой позиции динамику рН в УЗВ следует отметить, что значения этого показателя в течение всего этапа были на уровне оптимальных (диапазон 6,5 – 7,5). Постепенное снижение рН с 6,9 до 6,5 являлось также подтверждением эффективно работы биофильтра, в котором преобладают процессы закисления среды, во всех других частях УЗВ – защелачивания [112].

Сопутствующим раскрытию ростовой и адаптогенной потенции рыб фактором, способным в ряде ситуаций существенно ее ограничить, является содержание в воде различных форм азота, из которых самой токсичной является нитритная (рисунок 15).

Допустимые значение показателя, оцениваемые по содержанию нитритов до 0,4 мг/л (при выращивании форели от 5 до 50 г) и до 0,6 мг/л (при выращивании товарной форели) [180]. Исходя из этого, следует признать, что концентрация нитритов в воде в УЗВ в течение всего периода была ниже допустимых значений, что подтверждает эффективную работу биофильтра.

При естественном фоне температуры воды в открытых рыбоводных системах форель достигает половозрелости: самцы в трехгодовалом, самки в четырехгодова-

лом возрасте при достижении массы, не менее 600 – 800 г и 800 – 1200 г, соответственно.

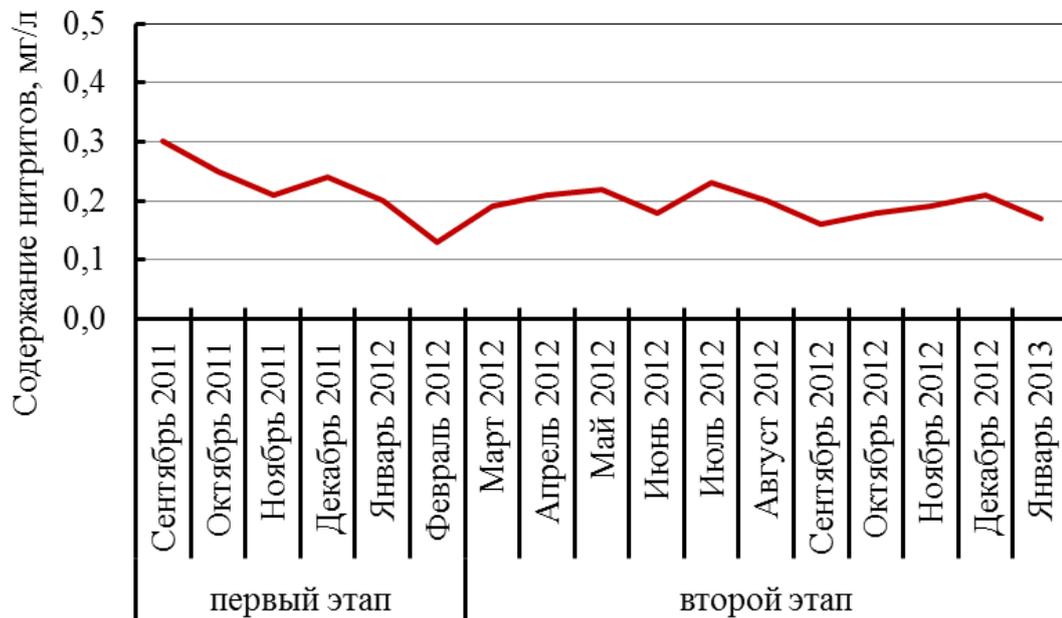


Рисунок 15 – Изменение содержания нитритов в воде при формировании первой генерации радужной форели

Однако, при оптимизации температурного режима, в частности, в результате использования подземных (артезианских) вод в осенне-зимне-весенний период возможен сдвиг сроков первого созревания у самцов и самок на год [165]. Созревание самцов на год раньше самок в таких рыбоводных системах является общим свойством популяций большинства видов рыб.

Однако, общим подходом в выводе половозрелых рыб, содержащихся в УЗВ на завершающем этапе на созревание, является имитация периода низкой температуры воды в естественных водоемах зимой. В практике рыбоводства – в форме «искусственной зимовки» [17, 58, 59, 122, 184, 185, 187].

Своеобразие условий содержания рыб в УЗВ, не выраженность или специфическая выраженность сезонного фактора, высокий баланс температуры определяют особенности роста и созревания производителей [184].

В наших исследованиях этот этап биотехники разведения форели пришелся на период январь – март 2013 г., охватив также этап получения зрелых половых про-

дуктов. Особенности температурного режима в период созревания и получения половых продуктов у производителей представлены на рисунке 16.

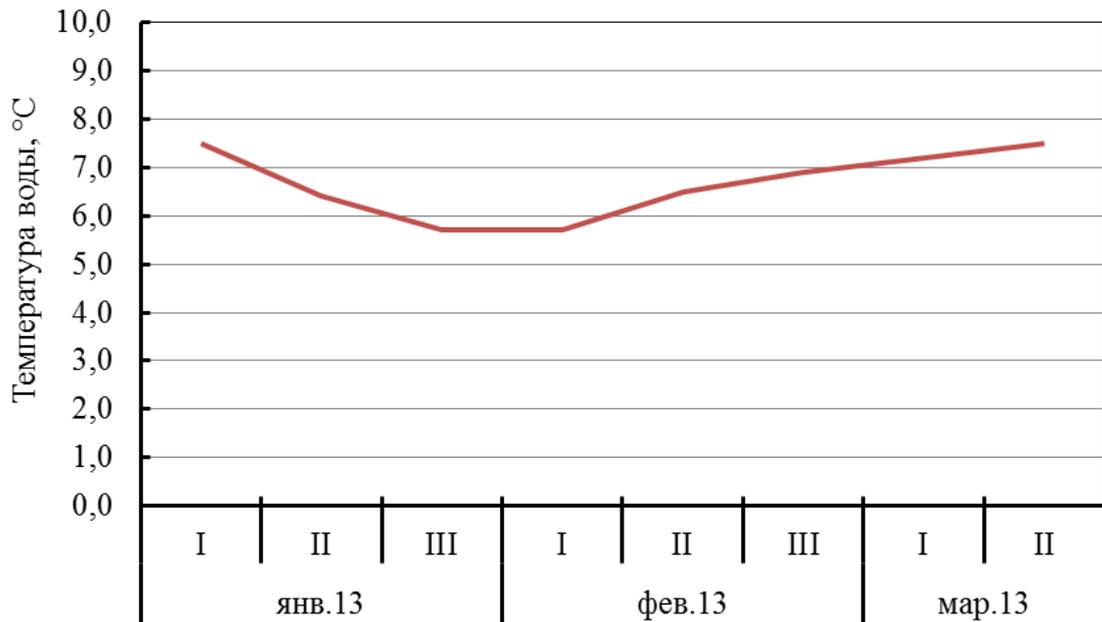


Рисунок 16 – Температура воды в период созревания производителей и получения половых продуктов

Первые самки созрели во второй декаде февраля, последние – во второй декаде марта 2013 г. Первые текущие самцы были обнаружены в третьей декаде января того же года. Последние текущие самцы встречались в первой декаде апреля 2013 г. Самцы в этот период все отдавали сперму, которую использовали для осеменения икры.

Таким образом, в возрасте 22 – 24 месяцев в УЗВ созрели 100 % производителей форели.

3.1.2 Температурный и гидрохимический режим при эксплуатации маточного стада радужной форели (вторая генерация)

Температурный режим в течение выращивания второй генерации форели, за исключением этапов инкубации икры (7 – 10 °С), выдерживания предличинок (10 – 12 °С) и подращивания и выращивания личинок (12 – 14 °С), в отдельные периоды характеризовался превышением рекомендуемых значений, способствующих раскрытию биологической потенции форели [178]. Это было связано с тем, что основ-

ным объектом выращивания в рыбоводных цехах для молоди была стерлядь, у которой предпочтения к температурному режиму иные, чем у форели [121].

Следует отметить, что повышенной температуре воды соответствовало насыщение кислорода 80 – 100 %, что следует признать достаточно высоким (рисунок 17) [100].

Гидрохимические показатели соответствовали нормативным показателям.

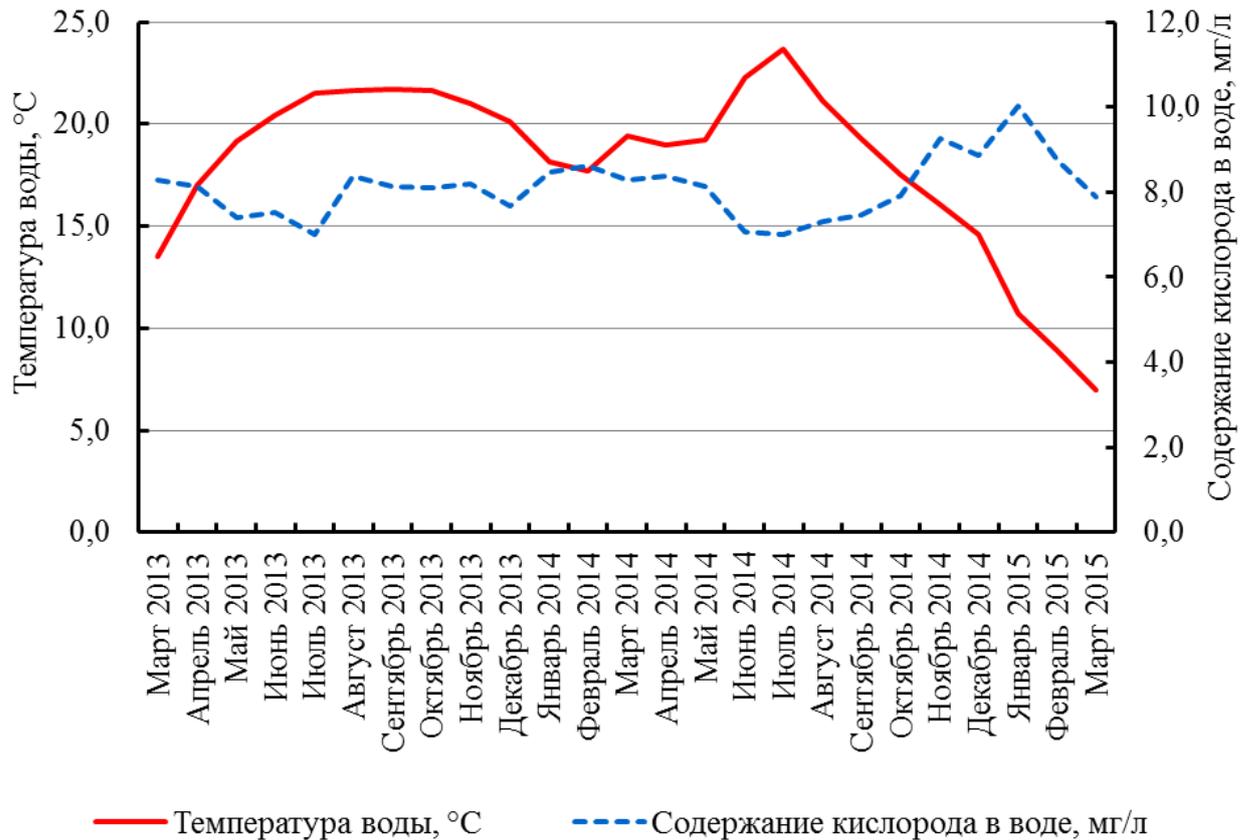


Рисунок 17 – Динамика температуры воды и содержания кислорода в воде при формировании второй генерации радужной форели

В ходе первого этапа формирования маточного стада форели второй генерации, вследствие особых температурных условий рыбоводного цеха и отсутствия периода «искусственной зимовки», в декабре 2013 г. – январе 2014 г. произошло расхождение группы производителей по времени наступления полового созревания. В мае 2014 г. 30 % самцов и 10 % самок в возрасте 14 месяцев при температуре 18,5 °C созрели в первый раз [98].

В ходе второго этапа формирования маточного стада второй генерации условия рыбоводного цеха ООО «ТПК Балтптицепром» позволили провести «искусственную зимовку» маточного стада форели, которая продолжалась с декабря 2014 г. по февраль 2015 г. при средней температуре воды около 9,5°C (минимальная в течение месяца 6 – 6,5 °C). При повышении температуры воды до 7 – 9 °C все производители маточного стада форели созрели. При этом созревание производителей было разделено во времени. Основная группа (90 %) – это впервые созревшие самки в возрасте 22-24 месяцев, набравшие к моменту полового созревания 8700 градусо-дней [94]. Их созревание происходило с конца января по середину марта 2015 г., с пиком в феврале при температуре 8,5 °C. Вторую группу (10 %) составляли повторно созревшие самки в возрасте 24-25 месяцев, вышедшие на повторное созревание через 3400 градусо-дней [109]. Их созревание завершилось в апреле 2015 г. при температуре 9 – 10 °C. Текущие самцы форели были обнаружены в конце 3-й декады декабря. Спермацию у них фиксировали до конца апреля.

Следует отметить, что первое созревание у форели в садковом хозяйстве «Прибрежное» происходит в возрасте 30 – 36 месяцев при наборе суммы градусо-дней от 7800 до 9000. Небольшую группу составляют рыбы с малыми размерными характеристиками (500 – 700 г), созревающие в возрасте 24 – 26 мес. Учитывая то, что форель, выращиваемая нами в УЗВ, имеет происхождение из хозяйства «Прибрежное», то можно признать, что состав и структура маточного стада форели, формируемого и эксплуатируемого при естественной термике воды, воспроизводится в УЗВ, но с корректировкой созревания в более раннем возрасте и при более высоких размерных характеристиках самцов и самок форели [98].

Оценивая динамику рН в УЗВ можно сказать, что этот показатель в течение выращивания второй генерации форели был на уровне оптимальных (диапазон 6,5 – 7,5) значений (рисунок 18).

Концентрация нитритов в воде в этот период также была в диапазоне оптимальных значений: до 0,4 мг/л (при выращивании форели от 5 до 50 г) и до 0,6 мг/л (при выращивании товарной форели) (рисунок 19).

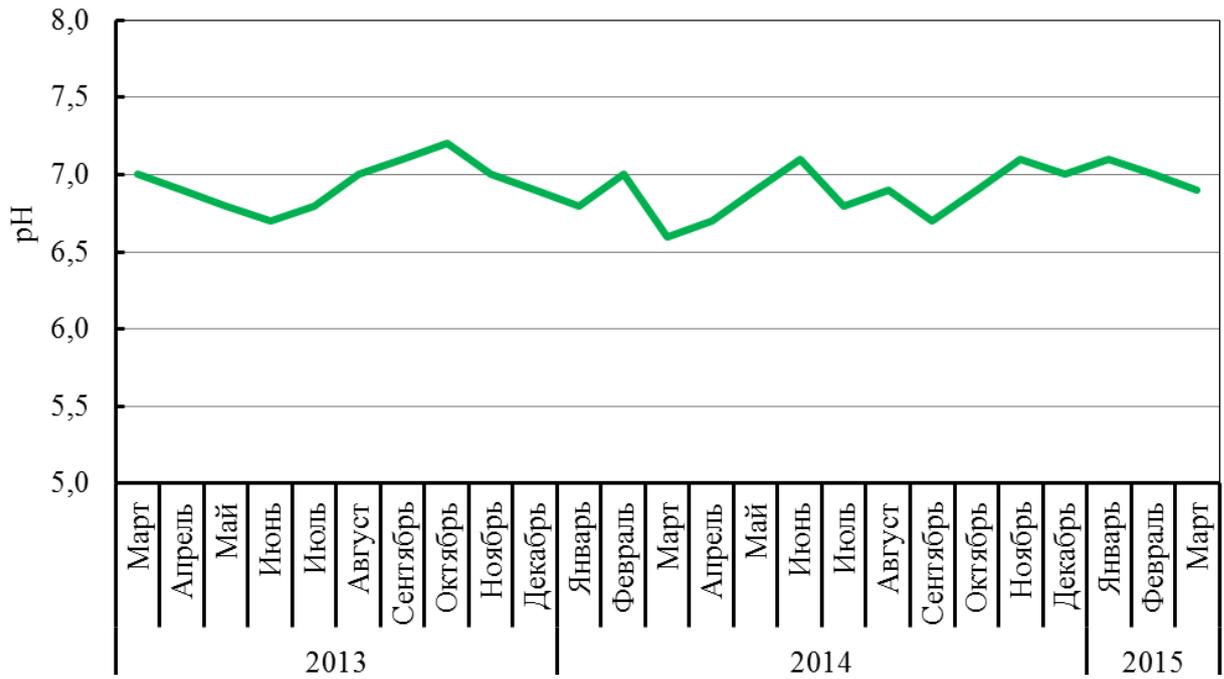


Рисунок 18 – Изменение рН в воде УЗВ при выращивании второй генерации радужной форели

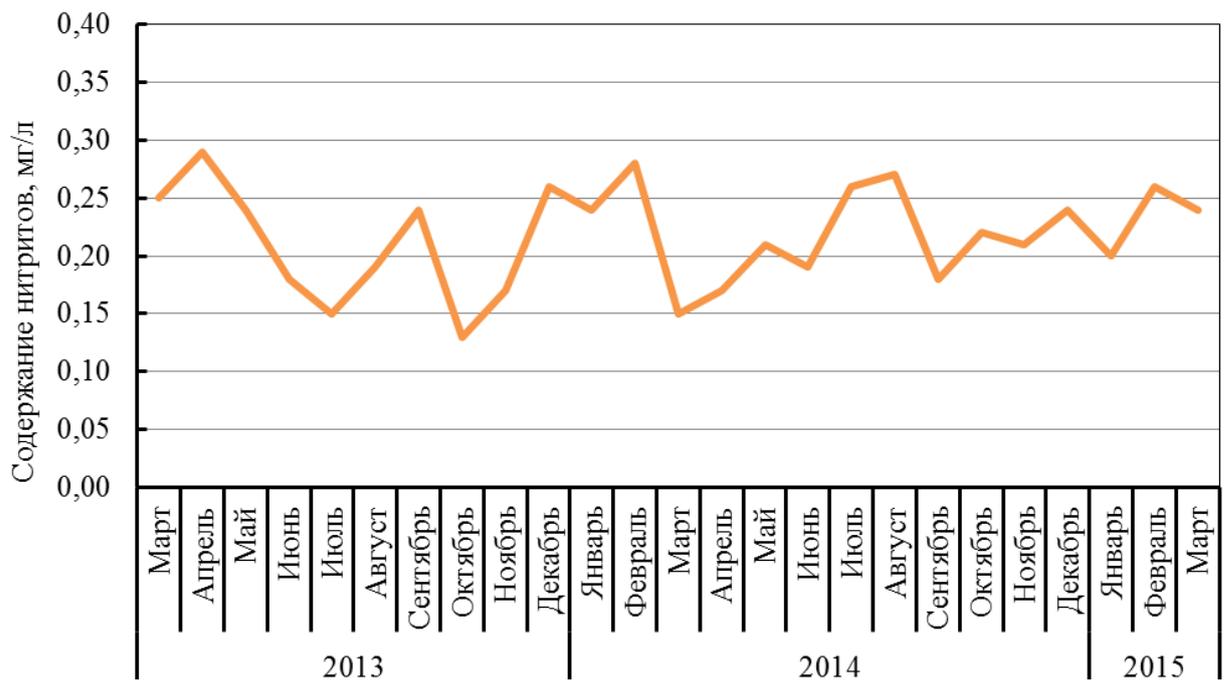


Рисунок 19 – Изменение содержания нитритов в воде УЗВ при выращивании второй генерации радужной форели

Таким образом, следует признать, что все измеряемые абиотические факторы в УЗВ во время выращивания второй генерации радужной форели находились в

диапазоне оптимальных значений для этого вида, что подтверждает эффективную работу биофильтра.

3.1.3 Температурный и гидрохимический режим при эксплуатации маточного стада радужной форели (третья генерация)

В ходе формирования маточного стада третьей генерации условия рыбоводного цеха позволяли провести две «искусственные зимовки». Первая была с декабря 2015 г. по март 2016 г. при средней температуре воды около 9,3 °С (рисунок 20). Минимальная температура в течение месяца была 7 – 7,5 °С. Содержание растворенного в воде кислорода за весь исследуемый период было в пределах допустимых значений и составило в среднем 8,3 мг/л.

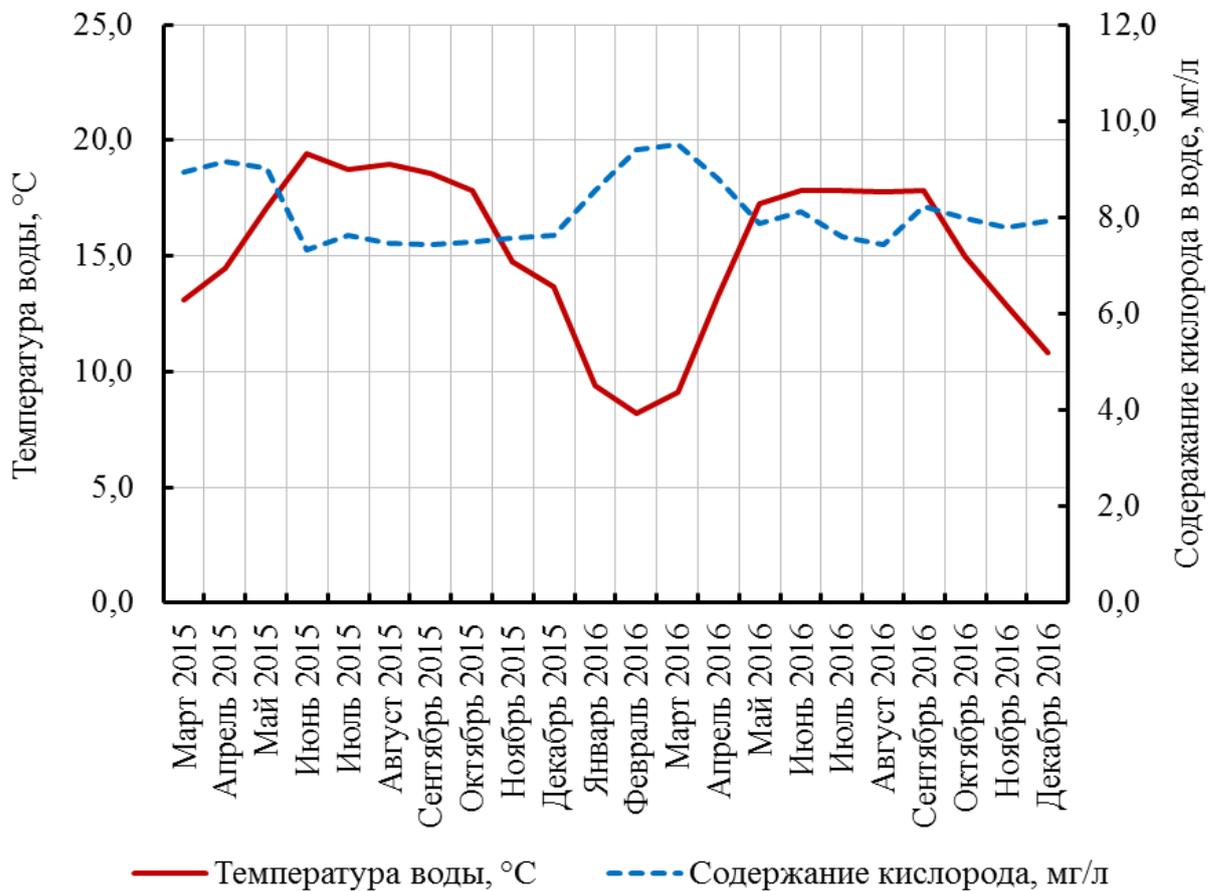


Рисунок 20 – Изменение температуры воды и содержания кислорода в воде при формировании третьей генерации радужной форели

Весной 2016 г. температуру воды стали повышать. В мае она достигла максимальных значений. Среднегодовая температура воды в 2016 г. составила 18,5 °С (максимальная температура 19,5 – 20 °С).

В сентябре стали постепенно снижать температуру воды, планируя к декабрю выйти на режим «искусственной зимовки». При этом проявилось новое свойство у созревающих рыб. У единичных самцов спермацию стали отмечать в сентябре, в массе самцы созрели в декабре. Самки, также как и самцы, в массе созрели в декабре на фоне снижения температуры воды в диапазоне 12 – 10 °С. В данном случае проявился механизм, больше свойственный осенне-нерестующим рыбам [88]. Содержание растворенного кислорода всегда соответствовало 100 % насыщения и выше.

Оценивая влияние температуры воды, содержания растворенного кислорода и гидрохимических показателей, следует отметить, что они соответствовали нормативным показателям. Значения рН на всех этапах формирования маточного стада находились в диапазоне оптимальных для форели значений (рисунок 21).

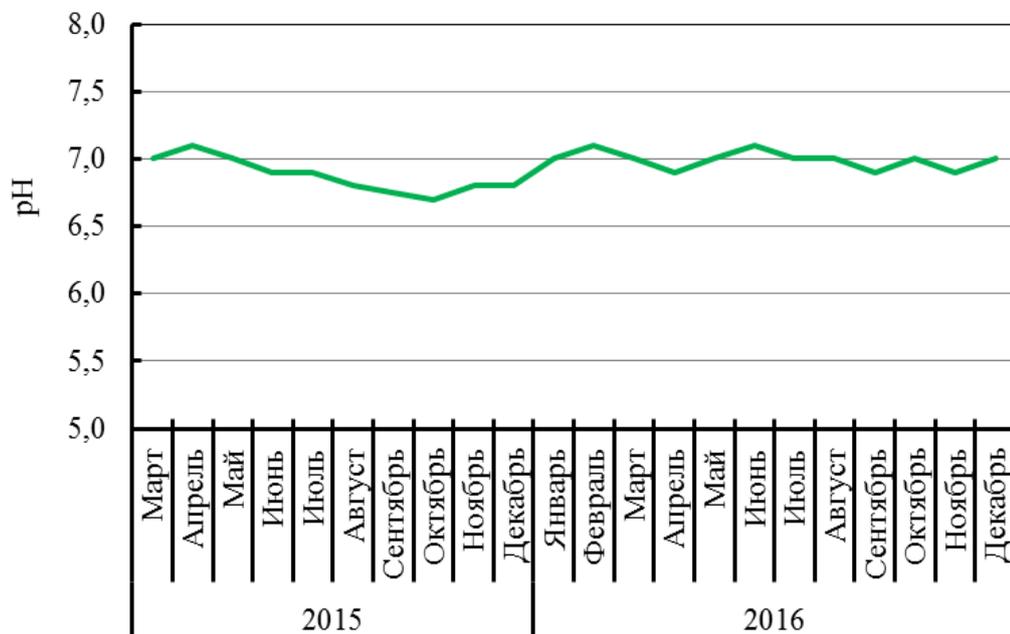


Рисунок 21 – Изменение рН в УЗВ при выращивании третьей генерации форели

Концентрация нитритов в УЗВ за все время выращивания третьей генерации не превышала 0,3 мг/л (рисунок 22).

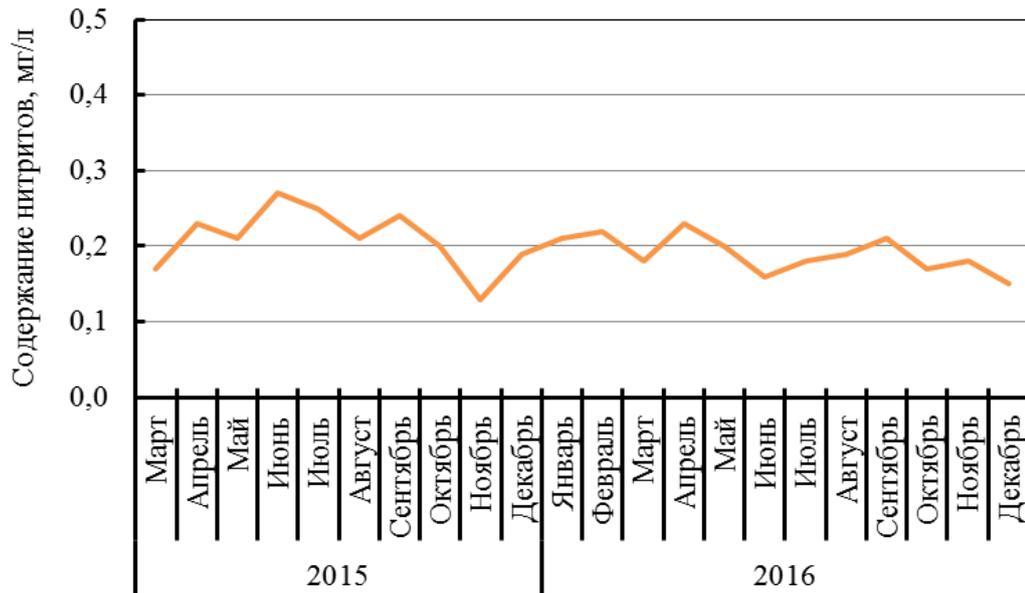


Рисунок 22 – Изменение содержания нитритов в УЗВ при выращивании третьей генерации форели

Однако, специфика температурного режима при формировании трех последовательных генераций ремонтно-маточных стад, проявляемая в большей сумме градусо-дней в предшествующий созреванию производителей период, более высокой температуры воды в период «искусственной зимовки», чем фиксировалась в «маточном» водоеме (0,3 – 2 °С), способствовала развитию производителей третьей генерации.

3.2 Скорость роста и выживаемость ремонтного поголовья и производителей радужной форели в УЗВ

3.2.1 Оценка скорости роста и выживаемости форели первой генерации

По литературным данным потенция роста форели наиболее высоко раскрывается в первые три года жизни, в дальнейшем скорость роста замедляется [198].

На первом этапе исследований плотность посадки была ниже принятой при выращивании товарной порционной форели (товарная масса 250 – 400 г), составляющей, в среднем, 150 – 200 шт/м² [112]. В.С. Кирпичников, обосновывая методические подходы при организации работ по формированию ремонтно-маточных стад рыб в рыбоводных системах с естественной термикой воды, предлагал в первые два года устанавливать плотность посадки ремонтного поголовья, соответ-

ствующей принятой при товарном выращивании. В дальнейшем существенно уменьшая, создавая более комфортные условия в старшевозрастных группах ремонта [56].

Однако, специфические условия УЗВ, позволяют существенно, в 1,5 – 2 раза сократить возраст созревания рыб, продолжительность выращивания молоди, когда она может переводиться в состав младшей группы ремонта. В связи с этим, можно признать обоснованным выращивание молоди рыб после первых сортировок в более комфортных условиях, в частности, при разреженной по сравнению с товарным направлением плотностью посадки. Как показали результаты, выбранная плотность посадки способствовала раскрытию ростовой потенции форели на высоком уровне (рисунок 23).

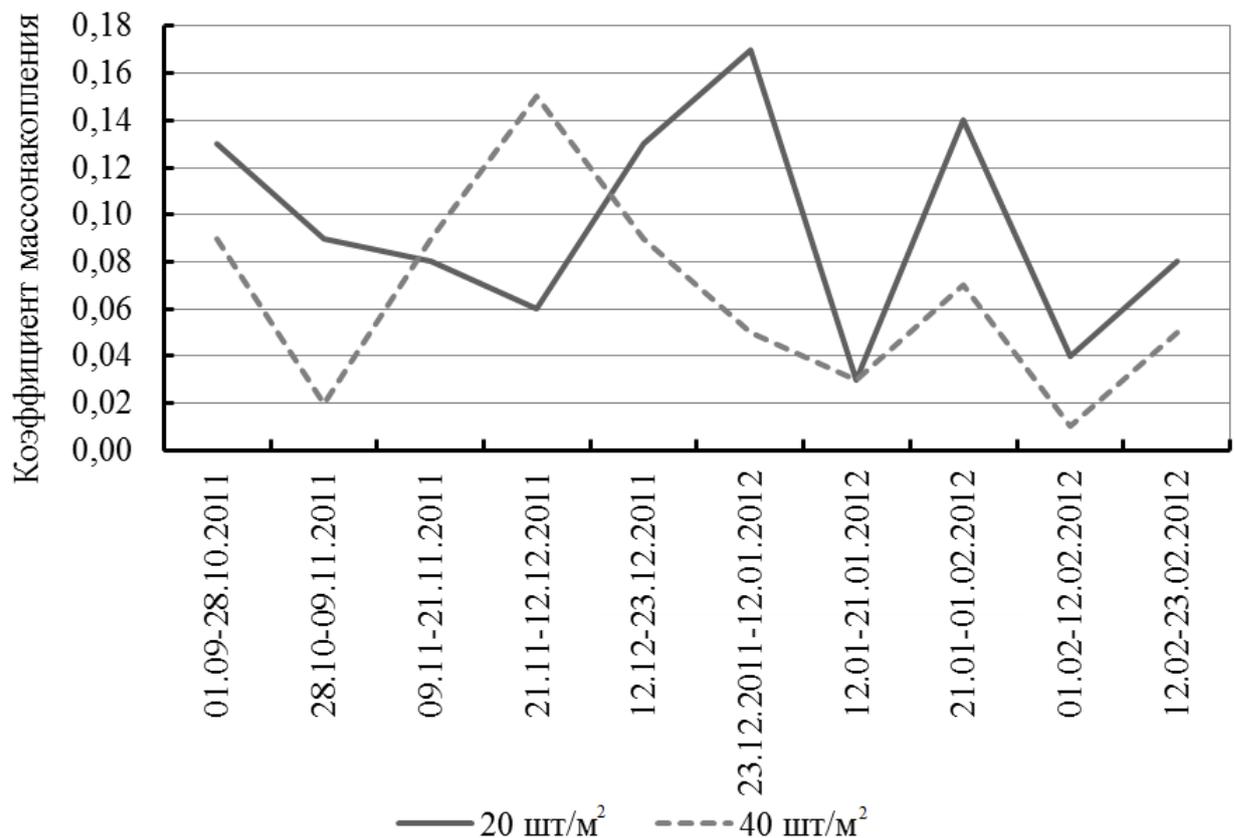


Рисунок 23 – Изменение коэффициента массонакопления форели на 1-м этапе исследования

Учитывая, что средняя величина общепродукционного коэффициента массонакопления для форели, соответствующая завершённому этапу производственного

процесса не превышает 0,078, то приведенные на рисунке 14 результаты со всей очевидностью подтверждают это. В те промежутки времени, когда совокупное действие факторов в наибольшей степени способствовало росту рыб, значения коэффициента массонакопления повышались до 0,14 – 0,16. В то же время в отдельные отрезки времени снижались до 0,01 – 0,04.

Влияние плотности посадки проявилось в определенных различиях в конечной массе ремонта. В группе с плотностью посадки 20 шт/м² она оказалась 530 г, при 40 шт/м² – 474 г. Выживаемость рыб во всех группах оказалась 100 % [193].

На втором этапе исследований плотность посадки уменьшили, соответственно, до 10 и 20 шт/м². Совокупное влияние всех перечисленных факторов на рост рыб можно проследить на рисунке 24.

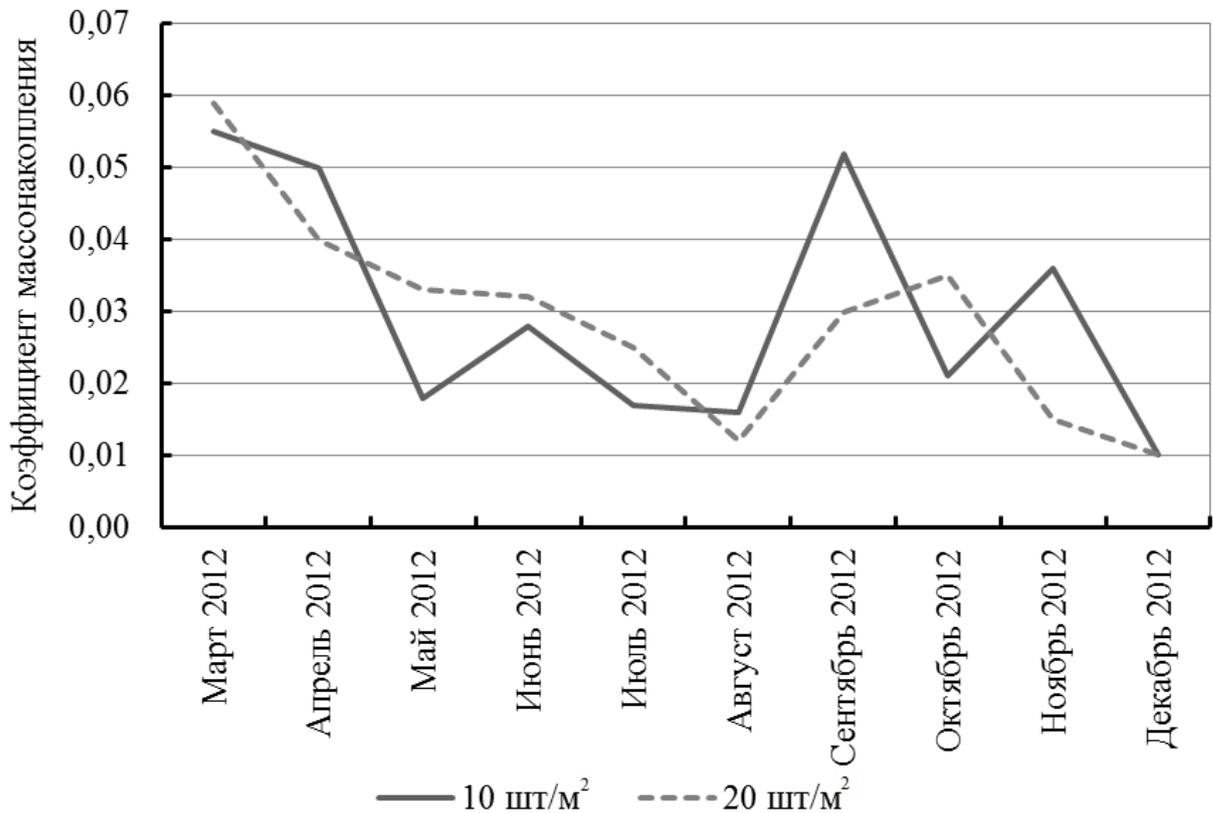


Рисунок 24 – Изменение коэффициента массонакопления маточного стада на втором этапе исследований при формировании первой генерации радужной форели

В целом характер изменения скорости роста в обеих группах сходный. Различие лишь в ускорении или снижении скорости роста в группах в отдельные отрезки времени.

Максимальное значение коэффициента массонакопления (0,058) зафиксировано в группах рыб при плотности посадки 20 шт/м². Но в группе рыб с плотностью посадки 10 шт/м² отмечено больше промежутков времени, когда скорость роста была выше, чем в группе с большей плотностью посадки [191].

Обращает внимание наличие двух основных периодов интенсивного роста форели (март – апрель, сентябрь – ноябрь). Повторяющих картину изменения скорости роста в «маточном» водоеме (карьер «Прибрежный»), когда она достигнет максимальной величины в мае – июне и сентябре – октябре. Температура воды в эти периоды составляла 12 – 18 °С [194]. Аналогичная картина в росте форели отмечена в садковом хозяйстве «Копанское» [181].

Заметное снижение скорости роста форели на завершающем этапе исследований следует связать с перестройкой общего обмена веществ и возрастанием доли генеративного обмена. К тому же, следует отметить, что при достижении форелью в УЗВ средней массы 500 – 600 г у части особей проявляются вторичные половые признаки, позволяющие отнести их к самцам. В дальнейшем они отстают в росте от остальных рыб. Поскольку при расчете скорости роста учитывали средние по всем группам показатели, то, вероятно, причиной столь заметного снижения скорости роста было присутствие в их составе самцов.

Снижение температуры воды в январе – марте 2013 г. до значений ниже 10 °С позволило завершиться процессу вителлогенеза и стимулировать созревание половых продуктов у рыб.

Таким образом, проведенные исследования позволили оценить влияние ряда исследуемых абиотических и биотических факторов на рост и жизнестойкость ремонтно-маточного стада форели в условиях УЗВ. Можно признать, что зафиксированный диапазон значений перечисленных факторов способствует реализации степени ростовой и репродуктивной потенции форели [191].

3.2.2 Оценка скорости роста и выживаемости форели второй генерации

Оценка скорости роста по величине коэффициента массонакопления [67, 68] показала, что, несмотря на высокую температуру воды на отдельных этапах выращивания, он был достаточно высокий (рисунок 25). Максимальное значение было зафиксировано в ноябре 2013 г. при температуре близкой к 17 °С (0,121). Отлич-

ный температурный режим (рисунок 16) при выращивании второй генерации в 2013 г. – начале 2014 г. отразился на динамике скорости роста. Высокий фон температуры воды в мае – ноябре не позволил форели реализовать, по аналогии с предыдущей генерацией, высокую ростовую потенцию, в марте – апреле. Она была на уровне, близком к средней степени раскрытия.

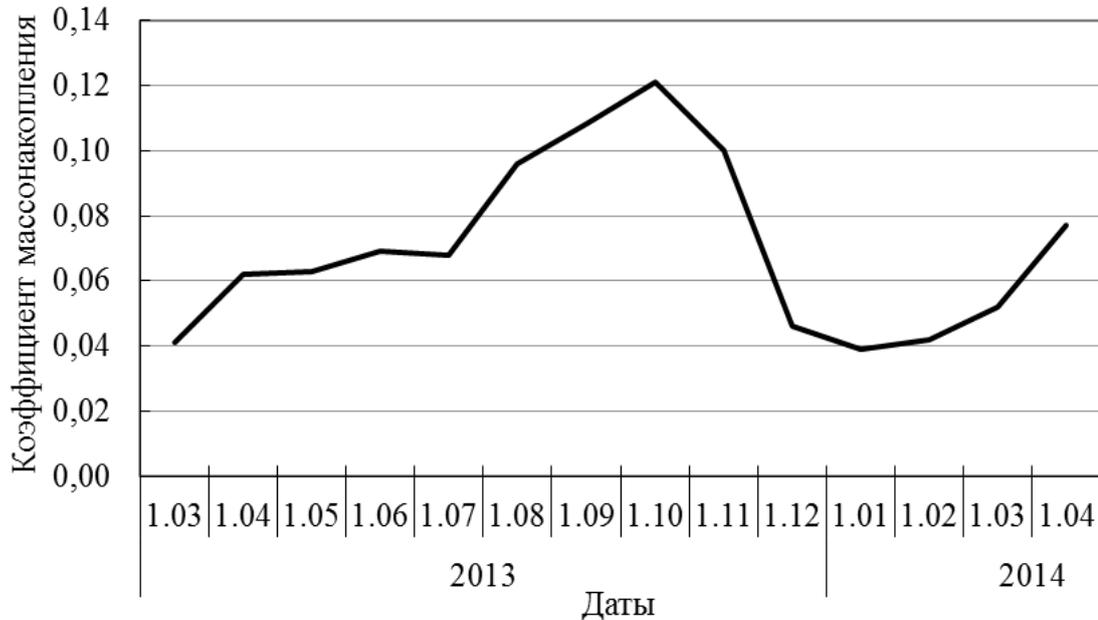


Рисунок 25 – Динамика коэффициента массонакопления форели при выращивании ремонтно-маточного стада

В то же время, в октябре – ноябре была восстановлена картина в изменении скорости роста. Следует отметить, что несмотря на продолжительный период, когда температура воды была более 20 °С, средняя скорость роста молоди форели оказалась выше, чем у предшествующей генерации. Возможно, здесь можно говорить о выработке у форели во второй генерации устойчивости к более высокой температуре воды.

В конце мая при пересчете и оценке состояния рыб было зафиксировано 30 % самцов с текучими половыми продуктами и 10 % самок форели в возрасте 14-15 мес. Средняя масса самок к этому времени составила 1230 г, самцов 870 г. Средняя по обоим полам 1050 г [100].

Имитация «зимовки» при температуре воды 17 – 18 °С, в нагульный период 18 – 22 °С при выращивании форели второй генерации по сравнению с первой, а так-

же более интенсивная скорость роста, очевидно, способствовали созреванию в возрасте 14 месяцев части рыб. Температура воды в этот период была 18,5 °С и превышала рекомендуемую при искусственном воспроизводстве форели, когда не допускается превышение верхней границы диапазона 12 °С [87, 133, 178]. В то же время известно, что в природных условиях нерестовая температура воды может достигать 18 °С [165, 177].

Во второй год выращивания ремонтного поголовья форели второй генерации – период высокой температуры воды (20 – 23 °С) был значительно короче и не превышал 60 сут (июль – август). Но картина в изменении скорости роста была иной, прежде всего, по величине показателей, по сравнению с первой генерацией (рисунок 26). Большая идентичность в динамике коэффициента массонакопления была у форели первой и второй генераций в первую половину второго года выращивания (рисунки 23 и 25).



Рисунок 26 – Динамика коэффициента массонакопления производителей форели второй генерации на втором этапе при формировании второй генерации маточного стада форели

Во вторую – динамика K_m у форели второй генерации была более плавной и скорость роста достигла максимальной величины (0,028) в те же сроки (сентябрь –

ноябрь), что у первой. Но максимальная величина у первой была (0,052), почти в два раза больше. Причина этого видится в том, что форель первой генерации на втором году выращивания компенсировала отставание в росте. Форель второй генерации имела более сбалансированный по пластической и генеративной составляющим обмен веществ.

Снижение температуры воды в декабре 2014 г. до 10 °С, январе – феврале 2015 г. до 6,0 – 6,5 °С, способствовало формированию зрелых половых продуктов у впервые и повторно созревших производителей форели второй генерации.

Выживаемость форели второй генерации, фиксируемая в период от середины августа 2013 г. (соответствует наступлению возраста сеголетков) составила 100 %, что может быть подтверждением высокого уровня биотехники и адаптационных возможностей рыб.

3.2.3 Оценка скорости роста и выживаемости форели третьей генерации

В сентябре 2016 г. было отмечено единичное созревание самцов форели в возрасте 19-20 мес. Их средняя масса тела составила 1587,3 г (рисунок 27).

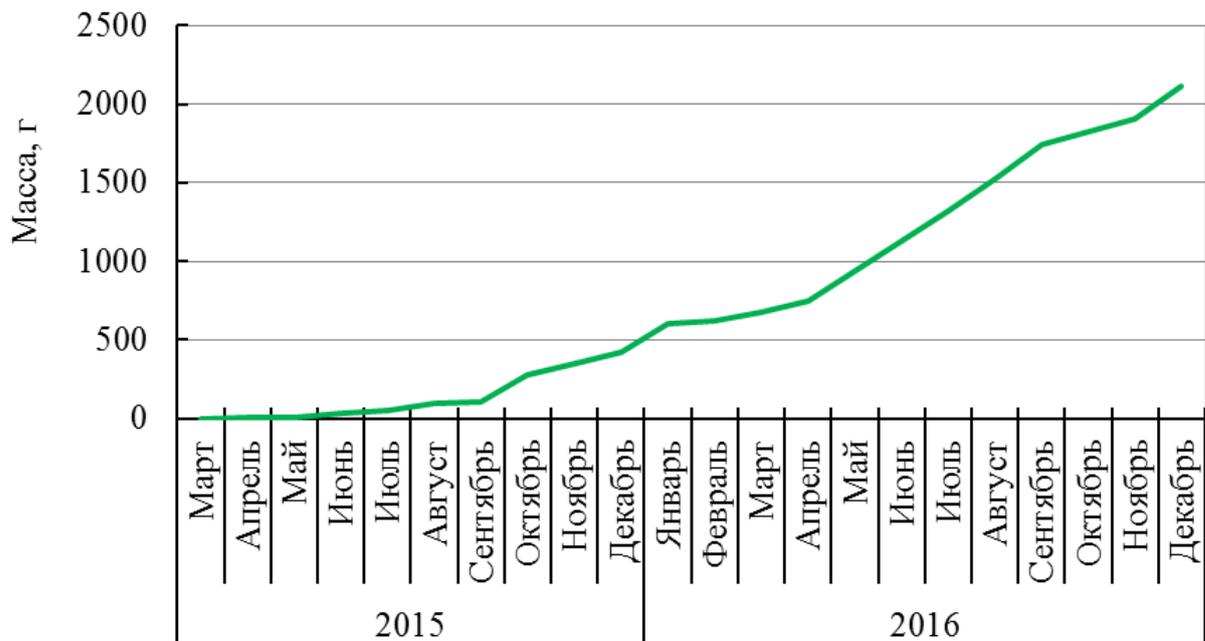


Рисунок 27 – Изменение массы тела производителей форели (третья генерация)

Средняя масса самок в сентябре 2016 г. составила 1986,5 г, в декабре – 2540,5 г. Средняя масса самцов в декабре составила 1679,5 г. Важным представляется, что завершающий этап созревания рыб проходил на фоне заметного увеличения массы самцов и самок, а также их созреванием в декабре. Целесообразно отметить, что в отличие от предыдущих генераций спермация у самцов и овулирование икры у самок проявились на фоне снижения температуры воды в диапазоне 18 – 12 °С.

При оценке скорости роста производителей форели по величине коэффициента массонакопления (K_m) установлено, что в первый год выращивания была достаточно высокой (0,08) (рисунок 28).

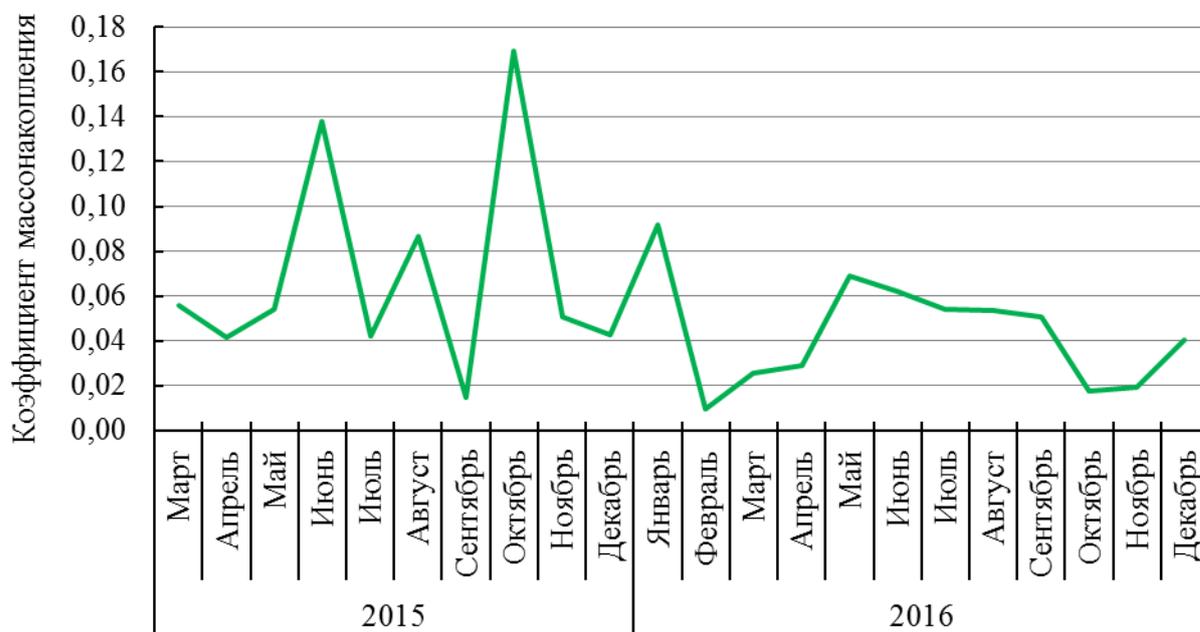


Рисунок 28 – Изменение коэффициента массонакопления при выращивании в УЗВ третьей генерации форели

Отмечены два пика увеличения K_m в возрасте сеголетков ($K_m = 0,14$ в июне и $K_m = 0,17$ в октябре 2015 г.).

В 2016 г. скорость роста форели существенно снизилась (K_m сред. = 0,055), что можно связать с возрастанием в структуре общего обмена доли генеративного. В тоже время, величину скорости роста в этот период выращивания данной возрастной группы форели следует признать соответствующей высокому уровню разрешения, поскольку средняя масса рыб возросла более чем в 5 раз (с 420 до 2110 г).

Более высокой скорости роста ремонта и производителей форели третьей генерации способствовали более благоприятный температурный режим (рисунок 20) и адаптация в поколениях к специфическим условиям УЗВ.

Жизнестойкость форели третьей генерации, фиксируемая в период от середины августа 2015 г. (соответствует наступлению возраста сеголетков) была высокой и составила 100 %.

Оценивая влияние абиотических и биотических (плотность посадки) факторов на скорость роста и жизнестойкость, следует отметить, что у форели первой генерации картина в изменении скорости роста была близкой к отмечаемой в «маточном» водоеме с естественной термикой воды. У рыб второй и третьей генерации она, в большей степени, соответствовала специфическим условиям УЗВ. В каждой последующей генерации средняя скорость роста увеличивалась, что можно рассматривать с позиции совершенствования адаптационной системы. Специфические условия УЗВ, в частности, имитация «зимовки» при высокой температуре воды у форели второй генерации в конце первого года выращивания способствовали созреванию части производителей в возрасте 14 мес. Повторное созревание производителей проходило в те же сроки, что у впервые созревших рыб. В ходе адаптации к условиям УЗВ у форели третьей генерации установлен измененный механизм созревания, отличный от рыб первой и второй генерации. Спермация у самцов и овулирование икры у самок проходила на фоне снижения температуры воды, что более характерно для осенне-нерестующих рыб [87].

3.3 Эффективность кормления ремонтного поголовья и производителей радужной форели

3.3.1 Эффективность кормления форели первой генерации

На первом этапе выращивания ремонта средние значения кормового коэффициента оказались низкими (рисунок 29), что может говорить о правильности выбранного метода кормления. При видимом отличии в величине кормового коэффициента при различных плотностях посадки достоверно оно не подтвердилось. Выбранный диапазон значений суточной дозы корма соответствовал высокой эффективности усвоения питательных веществ искусственного корма.

Высокая эффективность конвертации пищи на прирост массы рыб объясняет обоснованность выбора рецептов искусственного корма (Aller Futura, Aller Bronze) и соответствие условий выращивания биологическим требованиям рыб.

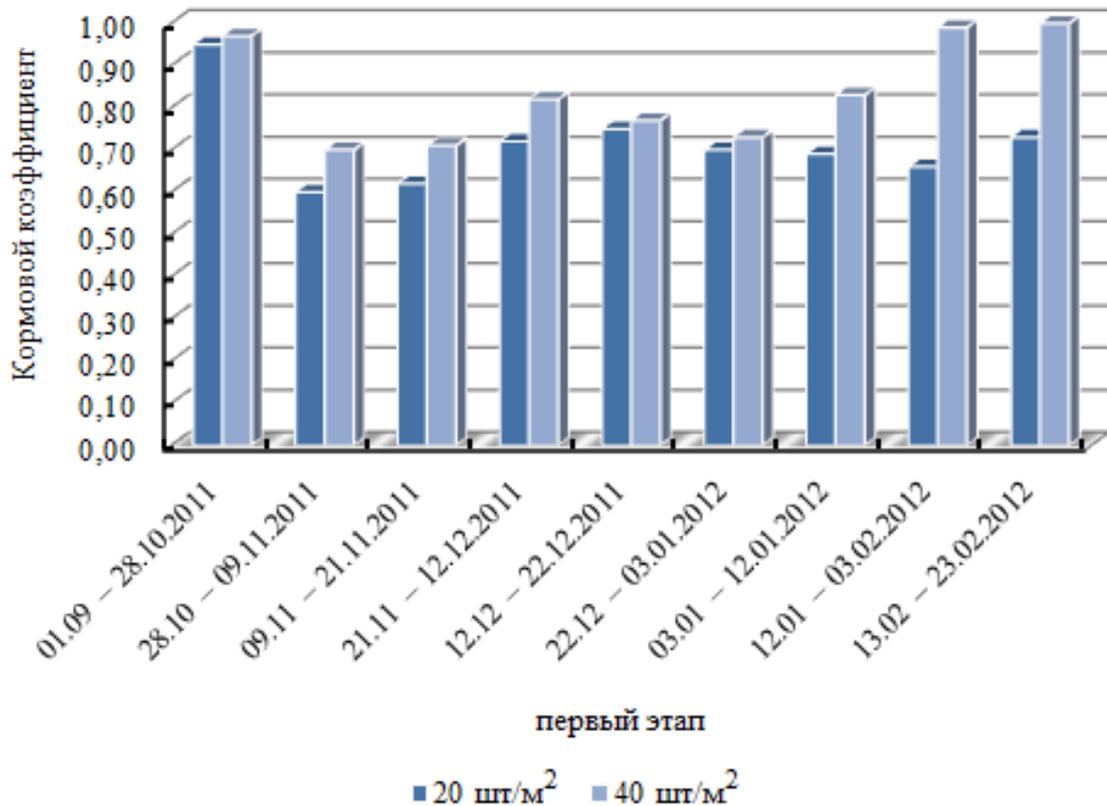


Рисунок 29 – Значение кормового коэффициента на первом этапе исследований

Более высокие его значения в первый месяц выращивания форели можно связать с адаптацией рыб к условиям УЗВ, достаточно высокой температурой воды и запуском в «рабочий» режим биофильтра. Самые низкие значения (0,6 – 0,7), вероятно, связаны с более оптимальной температурой воды и возможно срабатыванием эффекта «компенсационного роста» [43]. Указанные значения кормового коэффициента близки к теоретически рассчитанным минимальным значениям показателя при усвоении питательных веществ концентрированных кормов [175].

Влияние плотности посадки на величину кормового коэффициента в данном опыте не установлено. Следует признать, что средняя величина кормового коэффициента на данном этапе, в целом, соответствовала высокому уровню раскрытия ростовой потенции у рыб и эффективному усвоению питательных веществ корма.

Данные облова форели в феврале-марте 2012 г. позволили зафиксировать появление вторичных половых признаков у самцов и отставание в росте от самок. Что подтверждает, что в общем обмене у рыб произошла перестройка и стала возрастать доля генеративного обмена. Результатом этого явилось увеличение величины кормового коэффициента на втором этапе исследований. Наибольшие значения показателя были отмечены в ноябре-декабре 2012 г. при снижении температуры воды ниже 14 °С. Это подтверждается появлением «текучих» самцов в третьей декаде января и самок в первой декаде февраля 2013 г.

На этапе выращивания старшевозрастной группы ремонта (масса более 600 г) и производителей применение специальной рецептуры корма (Aller Sturgeon Rep.) показало высокую ее эффективность (рисунок 30).

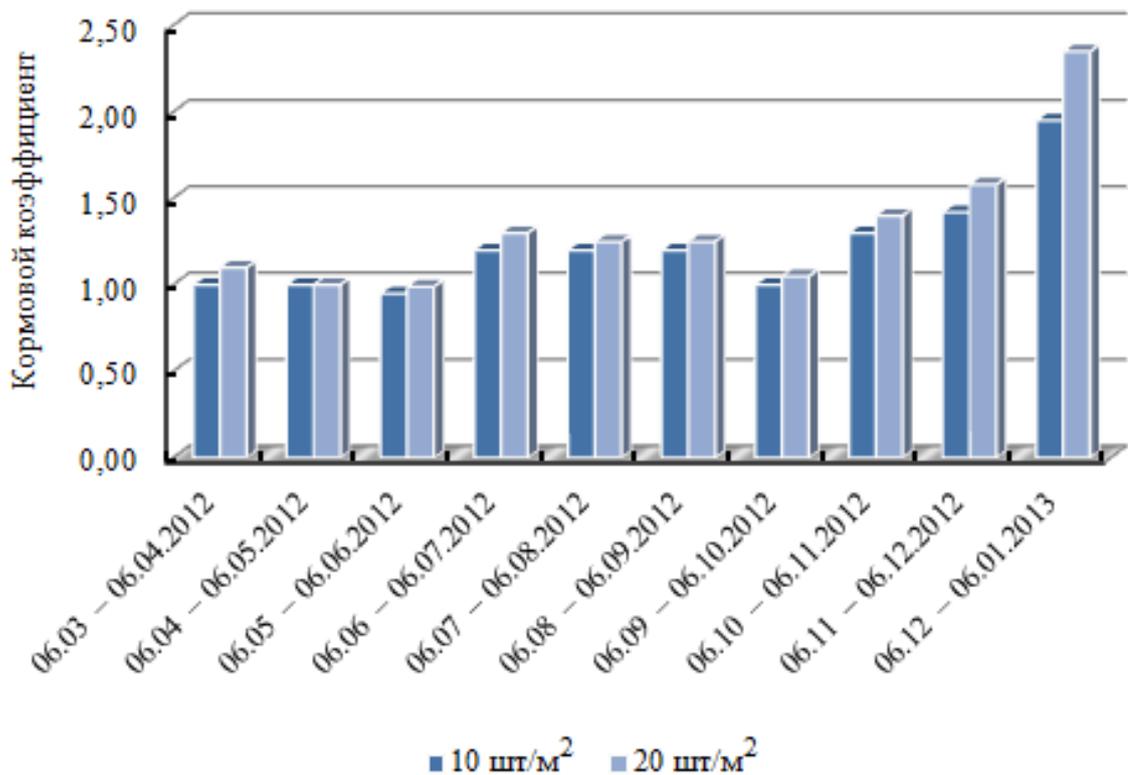


Рисунок 30 – Значение кормового коэффициента на втором этапе исследований при формировании первой генерации ремонтно-маточного стада форели

В обоих вариантах плотности посадки средние значения кормового коэффициента оказались также близкими, как и на первом этапе. Более высокие значения кормового коэффициента, особенно на завершающем этапе созревания производи-

телей согласуется с тем, что значительная часть обменной энергии направляется на генеративный обмен, в ущерб пластическому [192].

Если судить по средней величине кормового коэффициента на втором этапе исследований, то его значения оказались ниже рекомендуемых для различных рецептур гранулированных кормов для производителей [23, 74]. Что подтверждает закономерную связь высокой скорости роста старше возрастных групп ремонта и производителей (средняя масса в возрасте 21 месяца 1270 – 1378 г) с количественным и качественным составом питательных веществ апробированной рецептуры корма для ремонта и производителей.

Таким образом, результаты наших исследований позволили установить перспективность и целесообразность применения стартовой (Aller Futura), продукционной рецептуры (Aller Bronze) и корма для производителей (Aller Sturgeon Rep Ex) при выращивании младших и старших возрастных групп ремонта и производителей в период, предшествующий получению зрелых половых продуктов/

3.3.2 Эффективность кормления форели второй генерации

Обсуждение данных по величине кормового коэффициента основано на оценке условий выращивания, скорости роста, жизнестойкости, сроков созревания форели в УЗВ. Но проявлению отмеченных параметров соответствовала определенная величина суточной дозы корма. Если при выращивании первой генерации форели были апробированы рекомендуемые производителем кормов суточные дозы [208], то при выращивании форели второй генерации величина суточной дозы корректировалась в течение всего периода с учетом скорости роста рыб, величины кормового коэффициента.

Как следует из данных об изменении суточной дозы корма (рисунок 31), максимальное ее значение (4,6 %) было зафиксировано на этапе выращивания мальков. Далее была отмечена стабильная динамика снижения величины показателя. К декабрю 2013 г. величина суточной дозы снизилась до 1,1 % от массы тела. В дальнейшем в июне – сентябре 2014 г. она оставалась стабильной (0,5 %), а в период активного трофоплазматического роста половых клеток (октябре – декабре) была увеличена до 1 %. В январе – марте 2015 г. в период «искусственной зимовки» постепенно снижалась от 0,5 до 0,3 %. Установленная закономерность согласуется со

стремлением данного показателя к снижению с увеличением возраста и размера рыб [24, 191, 203]. В нашем случае подтверждалось изменением физиологического состояния рыб.

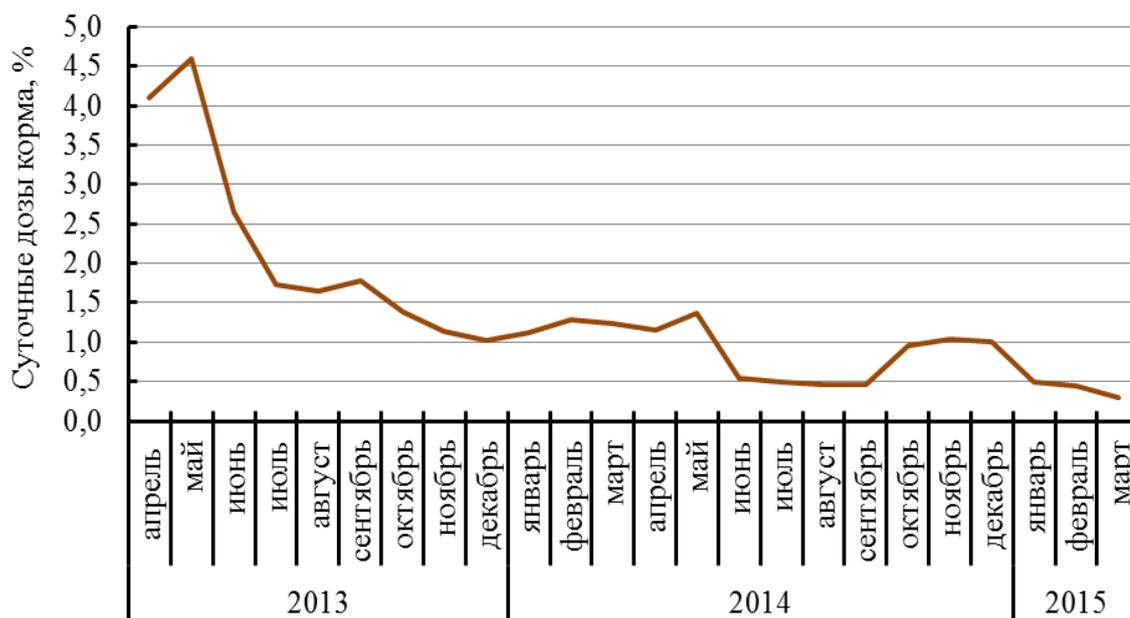


Рисунок 31 – Изменение суточных доз корма при выращивании форели второй генерации

Обоснованность корректировки суточной дозы корма подтверждается данными о величине и изменении кормового коэффициента (рисунок 32).

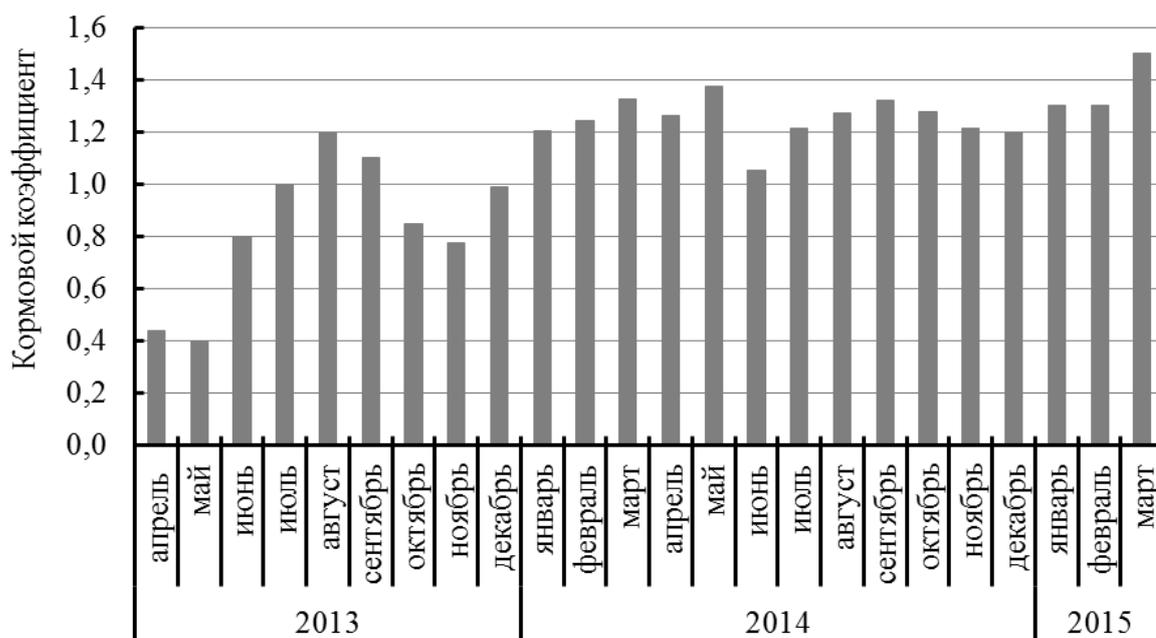


Рисунок 32 – Изменение кормового коэффициента при выращивании форели второй генерации

Низким значениям показателя на этапе выращивания мальков форели в апреле – мае ($K_k = 0,4 - 0,42$) соответствовали оптимальная температура воды ($15 - 18 \text{ }^\circ\text{C}$), содержание растворенного в воде кислорода ($7,5 - 8,0 \text{ мг/л}$), качественный состав стартовой рецептуры корма (Aller Futura). Высокая температура воды в июне – октябре 2013 г. (выше $20 \text{ }^\circ\text{C}$) способствовала снижению эффективности конвертации пищи, что согласуется с установленным снижением активности пищеварительных ферментов у рыб за пределами температурного оптимума [21, 159, 166]. Тем не менее, значения показателя были достаточно низкими ($0,8 - 1,2$). Снижение температуры воды в ноябре – декабре 2013 г. ($18 - 20 \text{ }^\circ\text{C}$) способствовало снижению величины показателя до $0,75 - 1$.

Зимний и весенний периоды выращивания при температуре воды $17 - 19 \text{ }^\circ\text{C}$ были благоприятными для раскрытия ростовой потенции у форели. Но, учитывая то, что у части рыб было отмечено созревание половых продуктов, завершившееся овуляцией икры у части самок и спермацией у части самцов в мае, то величина кормового коэффициента во всех группах выращиваемых рыб закономерно повысилась до $1,2 - 1,35$. Далее, за исключением июня ($K_k = 1,03$) величина кормового коэффициента стабилизировалась на таком уровне значений, в том числе в период «искусственной зимовки», что может служить подтверждением сбалансированности пластической и генеративной составляющих общего обмена.

Если сопоставить полученные данные с результатами предыдущей генерации форели, то можно отметить, во-первых, решающее влияние высокой температуры воды ($20 - 22 \text{ }^\circ\text{C}$) на увеличение кормового коэффициента при выращивании мальков – сеголетков; во-вторых, некоторое снижение величины кормового коэффициента при выращивании рыб более старшего возраста.

3.3.3 Эффективность кормления форели третьей генерации

Ранее было отмечено, что условия выращивания форели третьей генерации были более благоприятными по температурному режиму, чем при выращивании второй. Температура воды в период нагула не превышала $19 \text{ }^\circ\text{C}$. Наибольшая величина суточной дозы была установлена в начальный период выращивания мальков ($4,4 \%$). Далее преобладала тенденция снижения величины показателя с увеличени-

ем размера и возраста форели (рисунок 33). Минимальная величина суточной дозы была отмечена в декабре при массовом созревании производителей (0,3 %).

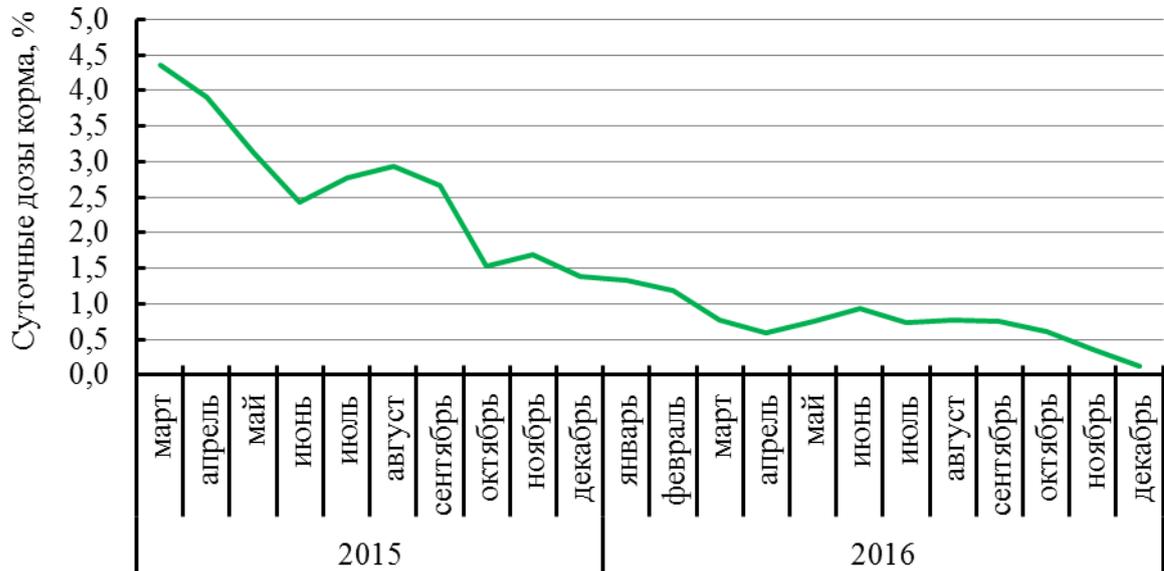


Рисунок 33 – Изменение суточных доз корма при выращивании форели третьей генерации

При сопоставлении данных по изменению величины суточной дозы корма при выращивании форели второй и третьей генерации обращает внимание более высокие ее значения у мальков – сеголетков второй в июне – сентябре при высокой температуре воды. Причина этого видится в распределении обменной энергии в пользу функционального, что характерно для рыб, обитающих в неблагоприятных для роста условиях. В остальное время значения показателя при выращивании форели второй и третьей генерации были близкими, что говорит в пользу выбранного подхода в корректировке суточных доз корма.

Данное заключение согласуется с эффективностью конвертации пищи на прирост массы форели (рисунок 34). В условиях более высокой температуры воды в начальный период выращивания мальков в марте – апреле (17 – 18,5 °С) величина кормового коэффициента была выше ($K_k = 0,6 - 0,88$), чем при температуре воды 13 – 17 °С ($K_k = 0,4 - 0,5$) в сравнимый период выращивания молоди второй генерации форели. В дальнейшем при выращивании мальков – сеголетков форели третьей генерации величина кормового коэффициента была в условиях благоприятной

температуры воды низкой ($K_k = 0,72 - 0,9$), что является подтверждением высокой эффективности кормления, согласующейся с интенсивным ростом рыб. Более эффективным кормление было в последующий период выращивания, когда величина кормового коэффициента не превышала 1,35.

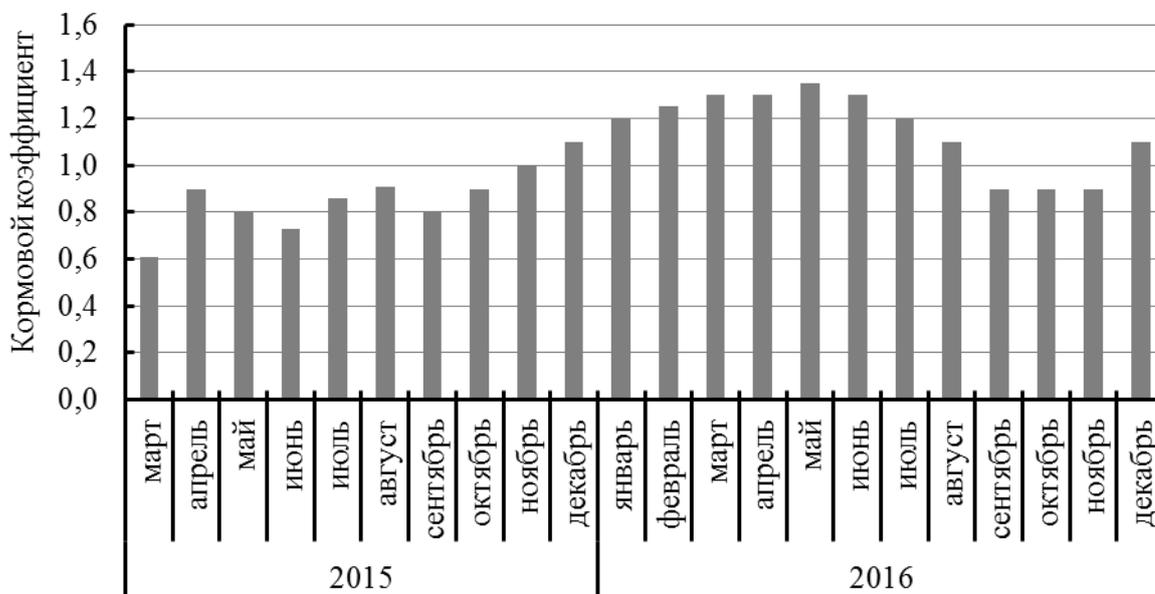


Рисунок 34 – Изменение кормового коэффициента при выращивании форели третьей генерации

А на этапе интенсивного трофоплазматического роста половых клеток, сопровождающегося значительным приростом массы производителей, снизилась до 0,9, несколько повысившись ($K_k = 1,1$) в декабре, когда отмечали массовое созревание самок и самцов.

На основании полученных результатов можно рекомендовать нормативные показатели, регламентирующие применение суточных доз стартовых, продукционных кормов и кормов для производителей при полноциклическом выращивании ремонтно-маточного стада форели в условиях УЗВ (см. 4, таблица 23).

3.4 Размерно-возрастная характеристика производителей радужной форели разных генераций

Первая генерация. При исследовании форели первой генерации в январе 2013 г. был определен размерно-половой состав маточного стада. Как видно из

данных таблицы 9, самки оказались крупнее самцов: в размерных группах рыб с массой более 1500 г присутствовали только самки (рисунок 35). Большая часть самцов имела массу от 1000 до 1300 г. Самок от 1300 до 1500 г [193]. Полученные данные о расхождении в скорости роста самцов и самок в УЗВ после начала созревания согласуются с установленными для различных типов форелевых хозяйств. Также как и то, что самцы созревают раньше самок.

Таблица 9 – Размерный и половой состав маточного стада первой генерации [193]

Размерные группы (диапазон индивидуальных масс, г)	Самки		Самцы	
	шт.	% от общего количества	шт.	% от общего количества
до 1000 г	1	3,3	12	19,4
1001 – 1100 г	5	16,8	20	32,3
1101 – 1300 г	4	13,3	25	40,3
1301 – 1500 г	15	50,0	5	8,0
1501 – 1700 г	3	10,0	-	-
1701 – 1900 г	1	3,3	-	-
1901 – 2100 г	1	3,3	-	-
Соотношение самок к самцам 1 : 2,07				

Возраст производителей на момент взятия половых продуктов составил 22 – 24 мес.



Рисунок 35 – Самка и самец форели первой генерации [192]

Вторая генерация. К началу проведения второй «искусственной зимовки» в декабре 2014 г. самки уже имели среднюю массу тела 1964,5 г, самцы – 1824,3 г [109]. После этапа проведения «искусственной зимовки» производители достигли средней массы 2192,1 г и 1968,4 г, соответственно (таблица 10).

Таблица 10 – Размерный и половой состав маточного стада второй генерации

Размерные группы (диапазон индивидуальных масс, г)	Самки		Самцы	
	шт.	% от общего количества	шт.	% от общего количества
1301 – 1500	-	-	3	7,3
1501 – 1700	2	5,6	8	19,5
1701 – 1900	8	22,2	14	34,1
1901 – 2100	16	44,4	10	24,4
2101 – 2300	7	19,4	4	9,8
2301 - 2500	3	8,3	2	4,9
Соотношение самок к самцам 1 : 1,14				

В маточном стаде второй генерации основную часть составляли самки массой от 1700 до 2300 г (рисунок 36), самцы – от 1700 до 2100 г. Возраст производителей на момент взятия половых продуктов составил 22 – 24 мес.



Рисунок 36 – Производители радужной форели второй генерации

Третья генерация. Средняя масса самок в сентябре 2016 г. составила 1986,5 г, в декабре – 2540,5 г (рисунок 37). Средняя масса самцов в декабре того же года составила 1679,5 г. Самки как и в предыдущих генерациях оказались крупнее самцов (таблица 11). Большая часть самцов имела массу от 1500 до 1700 г, самок от 2501 до 2700 г.

Важным представляется, что завершающий этап созревания рыб проходил на фоне снижения температуры в октябре – декабре и заметном увеличении массы тела самцов и самок ко времени созревания у них половых продуктов.

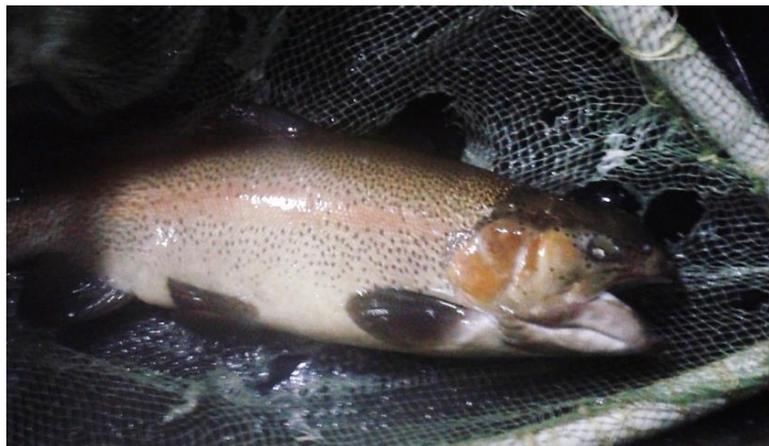


Рисунок 37 – Самец радужной форели третьей генерации

Таблица 11 – Размерный и половой состав маточного стада форели третьей генерации

Размерные группы (диапазон индивидуальных масс, г)	Самки		Самцы	
	шт.	% от общего количества	шт.	% от общего количества
1301 – 1500	-	-	3	10,0
1501 – 1700	-	-	12	40,0
1701 – 1900	4	12,5	9	30,0
1901 – 2100	2	6,3	4	13,3
2101 – 2300	2	6,3	2	6,7
2301 – 2500	2	6,3	-	-
2501 – 2700	12	37,5	-	-
2701 - 3000	10	31,3	-	-
Соотношение самок к самцам 1 : 1,06				

На момент массового созревания возраст производителей составил 21 мес.

3.5 Качество половых продуктов производителей радужной форели разных генераций

Первая генерация. Первые текущие самцы форели были обнаружены в конце второй декады декабря 2012 г [109]. В январе 2013 г. все самцы были текущие. Первые самки созрели во второй декаде февраля 2013 г. Хронология созревания самок отражена в таблице 12.

Основная масса самок созрела в III декаде февраля – I декаде марта при температуре воды около 7 °С, что на 1,5 – 2 °С выше минимальной зафиксированной во второй половине января – первой половине февраля 2013 г. [193].

Таблица 12 – Хронология созревания самок форели первой генерации [193]

Месяц, год, декада месяца	Количество созревших самок, свободно отдающих овулировавшую икру, шт
Февраль 2013 г.	
II	3
III	12
Март 2013 г.	
I	13
II	2

Оценку производителей форели по качеству половых продуктов проводили: для самцов – по объему эякулята и времени подвижности сперматозоидов; для самок – по рабочей плодовитости, диаметру и цвету икринок.

Данные таблицы 13 позволили оценить качество икры у самок форели по этим показателям.

Таблица 13 – Качество половых продуктов производителей форели первой генерации

Размерные группы (диапазон индивидуальной массы, г)	Самки			Самцы	
	рабочая плодовитость, тыс. шт.	относительная рабочая плодовитость, тыс. шт./кг	диаметр набухших икринок, мм	объем эякулята, мл	время подвижности сперматозоидов, с
до 1000	0,95	1,06	4,1	8,6	36,8
1001 – 1100	1,23	1,15	4,1	9,7	45,0
1101 – 1300	1,55	1,24	4,2	9,4	54,5
1301 – 1500	2,10	1,50	4,4	8,9	46,3
1501 – 1700	2,75	1,75	4,4	-	-
1701 – 1900	2,97	1,54	4,5	-	-
1901 – 2100	3,20	1,60	4,3	-	-
♀ 1379,10±45,39	2,107±0,34	1,405±0,10	4,28±0,06	-	-
♂ 1104,52±22,39	-	-	-	9,17±0,65	45,60±2,07

Обращает внимание то, что относительная рабочая плодовитость у самок массой менее 1300 г оказалась достаточно низкая. А у самок массой более 1300 г соответствовала известным данным по плодовитости радужной форели в разно-

типных форелевых хозяйствах и разным размерно-возрастным группам и породам форели [31, 104, 120].

Диаметр икринок у самок из всех размерных групп соответствовал критериям качества икринок у впервые созревающих производителей.

Несмотря на крупные для впервые созревающих производителей размеры самок, диаметр икринок у них соответствовал известным данным, характеризующим самок форели того же цикла созревания в бассейновых, садковых и прудовых хозяйствах [87, 92, 120, 174, 178, 180].

Самые малые объемы эякулята и время подвижности сперматозоидов был у самцов массой менее 1100 г. У самцов массой более 1100 г перечисленные показатели соответствовали литературным данным: 9,17 мл и 45,6 с, соответственно.

Вторая генерация. Как было сказано ранее (глава 3.1.2), в результате установления специфического температурного режима в УЗВ и отказа от первой «искусственной зимовки», в декабре 2013 г. – январе 2014 г., в составе маточного стада оказались рыбы с несинхронно развивающимися половыми продуктами. В результате в мае 2014 г. созрели в первый раз 30 % самцов и 10 % самок в возрасте 14 месяцев [98]. Температура воды в этот период составляла 18,5 °С.

После проведения «искусственной зимовки» (с декабря 2014 г. по февраль 2015 г.) созрела основная группа (90 %) рыб – это впервые созревшие самки в возрасте 22-24 месяцев. Вторую группу (10 %) составляли повторно созревшие самки в возрасте 24-25 месяцев (таблица 14).

Таблица 14 – Распределение самок маточного стада форели второй генерации по сроку созревания на втором этапе его формирования

Группа производителей	Месяцы	Декады	Количество набранных градусо-дней	Общее количество периодов «искусственной зимовки»	Количество созревших самок, свободно отдающих овулировавшую икру, шт.
Впервые созревающие (22-24 мес)	январь	III	8700	1	8
	февраль	I			14
	март	II			10
Повторно созревающие (24-25 мес)	апрель	I	3400	1	4

Рабочая плодовитость самок в среднем составила 2310 шт. икринок, относительная рабочая плодовитость 1000 – 1250 шт./кг. Средний диаметр набухших икринок, у впервые нерестящихся самок составил 4,38 мм [98], у повторно созревающих – 4,18 мм оранжевого цвета средней яркости (таблица 15).

У самцов объем эякулята составлял 6,1 – 13,0 мл, время подвижности сперматозоидов 42 – 46 с.

Таблица 15 – Качество половых продуктов производителей форели второй генерации [98]

Размерные группы (диапазон индивидуальной массы, г)	Самки			Самцы	
	рабочая плодовитость, тыс. шт.	относительная рабочая плодовитость, тыс. шт./кг	диаметр набухших икринок, мм	объем эякулята, мл	время подвижности сперматозоидов, с
Впервые созревающие (22-24 мес)					
1301 – 1500	-	-	-	6,1	38
1501 – 1700	1,61	0,99	4,2	7,5	49
1701 – 1900	1,73	0,93	4,3	13	54
1901 – 2100	2,54	1,25	4,4	6,5	34
2101 – 2300	2,75	1,24	4,5	12,1	52
2301 – 2500	2,91	1,19	4,5	10,6	49
♀ 2192,1±104,1	2,31±0,27	1,12±0,07	4,38±0,05	-	-
♂ 1968,4±105,5	-	-	-	9,3±1,2	46,0±3,3
Повторно созревающие (24-25 мес)					
2301 – 2500	2,08	0,86	4,1	9,0	37
2501 – 2700	2,81	1,08	4,3	11,8	49
♀ 2574,4±25,0	2,45±0,23	0,97±0,07	4,20±0,04	-	-
♂ 2348,6±154,1	-	-	-	10,4±0,9	42,5±3,6

Следует обратить внимание на снижение величины рабочей плодовитости до нижней границы нормативных значений для хозяйств с естественной термикой [178]. Причина этого видится в специфических условиях содержания произво-

лей форели в УЗВ.

Третья генерация. Как было сказано ранее, спермацию у самцов третьей генерации стали отмечать единично в сентябре 2016 г. (таблица 16, рисунок 38) в возрасте 19 мес, массового – вместе самками. Самки синхронно созрели в декабре 2016 г. в возрасте 21 мес (рисунок 39).

Таблица 16 – Распределение маточного стада форели третьей генерации

Группа производителей	Месяц, год	Декады	Количество набранных градусо-дней	Общее количество периодов «искусственной зимовки»	Количество созревших производителей, шт.
Самцы	сентябрь 2016 г.	III	9010	1	Единично 8
	декабрь 2016 г.	I-III	10201	1,5	22
Самки (впервые созревающие)	декабрь 2016 г.	I	10201	1,5	5
		II			9
		III			16

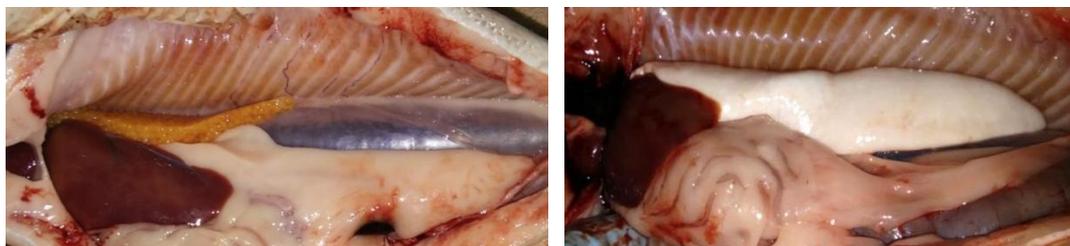


Рисунок 38 – Самка и самец форели третьей генерации (сентябрь 2016 г.)



Рисунок 39 – Самец и самка форели третьей генерации (декабрь 2016 г.)

Относительная рабочая плодовитость в среднем составила 1200 – 1600 шт/кг массы самок, средний диаметр набухших икринок у самок составил 4,4 мм, желтовато-оранжевого цвета (таблица 17). Процент оплодотворения икры у самок составил 98 %. У самцов объем эякулята составил от 6,8 до 17,9 мл, время подвижности сперматозоидов в среднем было 49,3 с.

Таблица 17 – Качество половых продуктов производителей форели третьей генерации

Размерные группы (диапазон индивидуальной массы, г)	Самки			Самцы	
	рабочая плодовитость, тыс. шт.	относительная рабочая плодовитость, тыс. шт./кг	диаметр набухших икринок, мм	объем эякулята, мл	время подвижности сперматозоидов, с
1301 – 1500	-	-	-	6,8	51
1501 – 1700	-	-	-	11,2	47
1701 – 1900	2,94	1,60	4,4	17,9	56
1901 – 2100	3,15	1,53	4,4	12,3	47
2101 – 2300	3,24	1,47	4,5	10,7	52
2301 – 2500	3,31	1,37	4,5	9,8	43
2501 – 2700	3,48	1,32	4,4	-	-
2701 - 3000	3,52	1,24	4,3	-	-
♀ 2540,5±86,8	3,27±0,09	1,42±0,06	4,4±0,03	-	-
♂ 1679,5±86,31				11,5±1,6	49,3±2,0

Сравнительный анализ репродуктивных показателей производителей трех генераций представлен в таблице 18.

Таблица 18 – Сравнительный анализ репродуктивных особенностей производителей форели

Показатели	Первая генерация	Вторая генерация	Третья генерация
Возраст наступления полового созревания, мес	22-24	22-24	19-21
Сроки нереста	февраль – март 2013 г.	январь – март 2015 г.	декабрь 2016 г.
Средняя масса самок, г	1379,1±45,4	2192,1±176,6	2540,5±86,8
Средняя масса самцов, г	1104,5±22,4	1968,4±140,1	1679,5±86,3
Рабочая плодовитость, шт	2107,1±337,0	2308,0±267,6	3273,3±88,0
Относительная рабочая плодовитость, шт/кг	1405,7±97,0	1121,1±67,3	1423,3±55,9

Окончание таблицы 18

Средний диаметр набухших икринок, мм	4,28±0,06	4,38±0,05	4,4±0,03
Процент оплодотворения икры, %	92	93 – 95	98
Средний объем эякулята, мл	9,17±0,65	9,33±1,22	11,5±1,6
Среднее время подвижности сперматозоидов, с	45,6±2,07	46,0±3,3	49,3±2,0
Количество накопленных граду-со-дней	8217	8700	10201

* первое созревание у 10 % самок и 30 % самцов было в возрасте 12-14 мес

3.6 Биотехнические особенности выращивания потомства радужной форели в УЗВ

3.6.1 Результаты инкубации икры

От производителей второй генерации в феврале 2015 г. были получены зрелые половые продукты. Осеменение икры проводили, придерживаясь общепринятой методики [52, 177], а также в присутствии настоев шиповника и бессмертника в концентрации 1 г сухого вещества на 50 мл воды (рисунок 40), оценивая их действие, направленное на повышение оплодотворяемости икры [95].



Рисунок 40 – Исследуемые оплодотворяющие растворы

Первая оценка процента оплодотворения икры, проведенная в первые двое суток после закладки икры на инкубацию (отбор побелевших икринок), показала стимулирующее действие оплодотворяющих растворов шиповника и бессмертника. Процент оплодотворения при их использовании составил 100 % против 98 % в контроле (вода).

Окончательная оценка, проведенная на стадии образования «краевого узелка», подтвердила стимулирующее действие настоя шиповника и бессмертника по срав-

нению с контролем: 92,2; 91,8 и 90,9 %, соответственно. Однако, эти различия можно признать несущественными, поскольку применение традиционных оплодотворяющих растворов, состав которых представлен набором солей, например, раствора Хамора, состоящего из хлористого кальция, мочевины, хлористого натрия, во-первых, целесообразно, если установлено исходное низкое качество икры и спермы, во-вторых, применение оплодотворяющих растворов при высоком качестве половых продуктов не дает сколь-нибудь значимого эффекта [52, 53, 178]. Именно, второе согласуется с нашими данными. В то же время, установленная величина процента оплодотворения (90,9 – 92,2 %) соответствует нормативному показателю, принятому для прудовых, бассейновых хозяйств (90 – 95 %), что подтверждает высокое качество половых продуктов, полученных от производителей форели, выращенных в УЗВ.

При этом следует отметить, что средняя температура воды при инкубации была 11,7 °С, а продолжительность 292 градусо-дня. Как известно, из практики форелеводства оптимальной для инкубации икры радужной форели является температура 6 – 10 °С, а продолжительность от 320 до 400 градусо-дней [52, 53, 133, 164, 180]. Поэтому следует признать, что инкубация икры проходила при температуре воды, соответствующей пограничному интервалу выше верхней границы оптимальной. В то же время зафиксировано в естественных условиях, апробировано в практике рыбоводства, когда икру форели инкубировали при температуре воды до 15 – 18 °С [119, 120, 165, 180]. Однако результаты инкубации икры при такой температуре уступают отмечаемым при рекомендуемой (6 – 10 °С). Однако, способность радужной форели созревать в диапазоне температуры воды 5 – 15 (18) °С, сохранение жизнестойкости у эмбрионов в период инкубации, говорит об адапционных возможностях вида. Выход предличинок с инкубации в варианте использования раствора трав при осеменении и в контроле составил, соответственно, 84,0 и 84,7 %. Согласно нормативных данных этот показатель не должен быть ниже 80 % [119, 164, 177]. Поэтому, следует отметить, что качество половых продуктов у производителей форели, содержащихся в УЗВ, было достаточно высоким, что проявилось в величине процента оплодотворения икры, выходе предличинок с инкубации и их средней массе, составившей $80,2 \pm 0,85$ мг.

3.6.2 Результаты выдерживания предличинок, выращивания личинок, мальков и сеголетков радужной форели

Относительный среднесуточный прирост массы предличинок составил 3,24 % при средней температуре 13 °С, которая, в соответствии с данными литературных источников [177, 189, 194], соответствует диапазону оптимальных значений (12 – 14 °С) и способствует более активному рассасыванию желточного мешка и формированию органов у предличинок форели. Отход за время выдерживания составил 3,1 %, что ниже нормативной величины (5 – 10 %), принятой для открытых рыбководных систем [119, 120, 164, 178].

Средняя температура воды в бассейнах во время подращивания и выращивания личинок поддерживалась на уровне 15,2 и 16,5 °С, соответственно (рисунок 41).

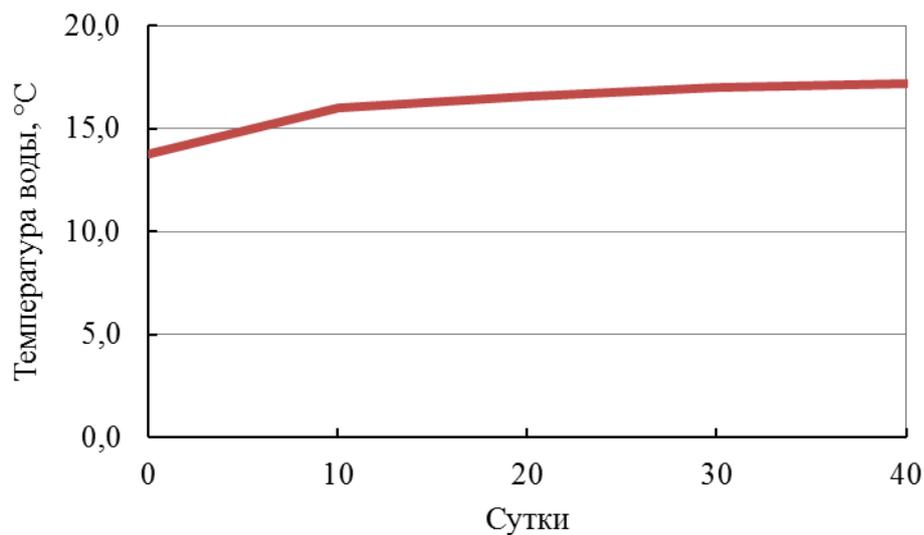


Рисунок 41 – Изменение температуры воды в период подращивания и выращивания личинок форели

Результаты контрольного взвешивания показали, что в условиях УЗВ личинки достигли средней массы 368 мг за 10 суток, чему соответствует относительно высокое значение среднесуточного прироста массы – 9,7 %. В садковом хозяйстве «Аквакультура» (п. Прибрежное) период подращивания личинок при температуре воды 9 – 10 °С составил 35 суток, а относительный среднесуточный прирост – 2,1 %. Выживаемость подрощенных личинок составила 93 %. В УЗВ она была несколько ниже (91,7 %). Ранее было отмечено, что выдерживание предличинок и

подращивание личинок при низкой температуре воды (9 – 12 °С) способствует более равномерному и качественному развитию органов, что в дальнейшем способствует реализации у молоди ростовой и адаптогенной потенции на более высоком уровне. Однако и в УЗВ выживаемость была соответствующей нормативной (90 %).

На этапе подращивания личинок средняя величина коэффициента массонакопления составила 0,024. Более продолжительным был период выращивания личинок до возраста мальков (30 сут), когда средняя масса последних составила 1,1 г. Из нормативных данных следует, что продолжительность выращивания личинок до массы 1 г составляет 30 сут [119, 120, 180, 207, 211]. Поэтому наши данные, в целом, соответствуют рекомендуемой продолжительности данного этапа выращивания молоди.

Оценивая скорость роста личинок (рисунок 42), следует отметить, что средняя величина коэффициента массонакопления (0,032) соответствует относительно низкому уровню раскрытия ростовой потенции, если придерживаться установленной градации: 0,07 – 0,09 – высокий, 0,04 – 0,6 – средний, менее 0,03 – низкий [158]. Причина этого видится в качественных преобразованиях в организме личинок и отвлечения на них значительной части энергии общего обмена.

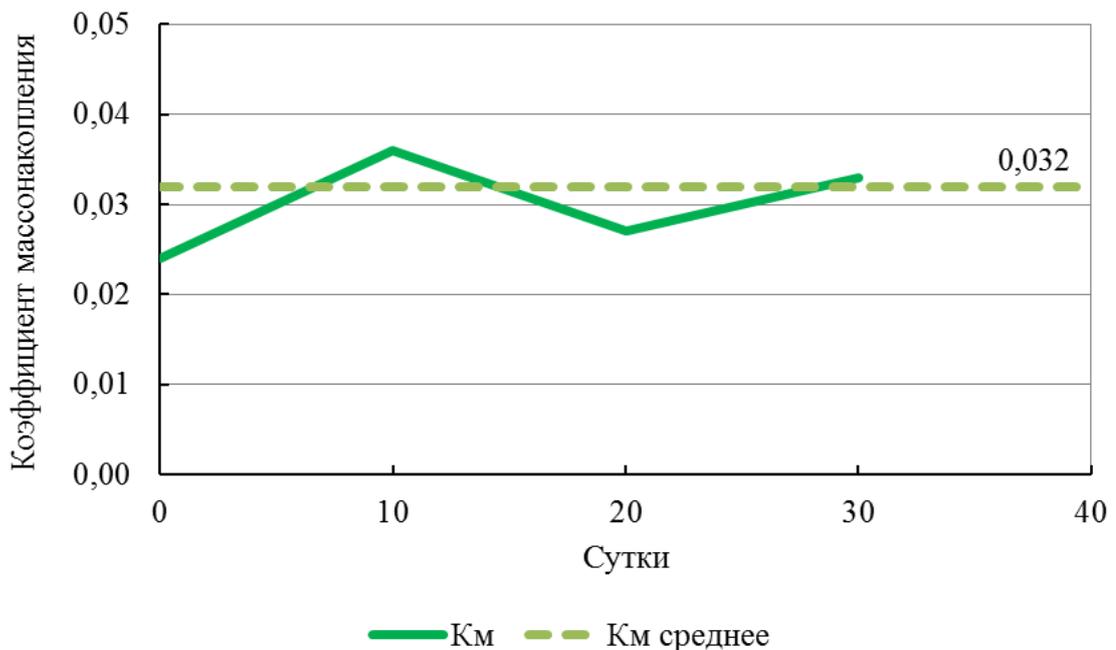


Рисунок 42 – Изменение коэффициента массонакопления в период выращивания личинок форели

В процессе качественных преобразований в организме личинок проявляются отклонения в развитии, что находит отражение в их выживаемости. Поэтому выживаемость личинок, составившая 87 %, очевидно связана с этим. Однако, она близка к нормативной величине (85 %), учитываемой при разведении радужной форели в открытых рыбоводных системах. Следует отметить, что принятая плотность посадки 3500 шт/м² и 3200 шт/м² на этапах подращивания и выращивания личинок была ниже максимальной величины, предлагаемой в нормативных источниках [132, 164, 177]. Однако уровень раскрытия ростовой и адаптогенной потенции оказался сопоставимым. Это позволяет признать, что определяющим развитие личинок на этих этапах являются не плотность посадки, а те качественные преобразования, которые происходят в организме. Проведенные исследования позволяют предложить биотехнические параметры рыбоводного процесса в период подращивания и выращивания личинок (таблица 19).

Таблица 19 – Биотехнические параметры процесса подращивания и выращивания личинок радужной форели в УЗВ

Показатели	Значения
<i>Подращивание личинок</i>	
Средняя масса начальная, г	0,128±0,024
Плотность посадки, шт/м ²	3500
Средняя масса конечная, г	0,368±0,059
Выживаемость, %	91,7
Коэффициент массонакопления	0,024
Относительный среднесуточный прирост массы, %	9,665
Рыбопродуктивность, кг/м ²	1,185
Период выращивания, сутки	10
Количество градусо-дней	152
<i>Выращивание личинок (до 1 г)</i>	
Средняя масса начальная, г	0,368±0,059
Плотность посадки, шт/м ²	3200
Средняя масса конечная, г	1,100±0,162
Выживаемость, %	87,0
Коэффициент массонакопления	0,032
Относительный среднесуточный прирост массы, %	3,285
Рыбопродуктивность, кг/м ²	3,142
Период выращивания, сутки	30
Количество градусо-дней	495

3.6.3 Выращивание посадочного материала радужной форели

Практика выращивания посадочного материала (сеголетки) радужной форели в открытых рыбоводных системах предусматривает плотность посадки 300 – 500 шт/м² в бассейны и садки молоди массой 1 г. При выживаемости 70 % количество сеголетков на 1 м² площади составляет 200 – 350 шт. При средней массе сеголетков 20 – 50 г величина рыбопродукции составляет около 10 кг/м² [49, 52, 164, 177, 195]. Поэтому в своих исследованиях исходили из целесообразности установления плотности посадки в бассейны УЗВ – 400 шт/м².

На протяжении периода выращивания температура воды с апреля по август постепенно увеличивалась с 16 до 18 °С, а затем в сентябре начала снижаться и к ноябрю понизилась до 16 °С (рисунок 43). Фиксируемый диапазон температуры воды следует признать соответствующим оптимальным условиям [120, 180].

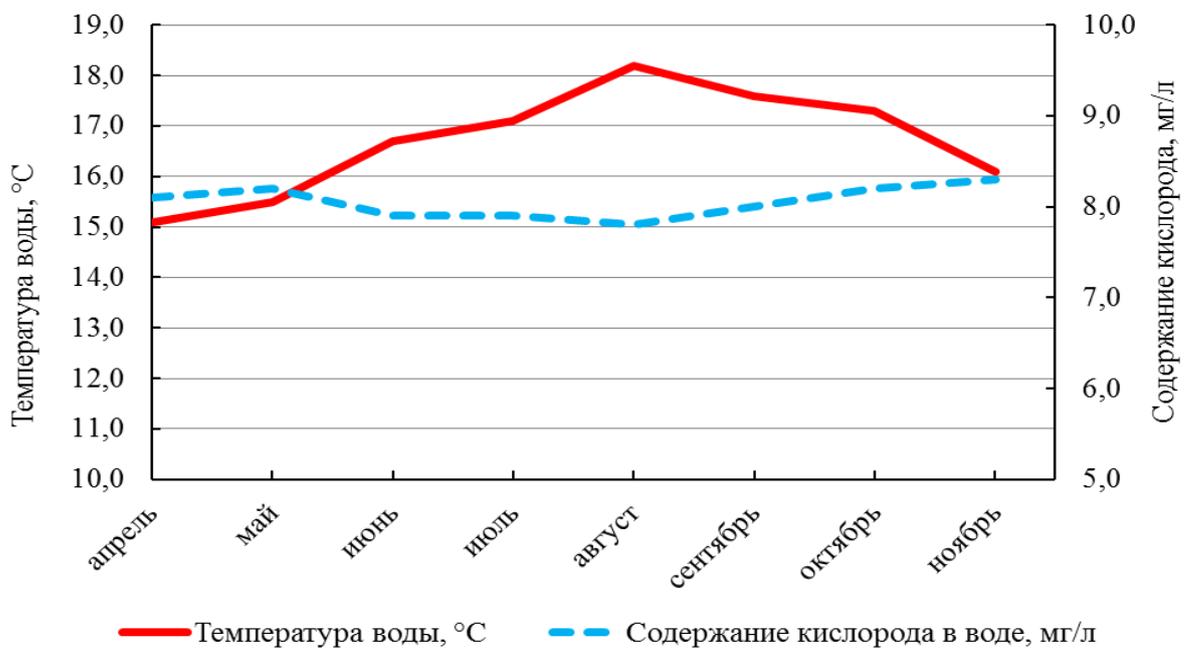


Рисунок 43 – Изменение температуры воды и содержания в ней растворенного кислорода в 2015 г.

Содержание кислорода в апреле – мае постепенно увеличивалось, что можно объяснить эффективным растворением кислорода в более холодной воде. Повышение температуры воды в июле – августе снизило растворимость кислорода, что проявилось в снижении его концентрации. В то же время, можно признать, что интенсивное нарастание биомассы рыб, увеличение концентраций продуктов метабо-

лизма рыб в воде, выходящей из бассейнов, в этот период, сопровождалось потреблением большого количества кислорода на процессы аммонификации и нитрификации.

В дальнейшем отмечали ту же динамику, что в апреле – мае и содержание кислорода достигло максимального значения (8,3 мг/л). Также важно заметить, что содержание кислорода всегда соответствовало 100 % насыщения и выше. Следовательно, содержание растворенного в воде кислорода оказывало благоприятное воздействие на рост рыбы и не ограничивало положительного влияния температуры воды [188].

Значение рН в УЗВ в течение всего времени соответствовали уровню оптимальных значений для УЗВ (диапазон 6,5-7,5). Во время летнего периода рН постепенно снижался с 6,9 до 6,5, что является подтверждением эффективной работы биофильтра. В нем преобладают процессы закисления среды, во всех остальных технических узлах УЗВ – защелачивания. Также большую часть времени концентрация азота нитритов в воде в УЗВ была ниже допустимых значений (0,2 мг/л) [175].

Следовательно, абиотические показатели УЗВ являлись благоприятными для выращивания молоди форели.

Основными факторами, влияющими на скорость роста сеголетков, являются температура, количество растворенного кислорода в воде, а также количество и качество кормов. Как показывают данные изменение массы рыб носило плавный характер (рисунок 44), что можно объяснить относительной стабильностью основных абиотических и биотических условий в УЗВ: небольшой амплитудой колебаний температуры и кислорода, плотности посадки, стабильности в потреблении корма.

Следует отметить, что заметных различий по массе в группах мелкой, средне-размерной и крупной форели в течение всего периода исследований не было. Это подтверждает ранее высказанное мнение о постоянстве условий выращивания и качественном кормлении. За семь месяцев выращивания прирост массы рыб во всех размерных группах был столь значительным, что сеголетки в группе крупной молоди достигли средней массы 315 г, а в группах мелкой и средней приблизились по массе к 300 г. Как известно масса товарной порционной форели (двухлетки) в открытых рыбоводных системах составляет 300 – 500 г [52, 53, 178, 180, 195].

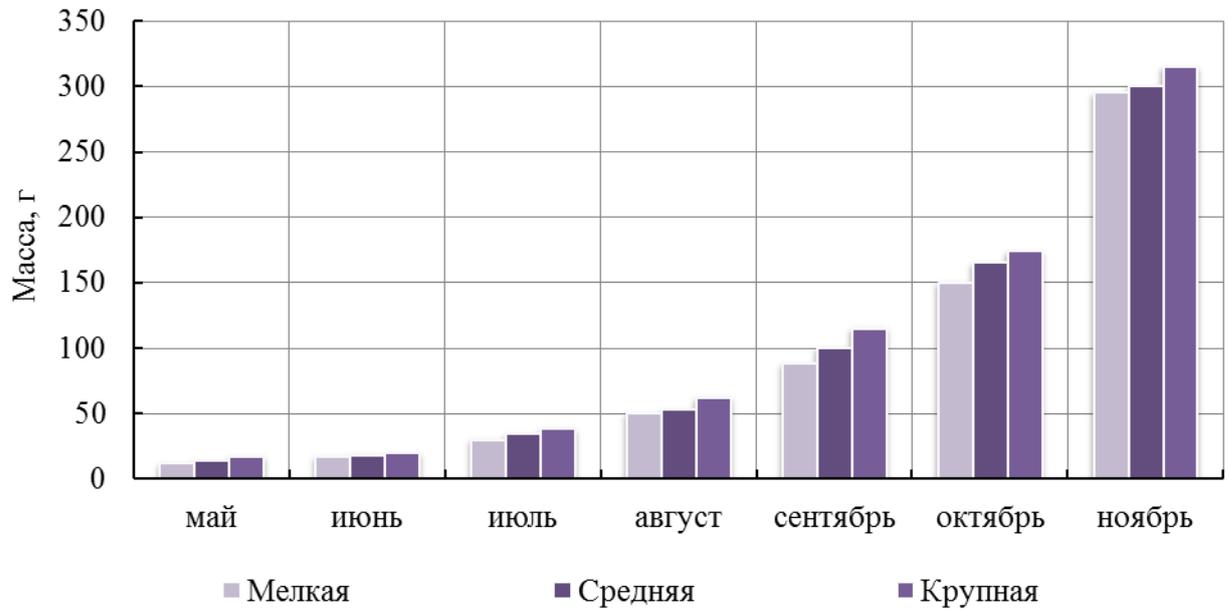


Рисунок 44 – Изменение массы тела молоди форели в УЗВ в 2015 г.

Это означает, что условия управляемого режима УЗВ позволили в пределах отмеченного периода достичь товарной массы, но в возрасте 8 мес.

Подтверждением вышесказанному служат данные о скорости роста сеголетков форели (рисунок 45).

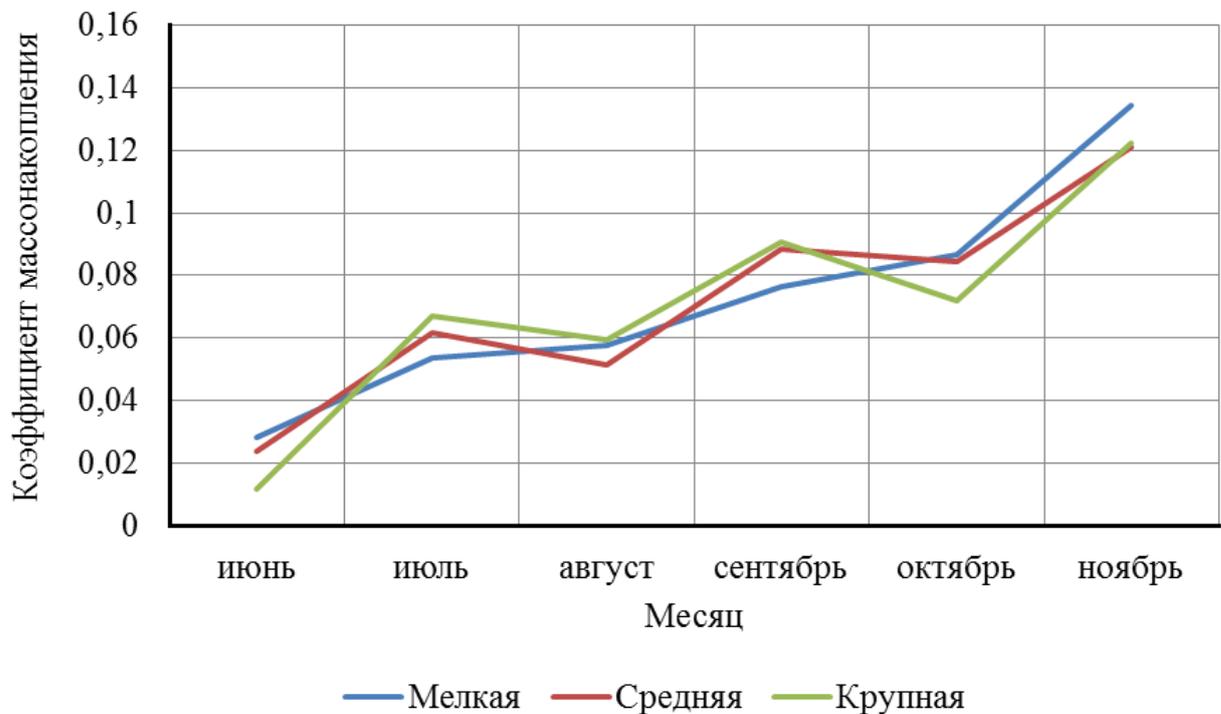


Рисунок 45 – Динамика коэффициента массонакопления молоди форели в УЗВ

Обращает внимание однонаправленность в изменении показателя скорости роста (K_m) в трех размерных группах в течение всего периода выращивания. Некоторое отставание в скорости роста крупной группы форели в первый месяц было компенсировано в последующие. Однако в октябре скорость роста в этой группе рыб снизилась, аналогично изменилась скорость роста форели в средней и мелкой группах рыб. В отдельные месяцы одна группа рыб росла интенсивней, в другие скорость роста снижалась. Но в целом, если дать общую оценку скорости роста рыб в трех группах за весь период, то среднепериодный K_m в крупной группе рыб составил 0,075, в средней группе – 0,07, в мелкой группе – 0,068. С учетом ранее данной классификации скорость роста посадочного материала можно признать высокой [102].

С учетом того, что генетический коэффициент роста (K_g) радужной форели составляет 0,078 [195], то следует воспользоваться базовой формулой [130]:

$$K_m = K_g \times K_{\varepsilon} \quad (7)$$

где K_m – коэффициент массонакопления; K_g – генетический коэффициент роста; K_{ε} – экологический коэффициент роста.

Подставив установленные значения K_m , можно установить, насколько при выращивании форели реализованы экологические условия:

$$K_{\varepsilon} = \frac{K_m}{K_g}, \quad (8)$$

Так для крупной группы рыб $K_{\varepsilon} = 0,962$; для средней группы рыб: $K_{\varepsilon} = 0,892$; для мелкой группы рыб: $K_{\varepsilon} = 0,872$.

Это означает, что условия выращивания группы рыб с опережающим ростом были крайне благоприятными и частные экологические факторы реализовались максимально. Но и в других группах эффективность реализации частных экологических факторов была высокой.

Столь же высокой была жизнестойкость молоди форели в течение всего периода выращивания. Лишь в варианте выращивания мелкой молоди выживаемость была близкой к нормативной величине и составила 69,4 %. Причём, большие потери были в первый месяц выращивания посадочного материала (88,0 %), в остальные месяцы была выше 90 %.

В группе среднеразмерной молоди выживаемость за весь период выращивания составила 83,0 % (рисунок 46), в группе крупной молоди 86,9 % и существенно превысила нормативную величину (70,0 %). Причем деление рыб на группы по размеру оказалось условным, поскольку средняя масса сеголетков оказалась близкой: в группе крупной молоди – 315 г, в группе средней – 300 г и мелкой молоди – 290 г.

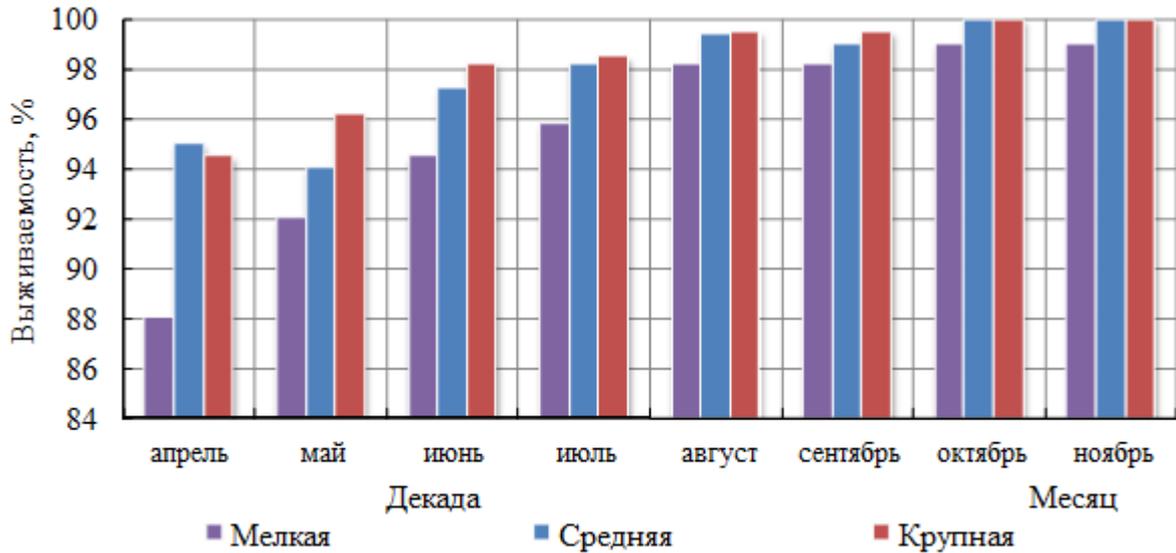


Рисунок 46 – Выживаемость молоди форели в УЗВ

Полученные результаты позволяют обозначить биотехнические параметры рыбоводного процесса выращивания посадочного материала радужной форели в УЗВ (таблица 20).

Таблица 20 – Биотехнические параметры рыбоводного процесса выращивания посадочного материала форели в УЗВ

Показатели	Размерные группы рыб		
	мелкие	средние	крупные
Плотность посадки, шт/м ²	400	400	400
Средняя масса начальная, г	0,95±0,01	1,10±0,02	1,28±0,02
Средняя масса конечная, г	290,0±2,97	300,0±2,44	315,0±1,73
Выживаемость, %	69,4	83,0	86,9

Окончание таблицы 20

Среднепериодный коэффициент массонакопления	0,068	0,07	0,075
Рыбопродукция, кг/м ²	80,5	99,6	109,4
Продолжительность выращивания, сут	228	228	228
Количество градусо-дней	4097	4097	4097

Как видно из данных таблицы различия в конечной массе сеголетков и величине выживаемости отразились на величине рыбопродукции. Тем не менее, следует признать ее высокой, соответствующей условиям выращивания форели в бассейнах при водообмене 2 – 3 раза в час [178].

3.6.4 Эффективность кормления потомства радужной форели

Значение кормового коэффициента, отражающего конвертируемость корма в массу тела, ниже на начальных этапах выращивания посадочного материала, что соответствовало периоду с апреля по июль 2015 г. (таблица 21). Снижение скорости роста с возрастом приводит к закономерному увеличению кормового коэффициента, дополнительное влияние, на динамику которого оказывают температура воды и содержание растворённого в ней кислорода. Эти факторы влияют на интенсивность обмена веществ у рыб и, соответственно, на эффективность усвоения питательных веществ корма.

Таблица 21 – Значения кормового коэффициента при выращивании посадочного материала в условиях промышленной УЗВ

Месяц	Кормовой коэффициент		
	мелкие	средние	крупные
Май	0,82	0,80	0,80
Июнь	0,87	0,85	0,82
Июль	0,92	0,92	0,91
Август	1,01	1,00	1,00
Сентябрь	1,02	1,02	1,01
Октябрь	1,03	1,02	1,01
Ноябрь	1,04	1,02	1,00

При этом следует учитывать качественный состав корма. В стартовом корме Aller Futura, используемом в кормлении в период апрель – июнь содержание белка было от 56 до 62 %, что объясняет существенно меньшее значение кормового коэффициента. Переход на производственный корм Aller Trident, в составе которого 49 % белка, отразился на увеличении значения кормового коэффициента. Однако его величина была близкой к 1,0, что подтверждает высокий уровень конвертации питательных веществ корма на прирост массы рыб.

Обсуждение данных по кормовому коэффициенту предполагает установление связи его величины со скоростью роста рыб. В динамике кормового коэффициента установлена взаимосвязь увеличения данного показателя с возрастом и массой рыб, а также, как видно на рисунке 47, однонаправленность в изменении показателя Км в трех размерных группах.

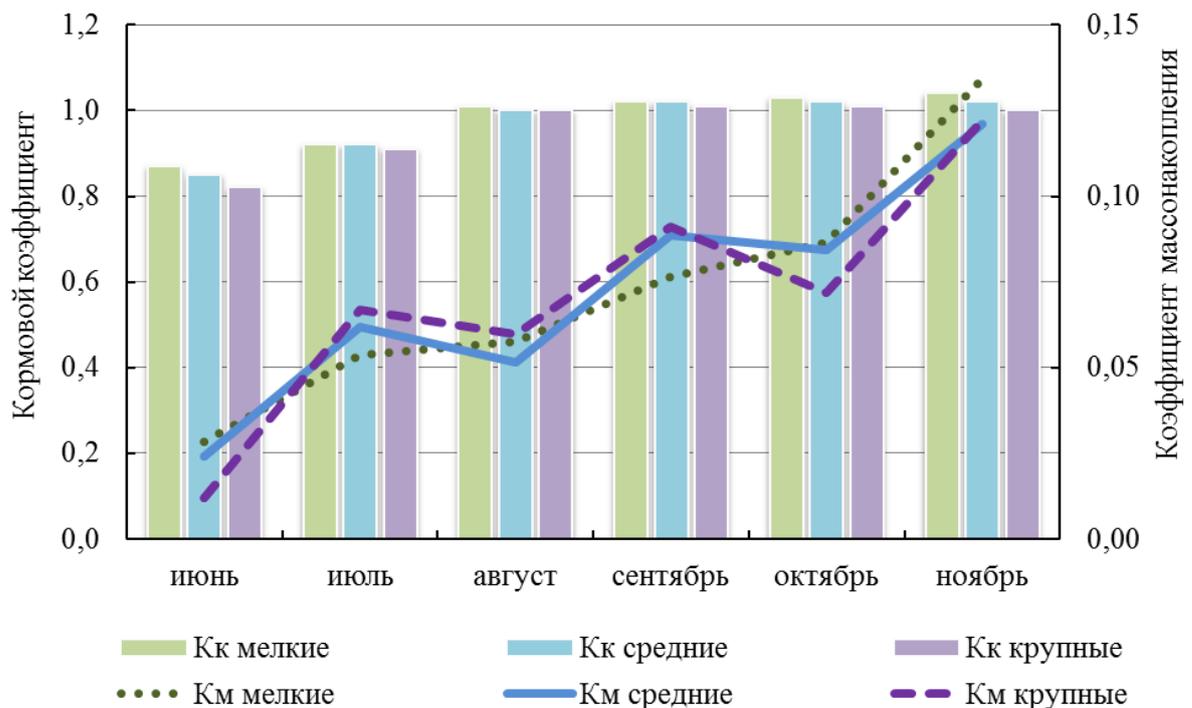


Рисунок 47 – Сравнительная оценка скорости роста и эффективности кормления посадочного материала радужной форели, выращиваемой в УЗВ

В отдельные месяцы одна группа рыб росла интенсивней, в другие – скорость роста снижалась. Самые низкие значения кормового коэффициента были отмечены в апреле – мае (0,80-0,85), а наибольшие в августе – ноябре (1,02-1,04). Эти результаты подтверждают ранее сделанные предположения о качественном кормле-

нии молоди форели и, в целом, можно отметить, что скорость роста посадочного материала была высокой.

Таким образом, благоприятный режим абиотических факторов, дополненный качественным кормлением, подтверждает закономерность достижения высоких весовых кондиций выращенных сеголетков форели. С учетом обсуждения данных о скорости роста, выживаемости и эффективности кормления потомства производителей форели в УЗВ следует отметить, что эти характеристики подтверждают высокий рыбоводный статус потомства радужной форели на всех этапах выращивания.

4 МОРФОМЕТРИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ И ПОТОМСТВА РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ, ВЫРАЩИВАЕМЫХ В УЗВ И САДКОВОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Температурный режим может оказывать косвенное влияние и на анатомическое строение рыб [63]. Любое морфометрическое изменение, если оно не является патологией, носит приспособительный характер, обеспечивая существование рыбы в различных условиях. Вид, взаимодействуя со средой, остается самим собой, но в то же время непрерывно изменяется в определенных пределах, приспособительно отвечая на изменения условий жизни [105].

Как известно, наиболее тесная взаимосвязь отмечается между массой и длиной тела: с массой рыб коррелируют высота и толщина тела, а также длина головы [105, 157]. Абсолютные показатели пластических признаков меняются с ростом и возрастом рыб. Для того, чтобы сравнивать особей между собой, используют относительные показатели – индексы тела [124].

При формировании ремонтно-маточного стада в УЗВ нами было обнаружено изменение формы тела рыб, выращиваемых в УЗВ. При проведении сравнения индексов рыб в генерациях, выращиваемых в УЗВ, с индексами рыб, выращенных в садковом хозяйстве, выяснилось, что рыбы имели различия по некоторым показателям пропорций тела (таблица 22).

Самки третьей генерации имели более высокие средние значения высоты головы у затылка, наименьшей высоты тела, длины хвостового стебля ($p < 0,001$) по сравнению с самками второй генерации. Также достоверные различия у самок были обнаружены по массе ($p < 0,01$) и длинам тела ($p < 0,001$).

У самцов достоверные различия были обнаружены как по некоторым пластическим признакам: длине туловища, высоты головы у затылка и длине хвостового стебля ($p < 0,001$), так и по относительным величинам: индексу прогонистости, головы и обхвата ($p < 0,001$).

Достоверные различия были по коэффициенту упитанности по Фультону как у самок ($p < 0,05$), так и у самцов ($p < 0,001$).

Таблица 22 – Морфометрические показатели производителей радужной форели, выращиваемых в разнотипных хозяйствах, %

Показатели	УЗВ								Садковое х-во	
	2 генерация		CV		3 генерация		CV		♂	♀
	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀		
Масса, г	1824,3±140,1	1964,5±125,9 ²	23,04	11,10	1679,5±86,3	2540,5±86,9 ²	16,25	13,24	1516,0 ± 51,25	2175,6 ± 93,74
Длина, см	43,4±1,0 ²	46,1±1,5 ³	7,14	5,81	47,9±0,8 ²	52,6±0,4 ³	5,00	3,18	45,3 ± 0,34	50,9 ± 0,55
Индекс длины по Смитту	91,70 ²	90,02 ²	6,39	6,71	91,86 ²	91,06 ²	5,24	3,21	93,53	93,82
Индекс длины головы	28,80 ³	24,29	10,75	9,32	24,46	21,48	10,72	9,57	21,51	19,53
Индекс высота головы у затылка	24,65 ³	21,90 ³	11,53	13,75	27,90 ³	27,95 ³	6,51	5,58	18,34	17,71
Индекс длины рыла	11,52	9,11	12,62	13,86	9,39	7,22	10,27	10,96	8,07	6,58
Индекс диаметра глаза	2,68	2,50	5,09	8,70	2,69	2,51	7,71	5,12	4,35	3,81
Индекс длины тела (туловища)	64,97 ³	69,63	5,81	11,51	67,6 ³	69,77	8,24	5,59	72,10	74,03
Индекс наибольшей высота тела	39,17	36,44	10,63	9,07	34,24	35,55	5,92	5,36	30,29	28,90
Индекс наименьшей высота тела	11,75	11,71 ³	18,39	6,68	11,89	12,17 ³	4,56	7,67	9,99	10,39
Индекс длины хвостового стебля	13,13 ³	10,85 ³	21,82	17,78	15,24 ³	15,78 ³	11,88	5,86	15,49	15,69
Индекс наибольшего обхвата тела	78,80 ³	71,15	10,66	8,92	65,76 ³	68,06	5,55	5,06	70,69	68,64
Индекс наименьшего обхвата тела	24,88	26,03	15,43	8,33	23,79	23,76	5,67	5,49	25,14	25,74

Окончание таблицы 22

Показатели	УЗВ								Садковое х-во	
	2 генерация		CV		3 генерация		CV			
	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀
Коэффициент упитанности по Фультону	2,9±0,1 ³	2,8±0,4 ¹	8,32	23,49	1,5±0,03 ³	1,7±0,06 ¹	5,49	13,61	1,62 ± 0,02	1,63 ± 0,02

^{1, 2, 3} различия достоверны при $p < 0,05$; $p < 0,01$; $p < 0,001$

Диапазон колебаний коэффициентов вариации всех морфометрических признаков у производителей обеих генераций радужной форели свидетельствует об умеренной изменчивости признаков. Максимальный коэффициент вариации (23 %) был отмечен у самок по массе тела.

Вариабельность по индексам тела у самок третьей генерации была незначительной ($CV = 5,4-9,9 \%$). У самок второй генерации вариабельность в выборке средняя ($CV = 10,7-13,3 \%$) [98].

Средняя масса тела самцов третьей генерации бала несколько ниже, чем во второй. Изменчивость рыб по массе тела в третьей генерации снизилась по сравнению со второй (с 23,0 до 16,2 %). Уменьшилась также и вариабельность пластических признаков тела (с $CV = 6,4-10,6 \%$ до $CV = 5,0-5,9 \%$). Различие самцов третьей генерации по индексам тела отличалось умеренным уровнем ($CV = 2,6-10,7 \%$). У их родителей (вторая генерация) вариабельность изученных индексов была незначительна ($CV = 6,0-9,4 \%$).

Среди индексов тела наибольшей вариабельностью характеризовался индекс упитанности у самок второй генерации: $CV = 23,5 \%$. У самок третьей генерации этот показатель несколько снизился до $CV = 13,6 \%$. Изменчивость самцов по этому признаку была несколько ниже и к следующему поколению снизилась с $CV = 9,5 \%$ до $CV = 5,5 \%$.

У некоторых особей второй генерации встречалось заметное укорачивание хвостового стебля и плавника (рисунок 48).



Рисунок 48 – Деформация хвостового стебля у производителей форели 2014 г.

Производители же третьей генерации имели более вытянутую форму тела и не имели таких заметных дефектов хвостового стебля по сравнению с производителями второй генерации (рисунки 49, 50).



Рисунок 49 – Производители форели 2014 г. (вторая генерация), выращиваемые в УЗВ (слева направо: самец и самка)



Рисунок 50 – Производители форели 2016 г. (третья генерация), выращиваемые в УЗВ (слева направо: самец и самка)

Анализируя исследуемые признаки у самок радужной форели третьей генерации, следует отметить устойчиво высокий уровень корреляций (прямой) массы и длины тела с пластическими признаками, а также с экстерьерными признаками между собой ($r = 0,99$). У самок второй генерации прямая и сильная взаимосвязь между признаками была обнаружена только между длиной тела и длиной туловища ($r = 0,99$). Достаточно высокий уровень корреляции был выявлен при исследовании длины и наибольшей высоты тела самок ($r = 0,75$), но эта зависимость была отрицательной. Средняя и отрицательная зависимость была между длиной и наименьшей высотой тела ($r = 0,4$). Все остальные исследованные признаки имели обратные связи и достаточно слабый уровень корреляций ($r = 0,10-0,15$).

У самцов форели третьей генерации выявлены зависимости по всем достоверным признакам. Зависимость между массой и размерами тела, длиной тела с экстерьерными признаками были прямые и сильные ($r = 0,77-0,92$). Отрицательная слабая зависимость была обнаружена только между длиной тела и длиной головы самцов ($r = 0,10$). Прямые и сильные зависимости у самцов 2014 г. были между массой и длинами тела ($r = 0,75-0,96$). Между длиной и наибольшей высотой тела, а также высотой головы были обнаружены прямые и значительные зависимости ($r = 0,6-0,67$). Связь между длиной тела и длиной хвостового стебля у самцов третьей генерации вообще отсутствовала [99].

Так как исходным материалом для формирования ремонтно-маточного стада форели в УЗВ являлись сеголетки, завезённые из форелевого садкового хозяйства «Аквакультура» (п. Прибрежный, Калининградская обл.), нами было проведено сравнение производителей форели в возрасте двухлетков, выращиваемых в УЗВ, с производителями форели, выращиваемыми в садковом хозяйстве. В садковом хозяйстве производители форели были в возрасте трехлетков (самцы) и четырехлетков (самки), так как в этом возрасте форель начинает впервые созревать при выращивании в водоеме с естественной термикой воды [195].

Как видно по данным таблицы 22, сравниваемые нами показатели были более близкими у производителей третьей генерации, выращиваемых в УЗВ, к производителям форели, выращиваемым в садковом хозяйстве. Самые близкие значения были отмечены по длине хвостового стебля. Изменчивость данного показателя у второй генерации составила $CV=21,82-17,78\%$ (♂-♀), у третьей генерации - $CV=11,88-5,86\%$, соответственно.

У самцов и самок форели третьей генерации, было обнаружено уменьшение наименьшего и наибольшего обхватов тела по сравнению со всеми сравниваемыми группами рыб и, наоборот, увеличение высоты головы у затылка и наименьшей высоты тела [99]. Таким образом, радужная форель, выращенная в разных рыбоводных системах, имела различия по пластическим признакам, самки различались по девяти признакам, а самцы – по пяти. У форели, выращенной в УЗВ, отмечали увеличение высоты тела и соответственно пластических признаков, связанных с этим показателем (высота головы у затылка, максимальный обхват тела), а также укорачивание длины хвостового стебля (рисунок 51) [96].

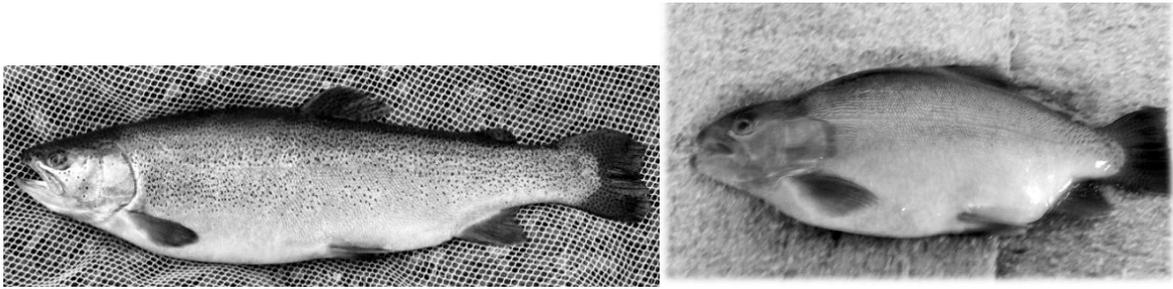


Рисунок 51 – Самки форели, выращенные в садковом хозяйстве (слева) и в УЗВ (вторая генерация) [97]

Меньшая подвижность выращиваемой форели в садках способствует некоторому изменению экстерьера в сторону повышения высокоспинности, что в совокупности с особенностями массонакопления, отложения балластного жира в брюшной полости и объясняет ее большую упитанность. Наоборот, форель, выращиваемая в прудах при более высокой их проточности и, тем более, в бассейнах при уровне водообмена раз в 15-20 минут, сохраняет привычную прогонистую форму тела, тратит больше энергии на движение, поиск и захват корма [63].

Изучение пластических признаков у **сеголетков** форели близкого возраста, выращиваемых в садках и УЗВ показало, что по всем показателям найдены достоверные различия ($p \leq 0,01$ - $p \leq 0,001$), кроме длины рыла (таблица 23).

Таблица 23 – Морфометрические показатели сеголетков радужной форели, выращиваемых в разнотипных хозяйствах, %

Показатели	Садковое хозяйство	УЗВ	Достоверность различий
Масса, г	108,05±1,33	347,09±22,66	$p \leq 0,001$
Длина, см	21,97±0,31	25,72±0,67	$p \leq 0,001$
Длина без С	91,22±0,57	93,36±0,96	$p \leq 0,001$
Длина туловища	69,41±0,55	71,8±1,02	$p \leq 0,001$
Длина рыла	6,74±0,17	5,99±0,22	не дост
Длина головы	21,82±0,37	21,54±0,48	$p \leq 0,01$
Высота головы у затылка	19,16±0,45	27,58±0,45	$p \leq 0,001$
Наибольшая высота тела	25,88±0,39	38,82±0,68	$p \leq 0,001$

Окончание таблицы 23

Наименьшая высота тела	9,64±0,20	11,01±0,26	p≤0,001
Наибольший обхват тела	56,79±0,82	73,08±1,06	p≤0,001
Наименьший обхват тела	23,37±0,39	25,90±0,45	p≤0,001
Коэффициент упитанности	1,03±0,03	2,03±0,07	p≤0,001

Быстрорастущие рыбы, к которым относится форель, характеризуются хорошим потреблением корма и быстрым наращиванием массы. Как отмечено, такими свойствами чаще всего обладают рыбы коренастых (плотных) форм. Причем, условия выращивания в бассейнах УЗВ непосредственно проявились в величине коэффициента упитанности, который был в 2 раза выше у рыб, выращенных в бассейнах, чем у форели, выращенной в садках (2,0 в первом случае и 1,0 во втором). Анализ полученных результатов указывает на то, что условия выращивания форели в УЗВ приводят к определенным модификационным изменениям в фенотипе. Причем как у производителей, так и их потомства в возрасте сеголетков. В частности, в увеличении таких важных рыбохозяйственных признаков как индексы высокоступности и наибольшей высоты, наибольшего и наименьшего обхвата тела, величины коэффициента упитанности [97].

Обобщая вышесказанное, следует отметить, что сеголетки и производители форели имели различия, как по пластическим признакам, так и по индексам тела. Изменчивость признаков, в среднем, по всем показателям была на умеренном уровне и, в целом, коэффициент вариации не превышал 23 %. У производителей форели второй генерации, выращиваемых в УЗВ, отмечали увеличение высоты тела и, соответственно, пластических признаков, связанных с этим показателем (высота головы у затылка, максимальный обхват тела), а также укорачивание длины хвостового стебля.

Анализ полученных результатов указывает на то, что новые условия выращивания форели в УЗВ приводят к модификационной изменчивости в поколении потомства, достигшего половозрелости, и полученного от производителей первой генерации. В условиях дальнейшей доместикации, в третьем поколении производителей форели происходят новые изменения в фенотипе и экстерьер рыб по ряду

признаков возвращается к установленным у производителей, выращиваемых в садовом хозяйстве.

5 ОЦЕНКА ФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ, ВЫРАЩИВАЕМОЙ В УЗВ

6.1 Морфофизиологические особенности ремонта и производителей радужной форели

Морфофизиологические показатели широко используют в рыбоводстве для оценки жизнестойкости рыб [137, 201]. Применяют их и для оценки качества молоди радужной форели, её жизнестойкости в процессе выращивания, так как позволяют своевременно скорректировать режим кормления, качество используемых кормов [40].

Одним из наиболее достоверных показателей физиологического состояния молоди форели является индекс печени [145]. Размеры печени могут изменяться в зависимости от возраста, сезона года, образа жизни и кормления. При использовании ее как морфофизиологического индикатора важно учитывать депонирующую роль печени, поскольку в ней происходит накопление запасных питательных веществ – гликогена и жира, что приводит к изменению ее массы [128, 168].

Если индекс печени отражает в основном степень накопления запасных питательных веществ, то степень развития кишечника напрямую связана с развитием пищеварения и усвоения рыбами питательных веществ [103].

Индекс сердца отражает развитие системы кровоснабжения организма и связан с уровнем энергетических затрат, в частности затрат на двигательную активность [145].

Так как селезенка важный кроветворный орган, как своеобразное депо крови в организме, его индекс отражает преимущественно полноценность кормления рыб [145].

Известно, что индексы печени бывают обычно выше у рыб при искусственном разведении при использовании пастообразных и гранулированных кормов [60, 108] и, как правило, значительное увеличение этого показателя у рыб связано с её начинающимся жировым перерождением. Как отмечают авторы, у взрослых рыб изменение индекса печени выражено слабее, чем у мальков и молоди [11, 16, 36]. Так, по нашим данным, величина индекса печени у годовиков по сравнению с сеголетками снизилась с 2,24 до 1,15 % при $p < 0,01$ (таблица 24, рисунок 52).

Таблица 24 – Индексы органов радужной форели, выращиваемой в УЗВ (M±m)

Индексы органов, %	Сеголетки	Годовики	Двухлетки	
			самцы	самки
Жабры	4,38±0,25	2,34±0,24	3,40±0,15	2,43±0,08
Печень	2,24±0,24	1,15±0,07	1,28±0,05	1,23±0,05
Селезенка	0,28±0,08	0,18±0,01	0,14±0,02	0,11±0,01

Большую величину индекса печени у сеголетков форели (2,24 %) можно связать с сохраняющейся сезонной ритмикой физиологического развития, что подтверждает последующее существенное ускорение в росте и связанное с этим уменьшение индекса печени у годовиков.

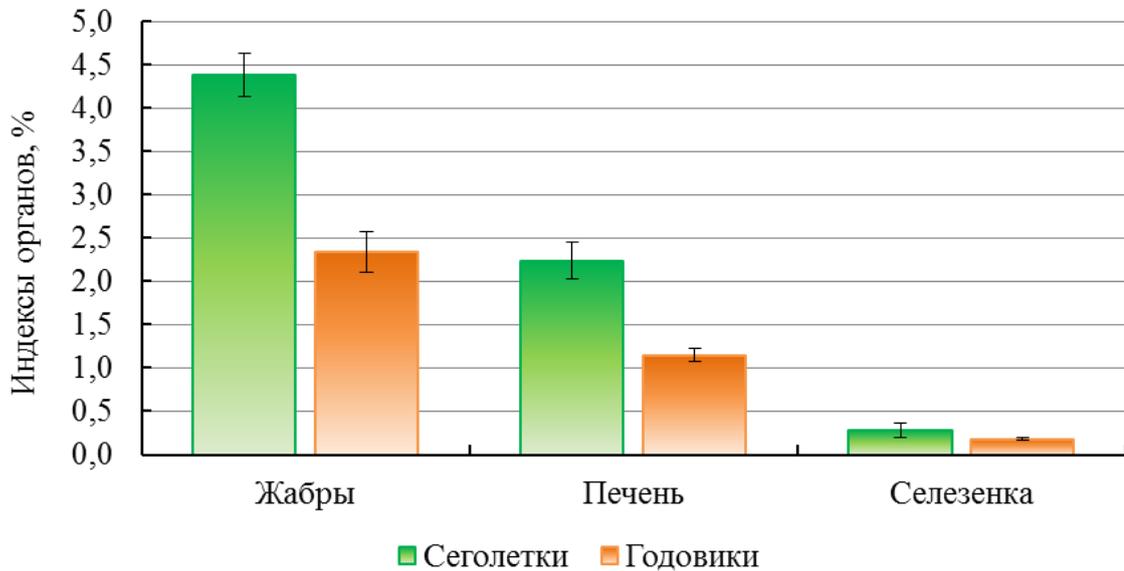


Рисунок 52 – Изменение морфофизиологических показателей у сеголетков и годовиков форели

Индекс печени у самок форели был несколько ниже $1,23\pm 0,06\%$, чем у самцов $1,28\pm 0,05\%$ (рисунок 53), но по массе самки были крупнее ($1523,3\pm 23,4$ г), чем самцы ($1245,2\pm 97,8$ г). Так, по данным исследователей, значение относительного веса печени у производителей форели адлерской породы было одинаковое (2,32 %), а у форели датского происхождения у самцов был несколько выше (2,79 %), чем у самок (2,70 %). Различия незначительны, что может говорить о равнозначности обменных процессов у рыб обоих полов [103]. То, что в наших исследованиях зна-

чения индекса печени у производителей были существенно ниже отмечаемых в литературных источниках, объективно связано с более интенсивным ростом и обменом веществ в организме исследованных нами рыб.

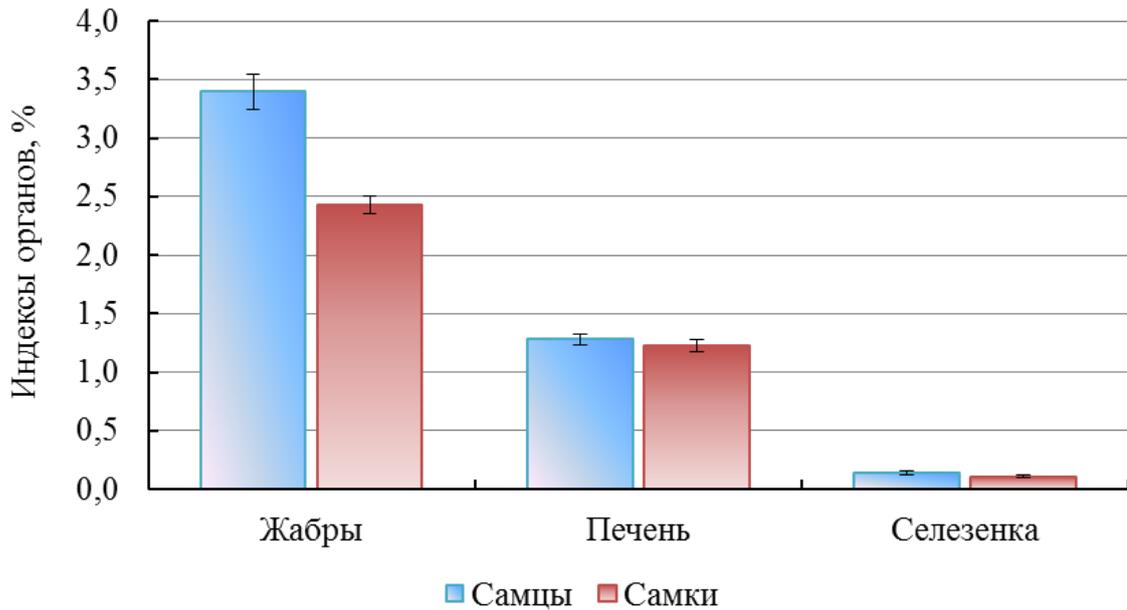


Рисунок 53 – Изменение морфофизиологических показателей у производителей (двухлетков) радужной форели

Максимальные значения из исследованных нами признаков были отмечены для индекса жабр. В среднем величина этого показателя составила у сеголетков $4,38 \pm 0,25$ %, а у годовиков $2,34 \pm 0,24$ %. Если сравнивать возрастные изменения индекса жабр, то видно, что величина показателя к возрасту годовиков заметно снизилась ($p < 0,001$). Но у двухлетков значение индекса увеличилось как у самцов до $3,4 \pm 0,15$ %, так и у самок до $2,43 \pm 0,08$ % ($p < 0,001$). Различия между самцами и самками также были статистически достоверны при $p < 0,001$. Относительная масса жабр у сеголетков форели больше по сравнению со старшими возрастными группами ($p < 0,001$), что, вероятно, является общепфизиологическим показателем аллометрического роста органа с возрастом. То, что у самцов индекс существенно выше, чем у самок, следует также связать с более интенсивным обменом веществ и большей потребностью организма в кислороде.

Литературных данных по возрастным изменениям относительного веса селезенки мало [12-14]. Имеющиеся данные дают наглядное представление о законо-

мерном снижении с возрастом индекса селезенки у большинства исследованных видов рыб. Это подтверждают наши данные: величина индекса селезенки снижалась с возрастом, но различия были не достоверны. У сеголетков данный показатель в среднем составил $0,28 \pm 0,08$ %, у годовиков $0,18 \pm 0,02$ %, у самцов форели $0,14 \pm 0,02$ %, а у самок $0,11 \pm 0,01$ %.

В своих работах С.Г. Пегельман пришла к выводу о том, что из всех изученных ею внутренних органов селезенка наиболее сильно реагирует на пищевой фактор [115]. Возвращаясь к анализу оценки скорости роста и эффективности кормления форели третьей генерации (см. 3.2.3, 3.3.3.) можно отметить, что суточную дозу по мере роста рыб уменьшали. Так же с возрастом снижался коэффициент массонакопления (от 0,169 в октябре 2015 г. до 0,051 в сентябре 2016 г.). Величина кормового коэффициента была низкой ($K_k = 0,9$) благодаря благоприятной температуре воды, что является подтверждением высокой эффективности кормления, сопровождающейся интенсивным ростом рыб. Более эффективным кормление было в возрасте годовиков, когда величина кормового коэффициента не превышала 1,35.

Оценивая половые различия в величине индекса у форели, выращиваемой в УЗВ, можно отметить, что самцы имели несколько увеличенный относительный вес селезенки по сравнению с самками форели. Анализ данных других авторов показал, что у большинства видов рыб индекс селезенки у самцов, как правило, выше, чем у самок [128].

В декабре 2014 г. был проведен сравнительный анализ морфофизиологических особенностей производителей форели, выращиваемых в УЗВ и в садках (рисунк 54), которые происходят от одной гибридной формы (см. рис. 11).

Производители форели (вторая генерация), выращиваемые в УЗВ, во время исследований были в возрасте двухлетков. Рыбы, выращиваемые в садковом хозяйстве, были в возрасте трехлетков (самцы) и четырехлетков (самки).

Как видно значения индексов органов в основном были на одном уровне. Небольшие различия у рыб, выращиваемых в различных условиях, были в величине индекса печени, почек и жабр.

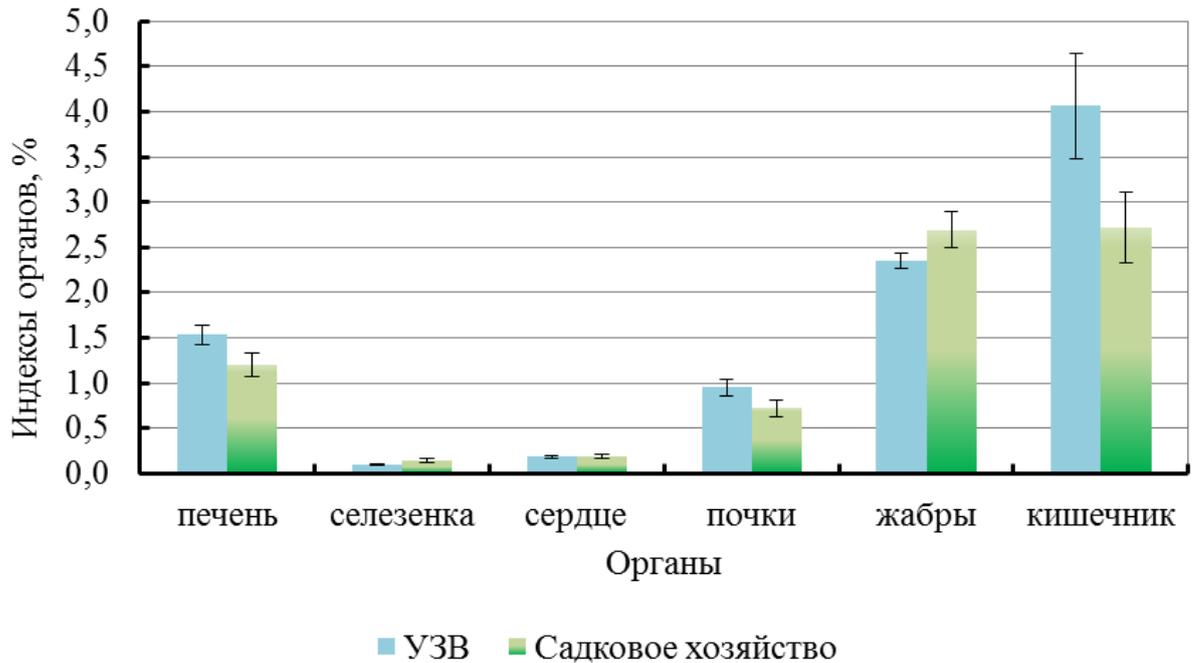


Рисунок 54 – Изменение морфофизиологических показателей у производителей радужной форели, выращиваемых в разнотипных хозяйствах

Разница в значениях индексов перечисленных органов не превышала 0,35 %. Так, статистически достоверным было различие в индексе почек. У рыб, выращиваемых в садковом хозяйстве, этот показатель был существенно ниже ($p < 0,001$).

Также разница была обнаружена в индексе кишечника ($p < 0,05$). У рыб, выращиваемых в УЗВ, значения индекса были в полтора раза больше (4,06 %), чем у рыб, выращиваемых в садках (2,72 %). Изменчивость данного признака была умеренной ($CV = 24,70$ и $24,84$ %, соответственно).

Наибольшие значения коэффициента вариации были зафиксированы у рыб, выращиваемых в садках (в среднем по всем органам $CV = 20,75$ %), что говорит о большей изменчивости исследуемых признаков. Минимальное значение данного признака было у индекса жабр ($CV = 13,14$ %), максимальное – у индекса селезенки ($CV = 29,33$ %). У форели, выращиваемой в УЗВ, среднее значение коэффициента вариации составило 15,37 %. Минимальное значение коэффициента вариации было у индекса жабр ($CV = 6,14$ %). Однако различия в величине перечисленных индексах органов были не достоверны.

Сравнивая полученные данные по гепатосоматическому индексу и химическому составу тела форели (см. 5.5), выращенной в разнотипных хозяйствах, мож-

но предположить, что более высокие значения индекса печени (21,6 %) и более высокое содержания жира (18,6 %) в теле форели, выращенной в УЗВ, вероятно, обусловлены применением более жирных рецептур искусственных кормов (15 – 18 %), а также относительно меньшей подвижностью рыб в бассейнах. В некоторых исследованиях [232] было установлено, что нормальная масса печени радужной форели составляет 1,0 – 1,4 % от массы тела рыб. В нашем случае несколько увеличенный индекс печени (1,53 %) у двухлетков, выращенных в УЗВ, вместе с накапливающимся внутривисцеральным жиром, могут свидетельствовать об увеличении общего жира в составе используемого корма. Так, в садковом хозяйстве в качестве корма использовали рецептуру с меньшим содержанием жира (14 %) в корме, что и нашло отражение в меньших значениях индекса печени ($1,20 \pm 0,13$ %) и содержания жира в мышцах ($11,42 \pm 2,24$ %).

Таким образом, нам удалось установить определенные закономерности в изменении величины индексов некоторых внутренних органов форели, выращиваемой в УЗВ. Так, у взрослых рыб изменение индекса печени выражено слабее, чем у молоди. Выявленные колебания индекса жабр с возрастом, по-видимому, отражают структурные изменения в этой ткани, а не физиологические, поскольку уровень гемоглобина, СОЭ и концентрация эритроцитов были в пределах допустимых значений для исследуемого вида рыбы (см. 5.3). Данные по индексу селезенки форели дают наглядное представление о его закономерном снижении с возрастом.

Специфичность условий выращивания, состав современных кормов при выращивании форели в бассейнах УЗВ и садках дают наглядное представление в изменении морфофизиологических показателей.

6.2 Гематологические особенности радужной форели

Установленные нами в период исследований показатели красной и белой крови радужной форели представлены в таблицах 25-26. Кровь радужной форели, выращенной в УЗВ, имела высокий уровень гемоглобина, который в исследуемый период колебался от 88,67 до 123,00 г·л⁻¹ у самцов и от 80,00 до 108,00 г·л⁻¹ у самок.

При этом наблюдалась высокая концентрация эритроцитов от 1,39 до

1,42 Т·л⁻¹ и от 1,06 до 1,43 Т·л⁻¹ и лейкоцитов от 18,35 до 31,40 Г·л⁻¹ и от 12,75 до 44,41 Г·л⁻¹, как у самцов, так и у самок, что, по всей видимости, отражает специфические условия выращивания в совокупности с интенсивным питанием.

Белая кровь радужной форели имела резко лимфоидный характер. Нами были идентифицированы 8 различных форм лейкоцитов. Из них 6 видов гранулоцитов (миелоциты нейтрофильные, метамиелоциты нейтрофильные, палочкоядерные нейтрофилы, сегментоядерные нейтрофилы, псевдо-эозинофилы, псевдо-базофилы) и 2 вида агранулоцитов (моноциты, малые лимфоциты).

Высокое разнообразие различных клеток также отражает специфику условий выращивания и находится в границах нормальных для форели значений. Так, по данным Е.В. Пищенко (2002), у ручьевой и радужной форели концентрация эритроцитов в среднем $1,1 \times 10^{12} \text{ л}^{-1}$, концентрация лейкоцитов у них соответственно равняется $25\text{-}35 \times 10^6 \text{ л}^{-1}$. В ходе наших исследований было установлено, что концентрация эритроцитов в среднем составляла $1,30 \pm 0,10 \text{ Т} \cdot \text{л}^{-1}$ у самок и $1,40 \pm 0,06 \text{ Т} \cdot \text{л}^{-1}$ у самцов (рисунок 55).

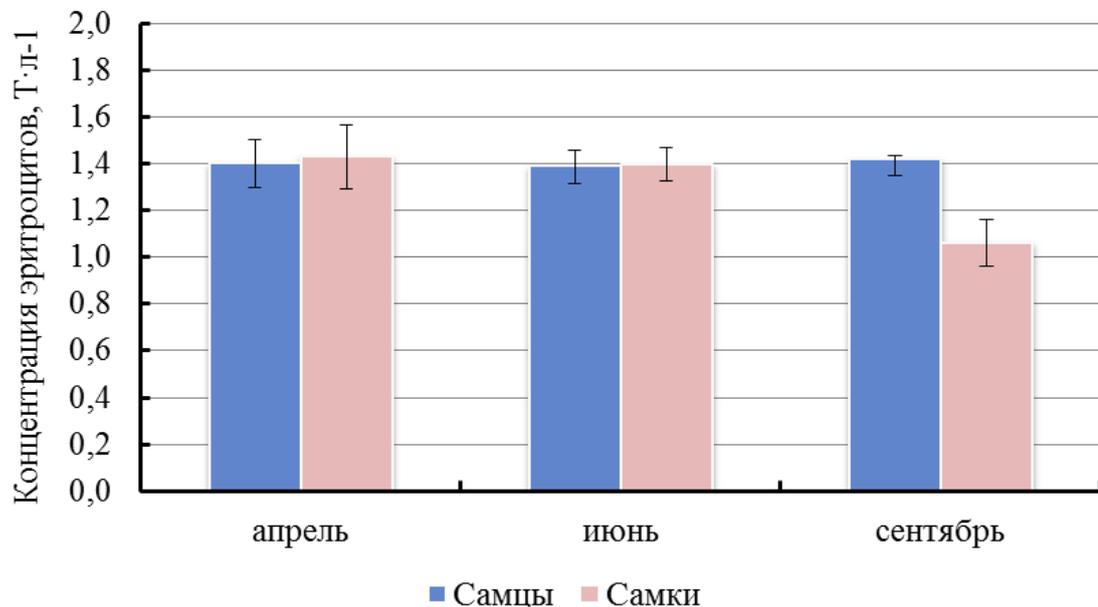


Рисунок 55 – Концентрация эритроцитов в крови форели, выращиваемой в УЗВ

При этом достоверными различия ($p < 0,01$) были между самцами и самками в сентябре 2016 г., а у самцов достоверно отличались показатели и в июне и сентябре ($p < 0,05$).

Таблица 25 – Показатели крови самцов радужной форели

Показатель	апрель (1 ⁰)			июнь (1 ⁰)			сентябрь (1 ⁺)		
	$\frac{M \pm m}{Lim}$	CV, %	σ	$\frac{M \pm m}{Lim}$	CV, %	σ	$\frac{M \pm m}{Lim}$	CV, %	σ
Гемоглобин (Hb), г · л ⁻¹	$\frac{88.67 \pm 7.17^3}{81-103}$	14,01	12,42	$\frac{108.00 \pm 8.50}{87-125}$	15,73	16,99	$\frac{123.00 \pm 1.15^{**}}{121-125}$	1,88	2,31
Содержание гемоглобина в эритроците (СГЭ), пг	$\frac{63.98 \pm 6.56^2}{51.43-73.57}$	17,76	11,36	$\frac{79.23 \pm 9.59}{55.24-98.04}$	24,2	19,18	$\frac{86.71 \pm 0.29}{86.21-87.21}$	0,67	0,58
Цветной показатель (ЦП)	$\frac{1.92 \pm 0.20^2}{1.54-2.21}$	17,76	0,34	$\frac{2.38 \pm 0.29}{1.66-2.94}$	24,2	0,58	$\frac{2.60 \pm 0.01}{2.59-2.62}$	0,67	0,02
Скорость оседания эритроцитов (СОЭ), мм/ч	$\frac{3.33 \pm 0.33}{3.00-4.00}$	17,3	0,58	$\frac{4.17 \pm 0.88}{2.50-6.00}$	42,14	1,76	$\frac{2.50 \pm 0.58}{1.50-3.50}$	46,19	1,15
Эритроциты (Эр), Г · л ⁻¹	$\frac{1.40 \pm 0.10}{1.23-1.58}$	12,50	0,17	$\frac{1.39 \pm 0.07}{1.28-1.58}$	9,81	0,14	$\frac{1.42 \pm 0.02^{**}}{1.39-1.45}$	2,54	0,04
Лейкоциты (Л), Г · л ⁻¹	$\frac{23.57 \pm 3.33^{3*}}{17.15-28.35}$	24,51	5,78	$\frac{31.40 \pm 2.89^2}{25.2-38.25}$	18,43	5,79	$\frac{18.35 \pm 2.22}{14.50-22.20}$	24,23	4,45
Эр/Л	$\frac{60.85 \pm 5.29^{3**}}{55.56-71.43}$	15,06	9,16	$\frac{45.73 \pm 5.77^1}{33.33-55.56}$	25,24	11,54	$\frac{81.25 \pm 10.83}{62.50-100.0}$	26,65	21,65
ОБС, г · л ⁻¹	-	-	-	$\frac{43.57 \pm 14.86}{14.7-64.1}$	59,10	25,73	-	-	-
Коллоидная устойчивость сывороточных белков (КСБ), % CaCl ₂	$\frac{0.08 \pm 0.01}{0.06-0.09}$	19,92	0,02	$\frac{0.08 \pm 0.01}{0.06-0.09}$	17,21	0,01	-	-	-

Окончание таблицы 25

Показатель	апрель (1 ⁰)			июнь (1 ⁰)			сентябрь (1 ⁺)		
	$\frac{M \pm m}{Lim}$	CV, %	σ	$\frac{M \pm m}{Lim}$	CV, %	σ	$\frac{M \pm m}{Lim}$	CV, %	σ
<i>лейкоцитарная формула</i>									
Миелоциты нейтрофильные	$\frac{3.00 \pm 1.53}{1.0-6.0}$	88,19	2,65	$\frac{4.13 \pm 1.56}{1.0-7.5}$	75,62	3,12	$\frac{1.25 \pm 0.43}{0.5-2.0}$	69,28	0,87
Метамиелоциты нейтрофильные	$\frac{3.67 \pm 1.20}{2.0-6.0}$	56,77	2,08	$\frac{3.50 \pm 1.19}{1.0-6.0}$	68,01	2,38	$\frac{1.50 \pm 0.87}{0.0-3.0}$	115,47	1,73
Палочкоядерные нейтрофилы	$\frac{3.67 \pm 1.20}{2.0-6.0}$	56,77	2,08	$\frac{3.00 \pm 1.00}{2.0-6.0}$	66,67	2,00	$\frac{3.00 \pm 1.73}{0.0-6.0}$	115,47	3,46
Сегментоядерные нейтрофилы	$\frac{15.00 \pm 7.55}{6.0-30.0}$	87,18	13,08	$\frac{11.38 \pm 6.51}{6.0-30.0}$	11,38	6,51	$\frac{4.50 \pm 2.60}{0.0-9.0}$	115,47	5,20
Всего нейтрофилов	$\frac{25.33 \pm 0.11.46}{11.0-48.0}$	78,4	19,86	$\frac{22.00 \pm 9.53}{5.0-48.0}$	86,6	19,06	$\frac{10.25 \pm 5.63}{0.5-20.0}$	109,84	11,26
Псевдо-эозинофилы	—	-	-	—	-	-	$\frac{0.50 \pm 0.29}{0.0-1.0}$	115,47	0,58
Псевдо-базофилы	$\frac{0.17 \pm 0.17}{0.0-0.5}$	173,21	0,29	$\frac{0.13 \pm 0.13^1}{0.0-0.5}$	200	0,25	$\frac{0.50 \pm 0.0}{0.5-0.5}$	0,0	0,0
Моноциты	$\frac{0.33 \pm 0.33}{0.0-1.0}$	173,21	0,58	$\frac{0.63 \pm 0.24}{0.0-1.0}$	76,59	0,48	$\frac{0.75 \pm 0.14^*}{0.5-1.0}$	38,49	0,29
Малые лимфоциты	$\frac{74.17 \pm 11.73}{51.0-89.0}$	27,40	20,32	$\frac{77.25 \pm 9.52}{51-94}$	24,64	19,03	$\frac{88.00 \pm 6.06}{77.5-98.5}$	13,78	12,12
Индекс сдвига (ядер нейтрофилов)	$\frac{0.774 \pm 0.089}{0.600-0.889}$	19,8	0,15	$\frac{0.740 \pm 0.315}{0.000-1.526}$	85,3	0,63	$\frac{0.61 \pm 0.35}{0.0-1.22}$	115,47	0,71
Индекс сдвига лейкоцитов	$\frac{0.420 \pm 0.253}{0.124-0.923}$	104,4	0,44	$\frac{0.355 \pm 0.197}{0.058-0.923}$	111,0	0,39	$\frac{0.14 \pm 0.07}{0.01-0.261}$	106,87	0,14

*, **, *** - различия достоверны между самками и самцами при $p < 0,05$; $p < 0,01$; $p < 0,001$

¹, ², ³ - достоверно отличается от показателя в апреле при $p < 0,05$; $p < 0,01$; $p < 0,001$

¹, ², ³ - достоверно отличается от показателя в сентябре при $p < 0,05$; $p < 0,01$; $p < 0,001$

Таблица 26 – Показатели крови самок радужной форели

Показатель	апрель (1 ⁰)			июнь (1 ⁰)			сентябрь (1 ⁺)		
	$\frac{M \pm m}{Lim}$	CV, %	σ	$\frac{M \pm m}{Lim}$	CV, %	σ	$\frac{M \pm m}{Lim}$	CV, %	σ
Гемоглобин (Hb), г · л ⁻¹	$\frac{80,00 \pm 1,00^3}{79-82}$	2,17	1,73	$\frac{113,40 \pm 6,14^2}{99-132}$	12,10	13,72	$\frac{108,00 \pm 2,89^{**}}{103-113}$	5,35	5,77
Содержание гемоглобина в эритроците (СГЭ), пг	$\frac{57,07 \pm 5,81^1}{46,81-66,94}$	17,64	10,07	$\frac{81,22 \pm 2,24^1}{75,83-89,45}$	6,16	5,00	$\frac{105,28 \pm 12,73}{83,23-127,32}$	24,18	25,46
Цветной показатель (ЦП)	$\frac{1,71 \pm 0,17^1}{1,40-2,01}$	17,64	0,30	$\frac{2,44 \pm 0,07^1}{2,27-2,68}$	6,16	0,15	$\frac{3,16 \pm 0,38}{2,50-3,82}$	24,18	0,76
Скорость оседания эритроцитов (СОЭ), мм/ч	$\frac{2,67 \pm 0,33}{2,0-3,0}$	21,65	0,58	$\frac{2,70 \pm 0,41}{1,50-3,50}$	33,64	0,91	$\frac{2,75 \pm 0,72}{1,5-4,0}$	52,49	1,44
Эритроциты (Эр), Т · л ⁻¹	$\frac{1,43 \pm 0,14}{1,23-1,69}$	16,51	0,24	$\frac{1,40 \pm 0,07^1}{1,23-1,65}$	11,60	0,16	$\frac{1,06 \pm 0,10^{**}}{0,89-1,24}$	19,02	0,20
Лейкоциты (Л), Г · л ⁻¹	$\frac{44,41 \pm 3,50^{3*}}{38,5-50,63}$	13,66	6,07	$\frac{31,30 \pm 6,50^1}{17,15-49,50}$	46,41	14,53	$\frac{12,75 \pm 1,21}{10,65-14,85}$	19,02	2,42
Эр/Л	$\frac{32,28 \pm 2,35^{3**}}{22,78-35,71}$	12,62	4,07	$\frac{51,82 \pm 8,74^2}{27,78-71,43}$	37,73	119,55	$\frac{83,33 \pm 0,00}{83,33}$	0,00	0,00
ОБС, г · л ⁻¹	-	-	-	$\frac{46,43 \pm 9,88}{22,30-69,40}$	42,56	19,76	$\frac{52,53 \pm 13,42}{29,3-75,8}$	44,26	23,25
Коллоидная устойчивость сывороточных белков (КСБ), % CaCl ₂	$\frac{0,08 \pm 0,00}{0,08}$	0,00	0,00	$\frac{0,06 \pm 0,01}{0,03-0,08}$	40,16	0,02	-	-	-

Окончание таблицы 26

Показатель	апрель (1 ⁰)			июнь (1 ⁰)			сентябрь (1 ⁺)		
	$\frac{M \pm m}{Lim}$	CV, %	σ	$\frac{M \pm m}{Lim}$	CV, %	σ	$\frac{M \pm m}{Lim}$	CV, %	σ
<i>лейкоцитарная формула, %</i>									
Миелоциты нейтрофильные	$\frac{1,50 \pm 1,50}{0,5-2,0}$	54,74	0,87	$\frac{3,50 \pm 1,64}{1,0-10,0}$	104,98	3,67	$\frac{3,50 \pm 0,87}{2,0-5,0}$	49,49	1,73
Метамиелоциты нейтрофильные	$\frac{1,83 \pm 0,83}{1,0-3,5}$	78,73	1,44	$\frac{3,50 \pm 0,52}{2,5-5,5}$	33,50	1,17	$\frac{3,00 \pm 0,00}{3,00}$	0,00	0,00
Палочкоядерные нейтрофилы	$\frac{3,83 \pm 0,93}{2,0-5,0}$	41,93	1,61	$\frac{2,00 \pm 0,63}{1,0-3,0}$	70,71	1,41	$\frac{4,00 \pm 0,00}{4,0}$	0,00	0,00
Сегментоядерные нейтрофилы	$\frac{0,50 \pm 0,50^1}{0,0-1,5}$	173,21	0,87	$\frac{6,90 \pm 0,98^2}{4,0-9,0}$	31,75	2,19	$\frac{5,55 \pm 1,44}{3,0-8,0}$	52,49	2,89
Всего нейтрофилов	$\frac{7,67 \pm 1,45^2}{5,0-10,0}$	32,8	2,52	$\frac{15,90 \pm 1,89^1}{9,0-20,5}$	26,5	4,22	$\frac{16,00 \pm 0,58}{15,0-17,0}$	7,22	1,15
Псевдо-эозинофилы	—	-	-	—	-	-	$\frac{0,25 \pm 0,17}{0,0-0,5}$	115,47	0,29
Псевдо-базофилы	$\frac{0,50 \pm 0,29}{0,0-1,0}$	100,0	0,50	$\frac{0,30 \pm 0,12}{0,0-0,5}$	91,29	0,27	$\frac{0,25 \pm 0,14}{0,0-0,5}$	115,47	0,29
Моноциты	$\frac{0,50 \pm 0,29}{0,0-1,0}$	100,0	0,50	$\frac{0,30 \pm 0,20}{0,0-1,0}$	149,07	0,45	$\frac{0,25 \pm 0,14^*}{0,0-0,5}$	115,47	0,29
Малые лимфоциты	$\frac{91,33 \pm 1,45^2}{89,0-94,0}$	2,76	2,52	$\frac{83,50 \pm 1,84^1}{79,5-90,5}$	4,94	4,12	$\frac{83,25 \pm 0,43}{82,5-84,0}$	1,04	0,87
Индекс сдвига (ядер нейтрофилов)	$\frac{1,444 \pm 1,44}{0,00-4,33}$	173,2	2,50	$\frac{1,565 \pm 0,648}{0,636-4,125}$	92,6	1,45	$\frac{2,563 \pm 0,830}{1,125-4,00}$	64,78	1,66
Индекс сдвига лейкоцитов	$\frac{0,089 \pm 0,016^3}{0,058-0,111}$	31,0	0,03	$\frac{0,196 \pm 0,026^1}{0,099-0,259}$	30,0	0,06	$\frac{0,195 \pm 0,006}{0,185-0,205}$	6,02	0,01

*, **, *** - различия достоверны между самками и самцами при $p < 0,05$; $p < 0,01$; $p < 0,001$

¹, ², ³ - достоверно отличается от показателя в апреле при $p < 0,05$; $p < 0,01$; $p < 0,001$

¹, ², ³ - достоверно отличается от показателя в сентябре при $p < 0,05$; $p < 0,01$; $p < 0,001$

В апреле 2016 г. гематологические показатели самок и самцов радужной форели достоверно различались только по двум показателям – концентрации лейкоцитов (рисунок 56) и отношению эритроцитов к лейкоцитам (рисунок 57). Первый показатель был больше у самцов, второй – у самок [25].

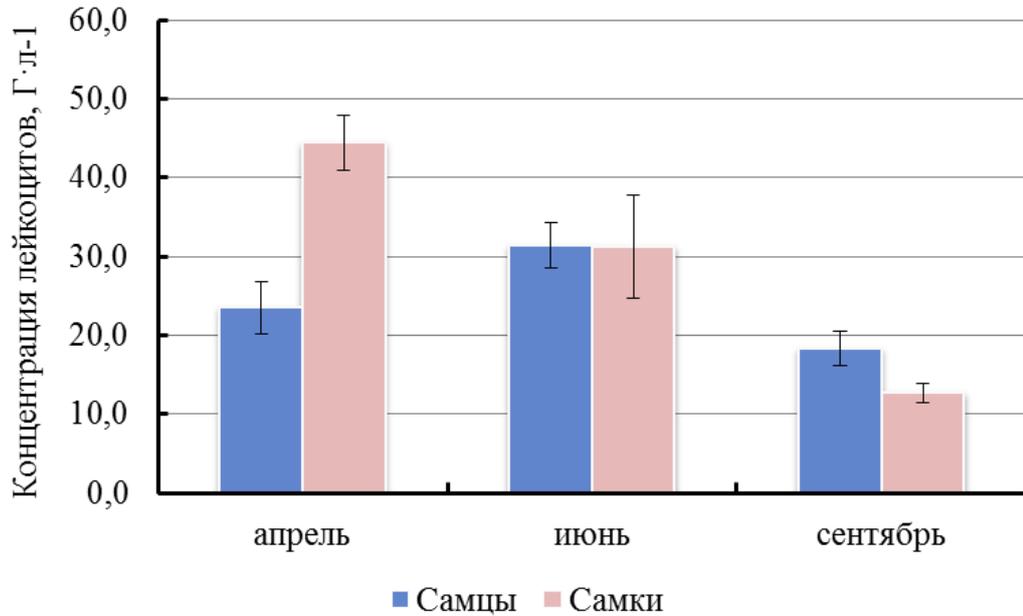


Рисунок 56 – Концентрация лейкоцитов в крови форели, выращиваемой в УЗВ

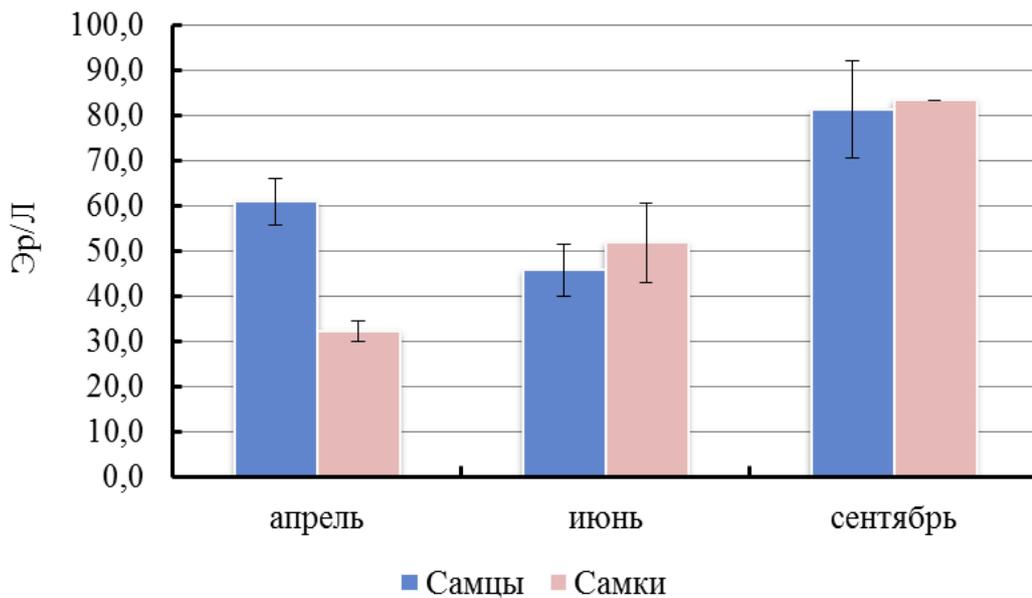


Рисунок 57 – Отношение эритроцитов к лейкоцитам в крови форели

При сравнении показателей крови у радужной форели в апреле и июне установлено, что они достоверно увеличились только у самок (таблицы 25-26). Причем эти изменения коснулись как красной, так и белой крови. У самок существенно увеличились: концентрация гемоглобина ($p < 0,01$), уровень СГЭ ($p < 0,05$), ЦП ($p < 0,05$), доля сегментоядерных нейтрофилов ($p < 0,01$), малых лимфоцитов ($p < 0,05$), общий процент нейтрофилов ($p < 0,05$), индекс сдвига лейкоцитов ($p < 0,05$).

По данным Н.А. Головиной [30], концентрация гемоглобина у сеголетков и двухлетков форели колеблется от 60 до 110 г·л⁻¹. Похожую картину увеличения показателя с возрастом наблюдали в наших исследованиях (рисунок 58).

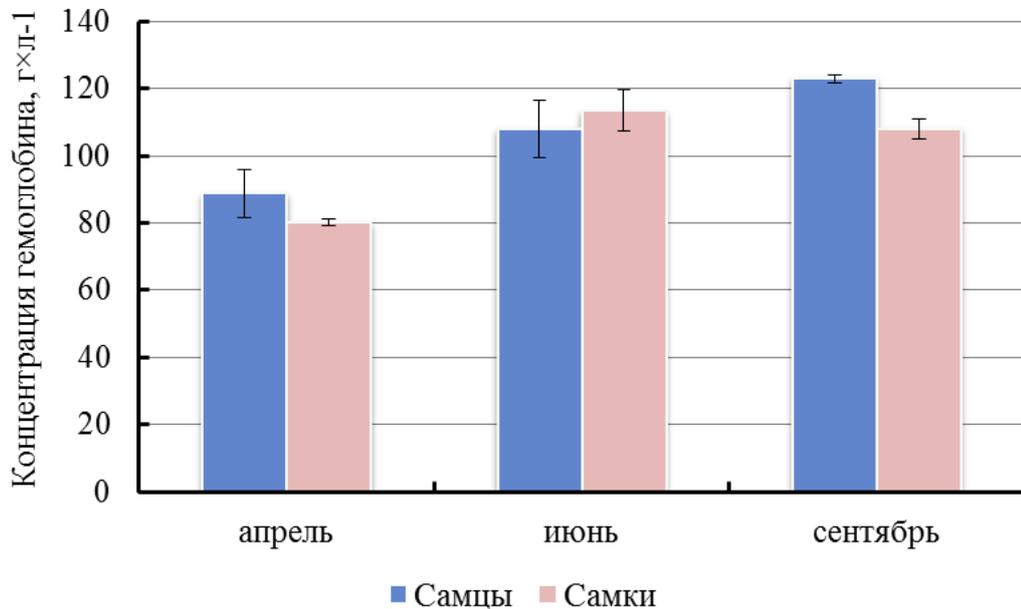


Рисунок 58 – Концентрация гемоглобина в крови форели, выращиваемой в УЗВ

У самцов данный показатель увеличился с апреля по сентябрь от 88,67 до 123,00 г·л⁻¹ ($p < 0,001$), у самок с апреля по июнь 80,00 – 113,40 г·л⁻¹ ($p < 0,01$), с некоторым понижением в сентябре до 108,00 г·л⁻¹ ($p < 0,001$). Также различия были достоверны между самцами и самками в сентябре ($p < 0,01$).

Так, по данным Е.И. Хрусталева [195], у двух- и трехлетков форели, выращиваемых в садках, динамика концентрации гемоглобина и эритроцитов в течение сезона имела тенденцию возрастания (83,0 – 95,6 г·л⁻¹ и 1,25 – 1,30 Т·л⁻¹, соответственно), а в двухгодовалом возрасте было отмечено снижение данных показателей крови.

Многие авторы отмечают, что для половозрелых рыб характерно увеличение гематологических показателей периферической крови в преднерестовый период и снижение их в нерестовый [30, 36, 62, 150, 217].

Для выражения степени насыщенности эритроцитов гемоглобином при анемиях и других заболеваниях в каждом анализе крови рекомендуется вычислять цветной показатель [45]. Данный показатель увеличивался с возрастом как у самцов (от $1,92 \pm 0,20$ до $2,60 \pm 0,01$), так и у самок ($1,71 \pm 0,17$ до $3,16 \pm 0,38$) (рисунок 59). Различий между самцами и самками не было обнаружено, но достоверно отличались показатели у самцов в апреле и сентябре ($p < 0,01$), у самок – в апреле по сравнению с июнем и сентябрем ($p < 0,05$).

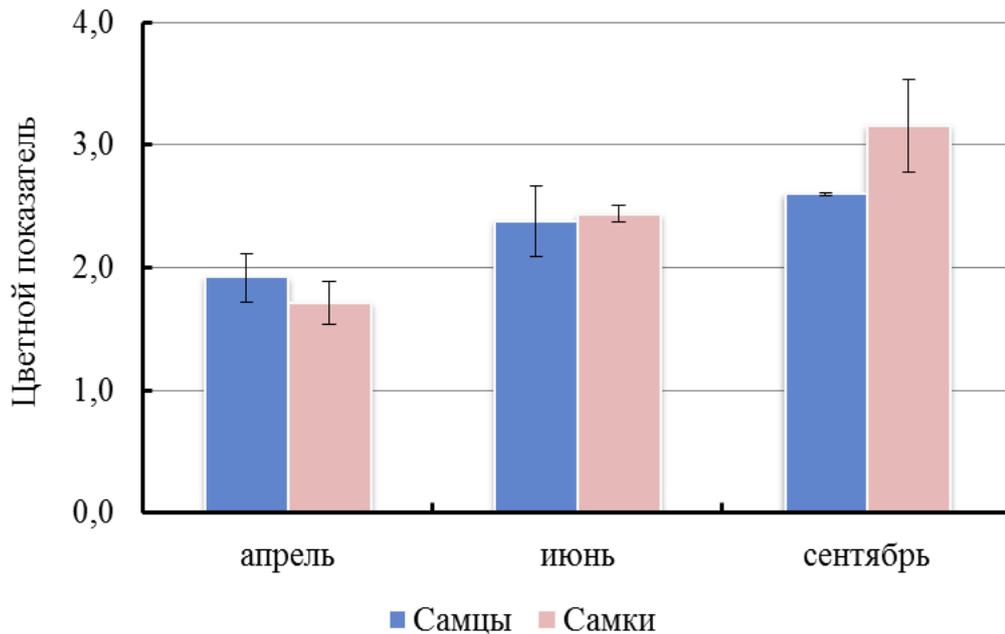


Рисунок 59 – Цветной показатель крови форели, выращиваемой в УЗВ

Параллельно с цветным показателем часто вычисляют и содержание гемоглобина в одном эритроците (СГЭ) [45]. Значения показателя с возрастом увеличивались: у самцов с $63,98 \pm 6,56$ до $86,71 \pm 0,29$ пг ($p < 0,01$), у самок с $57,07 \pm 5,81$ до $105,28 \pm 12,73$ пг ($p < 0,05$). Достоверных различий по этому показателю между самцами и самками не было обнаружено (рисунок 60).

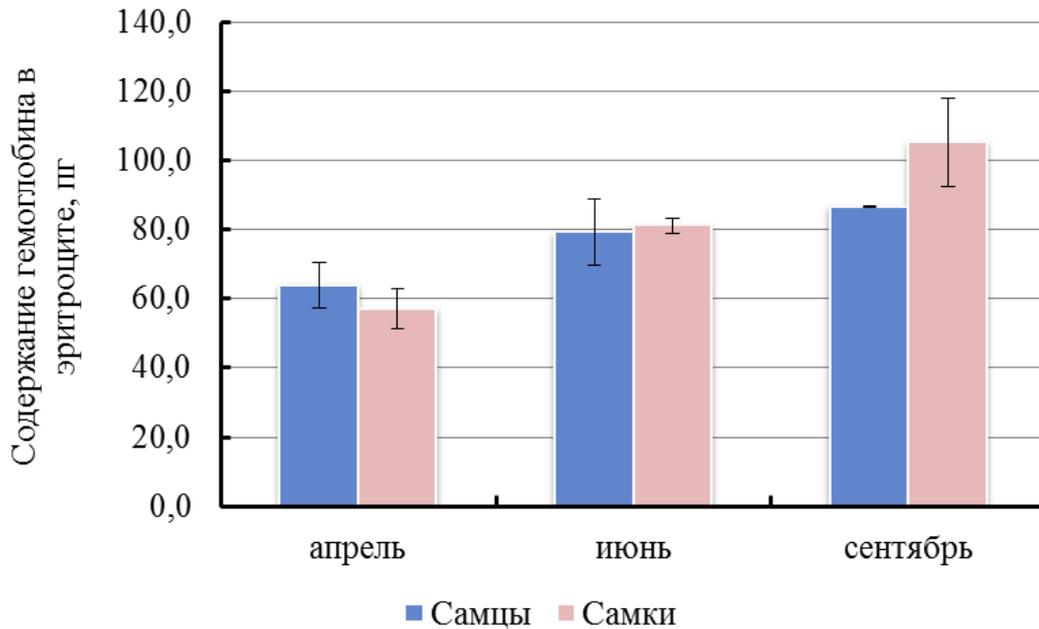


Рисунок 60 – Изменение содержания гемоглобина в эритроците крови форели, выращиваемой в УЗВ

Сравнение показателей крови радужной форели из УЗВ с гематологической нормой, установленной ранее Г.Г. Серпуниным [150] для этого вида (аналогичной массы), выращиваемого в опытно-промышленной установке с морской оксигенированной водой, показало, что у рыб из УЗВ концентрация гемоглобина, лейкоцитов и СОЭ находились в доверительных границах нормы; значения концентрации эритроцитов и КСБ – превышали ее, а СГЭ и ЦП – были ниже нижней доверительной границы нормы.

По нашему мнению, отмеченные различия объясняются, качеством воды (морской и пресной), разницей температуры воды, а также специфическими условиями УЗВ. В целом гематологические показатели радужной форели, выращиваемой в УЗВ в апреле 2016 г., свидетельствовали о нормальном физиологическом состоянии рыбы.

В июне 2016 г. все гематологические показатели, включая лейкоцитарную формулу, у самок и самцов радужной форели заметно сблизились и достоверно не различались. Обращает на себя внимание больший уровень КСБ у самцов (на 12 %) в сравнении с самками. Это подтверждает закономерность, установленную Г.Г.

Серпуниным [150] для производителей карпа, согласно которой у половозрелых самцов КСБ достоверно больше.

Сравнение показателей крови радужной форели из УЗВ в июне с гематологической нормой для радужной форели, выращиваемой в установке с морской оксигенированной водой [150], показало, что в июне 2016 г. у самок и самцов радужной форели из УЗВ концентрация лейкоцитов, уровень СГЭ, ЦП и КСБ находились в доверительных границах нормы; значения концентрации гемоглобина, эритроцитов и СОЭ (только у самцов) – превышали ее, а концентрация общего белка в сыворотке крови (ОБС) – была ниже нижней доверительной границы нормы. Последнее, по нашему мнению, может быть связано с более быстрым развитием рыб в УЗВ и большей зрелостью половых клеток у них.

У двухлетков, наоборот, были различия в гематологических показателях в зависимости от пола рыб. Так, в сентябре 2016 г. концентрация гемоглобина и эритроцитов в периферической крови у самцов форели было достоверно выше ($p < 0,01$), чем у самок (таблицы 25-26, рисунки 57, 58). Показатели белой крови самок и самцов достоверно не отличались в связи с их большой вариабельностью, но у первых заметно меньше (в два и более раз) были средняя доля миелоцитов и метамиелоцитов нейтрофильных, сегментоядерных нейтрофилов, общий процент нейтрофилов, индекс сдвига лейкоцитов. Достоверными различия ($p < 0,05$) были в доле моноцитов между самцами ($0,75 \pm 0,14$) и самками ($0,25 \pm 0,14$) в сентябре. У исследованных рыб был высокий уровень ОБС, что, по мнению А.В. Золотовой это характеризует высокие адаптационные возможности и свидетельствует о высокой резистентности рыб [44]. А по нашему мнению, это свидетельствует о начале полового созревания самцов. Как отмечалось ранее, часть самцов в сентябре 2016 г. была текучая. По данным Г.Г. Серпунина [152], у текучих самцов карпа показатель ОБС существенно больше нормативного по сравнению с не текучими самцами, а у текучих самок ОБС ниже нормы.

Таким образом, в июне в сравнении с апрелем большее количество гематологических показателей находилось в доверительных границах нормы для радужной форели. В сентябре картина гематологических показателей несколько изменилась в связи с интенсивным развитием половых органов. Лейкоцитарная

формула, низкий процент моноцитов, отсутствие в периферической крови патологически измененных клеток, наряду с высокой концентрацией гемоглобина, концентрацией лейкоцитов, уровнем СГЭ, ЦП и КСБ, находящимися в доверительных границах нормы, указывают на нормальное физиологическое состояние рыб, и характеризует высокие адаптационные возможности форели при выращивании в УЗВ.

6.3 Иммунологические особенности ремонта и производителей радужной форели

Иммунная система рыб представлена нефросом, селезенкой, лимфоидным органом, печенью, а также множественными включениями лимфоидной ткани в органах. Непосредственными исполнителями функции защиты являются органы с барьерными функциями - кожа, жабры, желудочно-кишечный тракт, а также лейкоциты (все виды) [82].

В качестве иммунологических показателей использовали концентрацию лизоцима и γ -глобулинов, бактериостатическую активность органов, которые определяли у сеголетков (28.10.2015 г.), годовиков (07.06.2016 г.) и двухлетков (26.09.2016 г.) радужной форели [46].

Общую оценку неспецифического иммунитета обычно проводят по активности лизоцима. У рыб сезон года, физиологическое состояние сильно меняют титр лизоцима. Так, наибольшие значения активности лизоцима у карпа наблюдается осенью, в конце сезона выращивания, и минимальны в конце зимовки. Также есть данные, что хищные рыбы имеют более высокие титры лизоцима, чем мирные [82].

Температурный фактор имеет важное значение в определении выраженности реакции рыб на антигенное раздражение. При низкой температуре (8-12 °С) синтез антител либо совсем не происходит, либо идет медленно и в незначительном количестве [1, 4, 205, 212, 249, 258]. Также бактерицидная активность лизоцима зависит от температуры и уменьшается с ее понижением. Активность лизоцима проявляется при рН от 4 до 8,6, достигая оптимума при нейтральной среде (рН = 7,2) [81]. При выращивании форели в УЗВ, все абиотические показатели находились в пределах оптимальных значений для данного вида рыб, поэтому не могли влиять на значения при проведении анализа.

Полученные нами данные о концентрации лизоцима в организме радужной форели, выращиваемой в УЗВ, свидетельствуют о неоднородности распределения лизоцима по отдельным органам (рисунок 61). Начальная концентрация лизоцима (до термостатирования) в организме сеголетков радужной форели отличалась незначительно от 0,31 (в селезенке) до 0,44 мкг/мл (в жабрах) и годовиков от 0,29 (в жабрах) до 0,53 мкг/мл (в селезенке). После термостатирования концентрация лизоцима увеличилась во всех исследованных органах. Наибольшее количество лизоцима было установлено у сеголетков в жабрах – 1,46 мкг/мл.

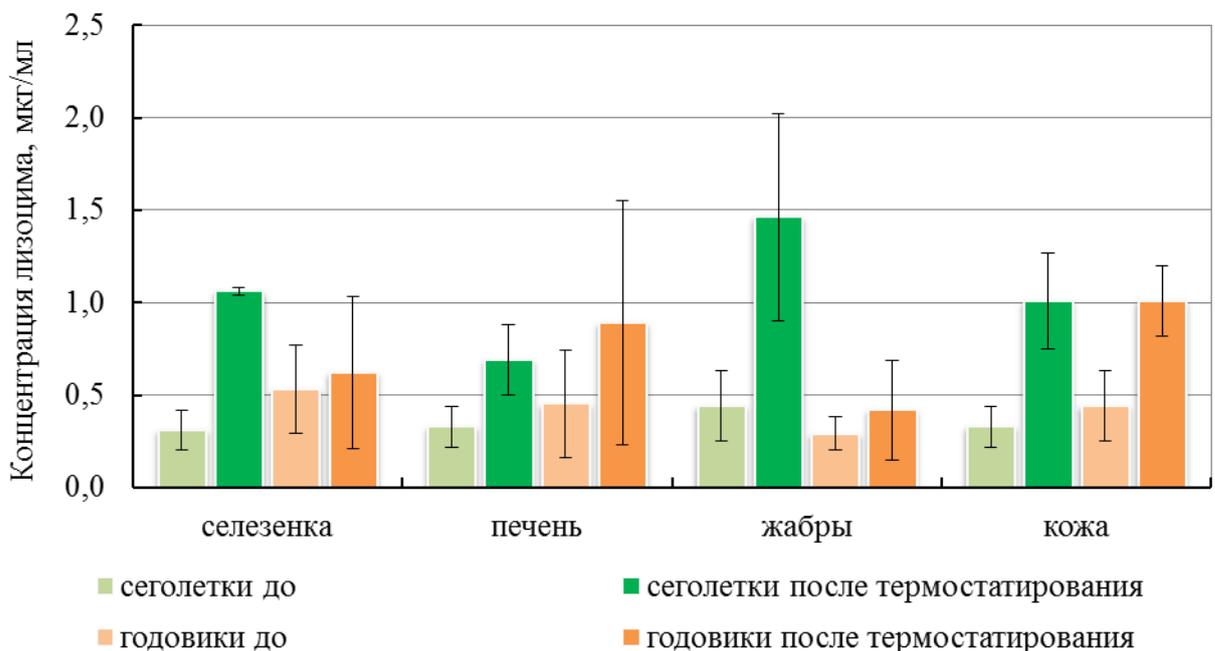


Рисунок 61 – Изменение концентрации лизоцима до и после термостатирования в организме сеголетков и годовиков радужной форели

Различия между начальной концентрацией лизоцима и после термостатирования в органах сеголетков форели были достоверны при $p < 0,01$ (печень) и $p < 0,001$ (селезенка, жабры, кожа). У годовиков после термостатирования концентрация лизоцима увеличилась во всех исследованных органах, но только в коже в пределах достоверных различий ($p < 0,01$). Такое распределение активности лизоцима связано с ролью органов в общей системе иммунной защиты, когда жабры и кожа рыб, в первую очередь, выполняют барьерную функцию защиты организма.

Селезенка как орган кроветворения содержит довольно много лизоцима (1,06 мкг/мл). В печени сеголетков его значительно меньше (на 34,9 %) - 0,69 мкг/мл. У годовиков, наоборот, данный показатель на 30,3 % увеличился по сравнению с селезенкой.

Как видно на рисунке 62, у годовиков также наблюдалась общая закономерность в проявлении между концентрацией (после термостатирования) и активностью лизоцима, но более значимую защитную роль у годовиков выполняла кожа (1,01 мкг/мл и 12,7 ед/мл/мин). Как известно, кожные покровы и слизь у рыб являются первой линией защиты на пути инфицирования патогенными микроорганизмами [134].

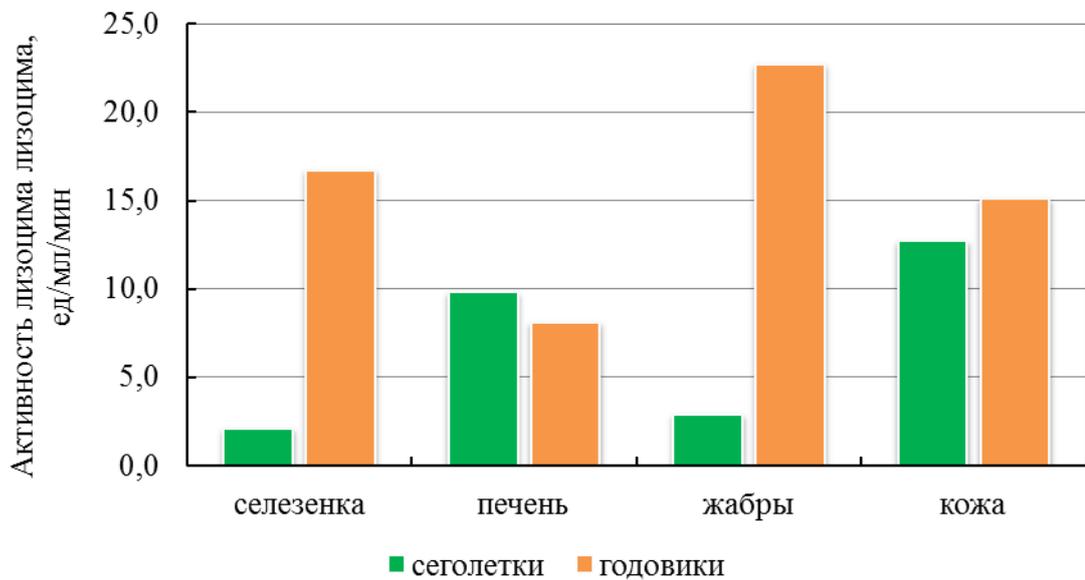


Рисунок 62 – Изменение активности лизоцима в организме сеголетков и годовиков радужной форели

Наименьшие значения активности лизоцима были отмечены в жабрах 2,9, а наибольшие в коже – 12,7 ед/мл/мин. При анализе возрастных изменений по активности лизоцима между сеголетками и годовиками достоверные различия были обнаружены только для жабр ($p < 0,01$).

У двухлетков форели были незначительные различия в начальных концентрациях лизоцима по половому признаку (рисунок 63). Минимальные значения данного показателя были отмечены в селезенке как у самцов 0,25 мкг/мл, так и у самок

0,31 мкг/мл. Максимальные значения, как по начальной, так и по конечной концентрации лизоцима, были зафиксированы у самцов в коже – 0,41 и 1,82 мкг/мл, а у самок в жабрах – 0,41 и 2,49 мкг/мл, соответственно. Достоверные различия между начальными и конечными концентрациями лизоцима у двухлетков были обнаружены во всех исследуемых органах при $p < 0,01$ и $p < 0,001$, соответственно, кроме селезенки у самцов.

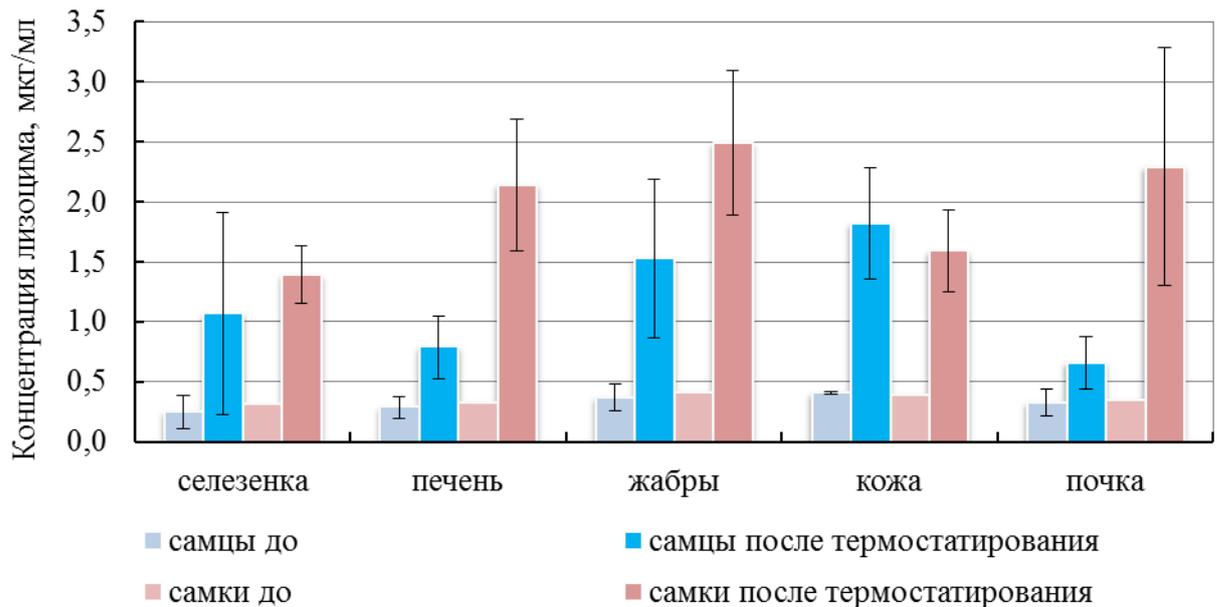


Рисунок 63 – Изменение концентрации лизоцима до и после термостатирования в организме самцов и самок радужной форели

У самок отмечали наименьшую активность лизоцима в селезенке 24,1 ед/мл/мин и в коже 26,7 ед/мл/мин, у самцов – в почке 7,33 ед/мл/мин и печени 11,1 ед/мл/мин (рисунок 64). Такое распределение активности лизоцима связано с ролью данных органов в неспецифическом иммунном ответе.

Анализ возрастных изменений между годовиками и самцами радужной форели показал достоверные различия большей значимости для жабр ($p < 0,001$). Различия в величине показателей в коже и селезенке исследуемых рыб были достоверными при $p < 0,01$.

Наибольшие значения активности лизоцима были зафиксированы у самок в жабрах 46,2 ед/мл/мин, у самцов – в коже 31,3 ед/мл/мин. Такие высокие значения активности лизоцима объясняются ролью кожи и жабр в системе иммунной защиты рыб как первый защитный барьер.

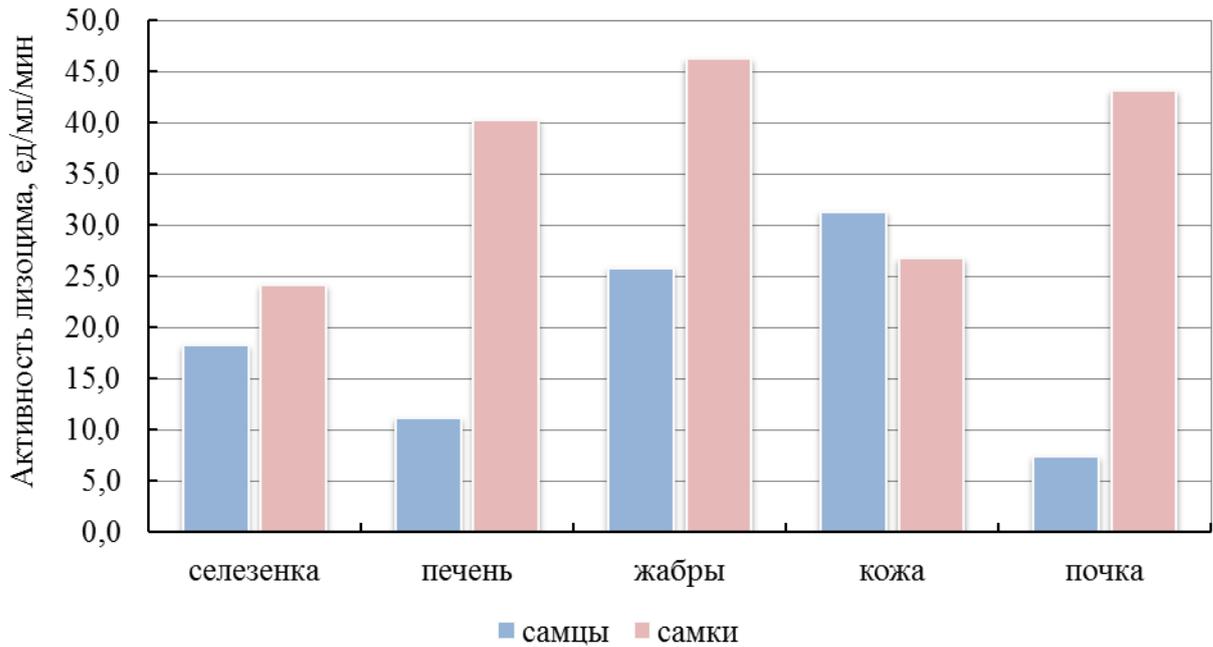


Рисунок 64 – Изменение активности лизоцима в организме самцов и самок радужной форели

Стоит обратить внимание на значения конечной концентрации лизоцима у самок, которые были выше 1,0 мкг/мл во всех исследуемых органах форели по сравнению с младшими возрастными группами. Высокая активность лизоцима отмечена в коже, почках, печени и селезенке самок радужной форели. Вероятно, это связано с тем, что данные органы богаты лимфоидными клетками, вследствие чего в них интенсивно протекают процессы фагоцитоза. Осуществляя барьерные функции, задерживая в себе антигены, эти органы препятствуют их дальнейшему распространению по организму. Отмечаемое увеличение конечной концентрации и активности лизоцима в органах самок может говорить о происходящем усилении иммунной защиты рыб, в период созревания половых клеток [46].

Таким образом, подтверждаются исследования других авторов [82] о том, что у костистых рыб в преднерестовый и нерестовый периоды более высокое содержание лизоцима по сравнению со значениями в нагульный период.

Концентрация γ -глобулинов. При сравнении возрастных изменений в концентрации γ -глобулинов во внутренних органах можно отметить, что исследуемый показатель с возрастом увеличивался в печени и селезенке (рисунок 65). У сеголет-

ков данный показатель в печени был $5,51 \pm 0,74 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$, у годовиков – $7,23 \pm 1,89 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$. В селезенке увеличивался соответственно от $6,30 \pm 1,69 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$ до $7,58 \pm 1,37 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$. Во внешних покровах тела и слизистых жаберного эпителия наоборот отмечали снижение концентрации γ -глобулинов. В коже данный показатель составил $9,64 \pm 1,00 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$ у сеголетков, $3,53 \pm 0,77 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$ ($p < 0,001$) у годовиков, в жабрах $9,44 \pm 0,74 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$ и $6,44 \pm 2,14 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$, соответственно.

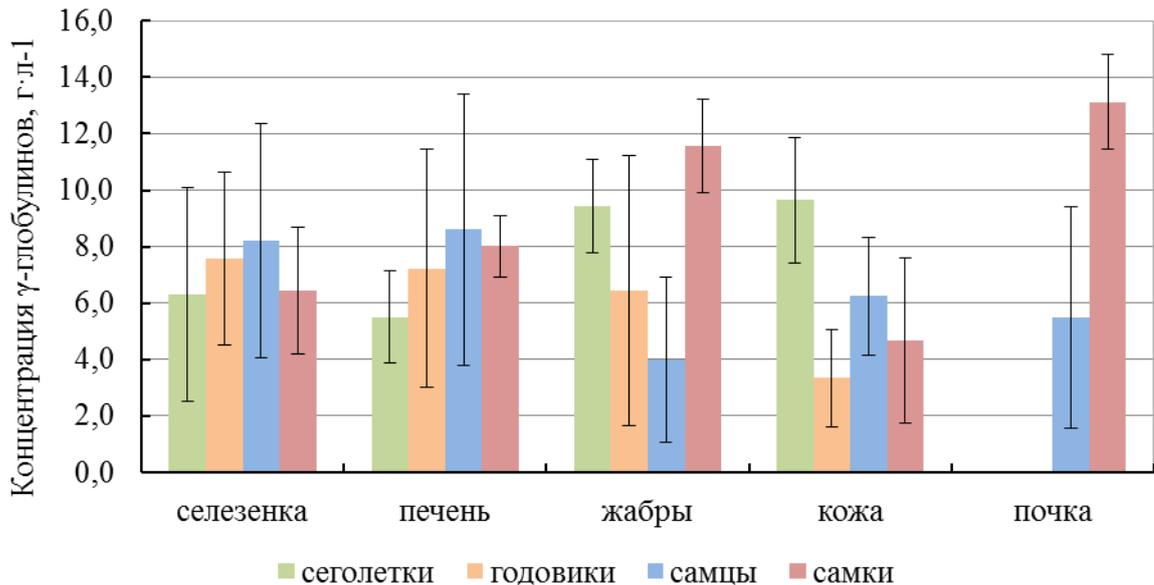


Рисунок 65 – Изменение концентрации γ -глобулинов в органах радужной форели

У двухлетков форели была другая картина распределения концентрации γ -глобулинов в органах по сравнению с младшими возрастными группами. Так, у самцов радужной форели наибольшее значение концентрации γ -глобулинов отмечали в печени ($8,60 \pm 1,87 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$) и селезенке ($8,21 \pm 1,87 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$), а наименьшее в жабрах ($4,00 \pm 1,31 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$), что подтверждает ранее отмеченную тенденцию. У самок распределение концентрации γ -глобулинов было несколько иным, чем у самцов. Максимальные значения исследуемого показателя были отмечены в почках ($13,13 \pm 0,88 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$) и жабрах ($11,55 \pm 0,74 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$), а наименьшее – в коже ($4,67 \pm 1,31 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$).

Согласно литературным данным основным местом синтеза иммуноглобулинов является ткань почек и селезенки. Увеличение концентрации γ -глобулинов в этих органах является подтверждением активного синтеза [37]. По нашим данным видно, что в возрасте двухлетков между самцами и самками отмечаются достовер-

ные различия по концентрации γ -глобулинов в почке ($p < 0,01$) и жабрах ($p < 0,001$). Очевидно, усиление иммунологической защиты у самок связано с возрастанием роли генеративного обмена в организме [46].

Из литературных данных по форели, выращиваемой в прудах, известно, что у нее с возрастом происходит снижение концентрации γ -глобулинов. В возрасте годовиков данный показатель составляет 9,05 г/л, у четырехгодовиков – 7,75 г/л, у двухгодовиков – 5,4 г/л [69]. В нашем случае, при выращивании рыбы в УЗВ, отмечали сходную тенденцию из всех исследуемых органов только в коже.

Бактериостатическая активность (БА) и напряженность бактериостатической активности (НБА). Бактериостатическая активность в организме радужной форели не зависела от возраста и пола, ее значения были достаточно высокими и не имели достоверных различий в исследуемый период (рисунок 66).

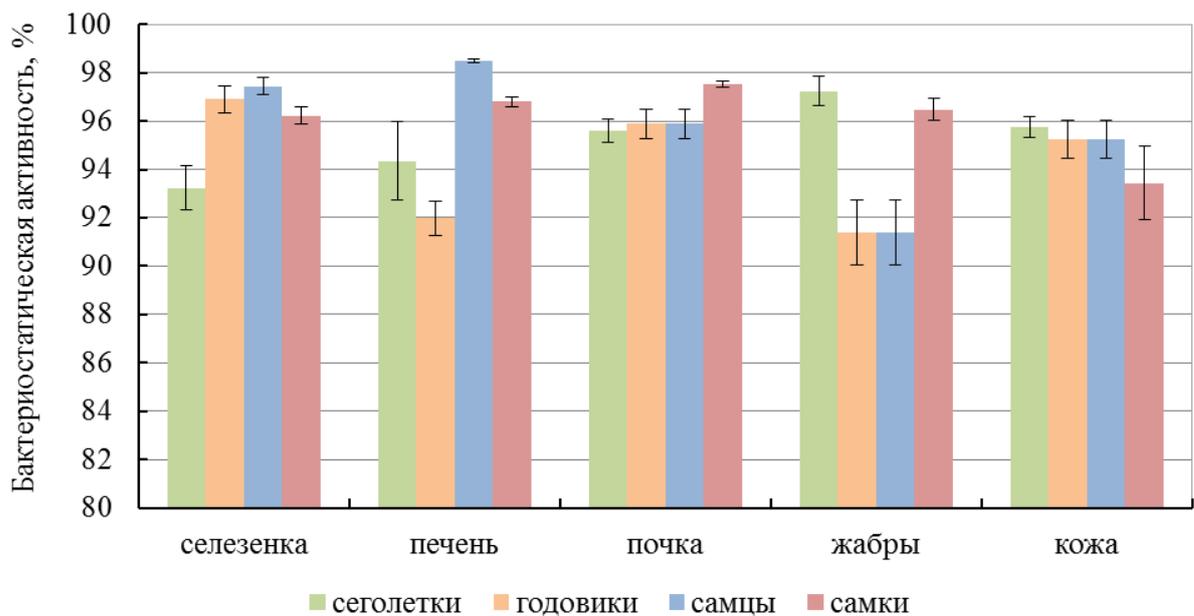


Рисунок 66 – Изменение бактериостатической активности у радужной форели, выращиваемой в УЗВ

В возрасте сеголетков наибольшее значение БА отмечали в жабрах – 97,23 %, а наименьшее в селезенке – 93,24%. В возрасте годовиков отмечали противоположную картину: наибольшее значение было в селезенке – 96,92 %, а наименьшее в жабрах – 91,4 %.

У рыб в возрасте двухлетков данный показатель также имел близкие значения независимо от пола. Наибольшее значение было отмечено у самцов в печени – 98,48 %, у самок в почке – 97,54 %, наименьшее в жабрах – 91,4 % и в коже – 93,44

%, соответственно. Достоверных различий в возрастных изменениях показателя БА у радужной форели при выращивании в УЗВ обнаружено не было.

Согласно имеющимся литературным данным бактериостатическая активность сыворотки крови

у хищных рыб (судак, щука, окунь) из естественных водоемов составляет 55 % у окуня и 92 % у щуки. Для этого показателя характерна сезонная динамика – минимальные значения отмечают летом, максимальные осенью (92 – 93 %), а зимой величина этого показателя снижается до 86-87 % [81]. Как известно, проявление иммунной реакции организма зависит от абиотических и биотических факторов среды [61].

В условиях УЗВ стараются поддерживать на постоянном (оптимальном) уровне температуру воды, концентрацию растворенного кислорода, рН, соединений азота и других химических элементов. Соответственно этому уровню биотехники формируются количественный и качественный состав микроорганизмов. В результате взаимодействия всего комплекса факторов, по нашему мнению, в условиях УЗВ у радужной форели величина бактериостатической активности остается относительно постоянной и достаточно высокой [46].

Оценивая напряженность бактериостатической активности (НБА) в органах рыб (рисунок 67), можно отметить, что достоверно исследуемый показатель с возрастом увеличивался только в селезенке с 15,4 до 39,5 % ($p < 0,001$), в жабрах годовиков – уменьшение с 36,7 до 16,05 % ($p < 0,01$).

У самцов в возрасте двухлетков были зафиксированы максимальные значения НБА во всех исследуемых органах. Достоверно ниже НБА была у самок во всех исследованных органах (за исключением жабр). По сравнению с самцами, НБА в почке у самок была ниже 41,15 % ($p < 0,001$), в коже 19,84 % ($p < 0,001$). В печени исследованных рыб также отмечали наибольшие значения НБА у самцов – 65,12 %, чем у самок – 31,33 % ($p < 0,001$), в селезенке 41,12 % и 27,51 % ($p < 0,01$), соответственно.

Обращает внимание, что НБА у самцов во всех исследованных органах была существенно выше, чем у самок.

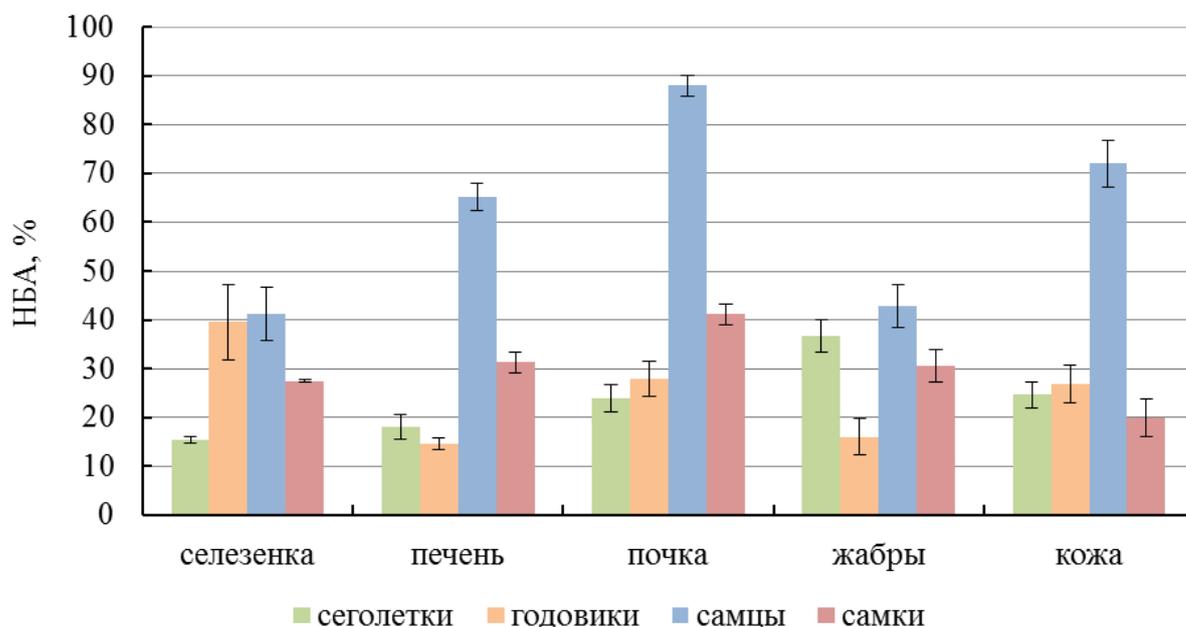


Рисунок 67 – Показатель напряженности бактериостатической активности (НБА) у радужной форели

Такие значения, возможно, связаны с тем, что в сентябре в развитии половой системы самцы опережают самок и, как следствие, более напряженный обмен веществ у самцов делает целесообразным усиление иммунной защиты организма. То, что самцы созревают раньше самок на две – шесть недель, подтверждают данные разных авторов для условий форелевых хозяйств с естественной термикой воды [178]. Аналогичная тенденция подтверждена нами для условий УЗВ [101].

Общая картина иммунологических особенностей ремонта и производителей форели представлена в таблице 27.

Таким образом, полученные данные о концентрации лизоцима в организме радужной форели свидетельствуют о неоднородности его распределения по отдельным органам. Она была близкой у сеголетков и годовиков, но с интенсификацией генеративного обмена у рыб этот показатель увеличился независимо от пола.

При сравнении возрастных изменений концентрации γ -глобулинов и лизоцима, как основных факторов специфического и неспецифического иммунитета рыб, можно отметить, что у сеголетков происходит усиление неспецифического иммунитета в коже и жабрах. Увеличение активности лизоцима в селезенке, возможно, связано с синтезом его гранулоцитами, находящимися в этом органе.

Таблица 27 – Иммунологические показатели органов радужной форели, М±m

Орган	Сеголетки	Годовики	Двухлетки	
			Самцы	Самки
<i>Концентрация лизоцима (до / после термостатирования), мкг/мл</i>				
Селезенка	0,31±0,11	0,53±0,24	0,25±0,14	0,31±0,09
	1,06±0,18	0,62±0,41	1,07±0,84	1,39±0,24
Печень	0,33±0,11	0,45±0,29	0,29±0,09	0,33±0,08
	0,69±0,19	0,89±0,66	0,79±0,26	2,14±0,55
Почка	-	-	0,33±0,11	0,35±0,10
			0,66±0,22	2,29±0,99
Жабры	0,44±0,19	0,29±0,09	0,37±0,11	0,41±0,09
	1,46±0,56	0,42±0,27	1,53±0,66	2,49±0,60
Кожа	0,33±0,11	0,44±0,19	0,41±0,01	0,39±0,09
	1,01±0,26	1,01±0,19	1,82±0,46	1,59±0,34
<i>Активность лизоцима, ед/мл/мин</i>				
Селезенка	2,1	16,7	18,2	24,1
Печень	9,8	8,1	11,1	40,2
Почка	-	-	7,3	43,1
Жабры	2,9	22,7	25,8	46,2
Кожа	12,7	15,1	31,3	26,7
<i>Бактериостатическая активность, %</i>				
Селезенка	93,24±0,89	96,91±0,56	97,44±0,35	96,22±0,35
Печень	94,35±1,61	91,99±0,71	98,49±0,07	96,80±0,21
Почка	95,61±0,49	95,89±0,61	95,89±0,61	97,54±0,14
Жабры	97,23±0,61	91,40±1,33	91,40±1,33	96,48±0,45
Кожа	95,76±0,44	95,23±0,79	95,23±0,79	93,44±1,54
<i>Напряженность бактериостатической активности, %</i>				
Селезенка	15,40±0,67	39,50±7,75	41,12±5,46	27,51±0,35
Печень	18,09±2,53	14,60±1,20	65,12±2,81	31,33±2,12
Почка	23,84±2,75	27,94±3,60	87,99±2,07	41,15±2,08
Жабры	36,70±3,21	16,05±3,61	42,86±4,43	30,60±3,25
Кожа	24,60±2,60	26,85±3,87	72,04±4,76	19,84±3,88

У самок радужной форели в период созревания половых клеток усиливается иммунная защита организма не только за счет усиления активности лизоцима, как фактора не специфического иммунитета, но и концентрации γ -глобулинов. Как известно, в естественных условиях рыбам свойственны сезонные изменения факторов специфического и неспецифического иммунитета. Так в весенне-летний сезон основным фактором защиты является лизоцим, а в осенне-зимний период его активность снижается, но при этом возрастает концентрация γ -глобулинов. В определенной мере эти тенденции сохраняются и у форели третьей генерации, выращива-

емой в УЗВ. Наибольшие различия γ -глобулинов были отмечены на первой линии защиты от инфицирования – в коже и жабрах. Напряженность бактериостатической активности во всех органах была выше у самцов в возрасте двухлетков, что связано опережением созревания по сравнению с самками.

6 БИОТЕХНИЧЕСКИЕ НОРМАТИВЫ ФОРМИРОВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ РЕМОНТНО-МАТОЧНЫХ СТАД РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ В УЗВ

Полученные за шесть лет исследований результаты и сравнение их с данными из литературных источников позволяют рекомендовать биотехнические нормативы, применение которых на практике обеспечит формирование и эксплуатацию ремонтно-маточных стад радужной форели в УЗВ, а также получение от производителей качественного посадочного материала форели для последующего выращивания товарной форели (таблица 28).

Таблица 28 – Биотехнические нормативы формирования ремонтно-маточного стада радужной форели в УЗВ

Показатели	Норма
Температура воды в период нагула ремонтно-маточного стада, °С	12 – 20
Температура воды в период «искусственной зимовки», °С	5 – 6
Температура воды в нерестовый период, °С:	
- 1-2 генерация форели	6 – 10
- 3 генерация форели	12 – 10
Температура воды при инкубации икры, °С	7 – 12
Температура воды при выдерживании предличинок, °С	12 – 14
Температура воды при подращивании личинок, °С	14 – 16
Температура воды при выращивании мальков, °С	15 – 18
Температура воды при выращивании молоди, °С	17 – 20
Содержание растворенного в воде кислорода, мг/л	более 7,0
рН	6,5 – 7,5
Содержание нитритов, мг/л	до 0,2
Средняя масса племенного материала в возрасте, г:	
4 мес	40-60
8 мес	500-700
12 мес	1000-1100
18 мес	1600-1850
24 мес	2100-2600
30 мес	2500-3300
36 мес	2800-3600
Выживаемость, %:	
- личинок	70
- мальков массой 1 г	70
- молоди в возрасте 4-х мес	90
- в возрасте 8 мес	90

Продолжение таблицы 22

- в возрасте 12 мес	95
- в возрасте 18 мес	95
- в возрасте 24 мес (с учетом потерь в нерестовый период)	95
- в возрасте 30 мес (с учетом потерь в нерестовый период)	95
- в возрасте 36 мес (с учетом потерь в нерестовый период)	95
Соотношение самцов и самок	1 : 2
Плотность посадки ремонта и производителей, шт./м ² :	
- мальки	100-150
- молодь	100
- ремонт в возрасте 12-18 мес	50
- производители массой 1 – 2 кг	25
- производители массой более 2 кг	10 – 15
Плотность посадки производителей в преднерестовый период, шт./м ²	10 – 20
Рабочая плодовитость самок, тыс. шт	2,3 – 3,5
Относительная плодовитость самок, тыс.шт. икринок на кг массы рыбы	1,2 – 1,6
Диаметр набухшей икринки, мм	4,1 – 4,5
Масса икринки, мг	70 – 110
Объем эякулята, мл	более 9
Время подвижности сперматозоидов, с	более 40
Процент оплодотворения икры, %	92 – 95
Выдерживание предличинок	
Плотность посадки предличинок в бассейны, шт/м ²	5000
Уровень воды в бассейнах, м	0,2 – 0,3
Продолжительность выдерживания предличинок, сут	10
Средняя масса предличинок, мг	120 – 140
Выход предличинок с инкубации, %	80
Подращивание личинок	
Плотность посадки личинок на подращивание, шт/м ²	3500
Уровень воды в бассейнах, м	0,3
Кратность кормления, раз/день	14 – 16
Продолжительность подращивания, сут	12
Выход личинок с подращивания, %	90
Средняя масса подрошенных личинок, г	0,3 – 0,4
Выращивание личинок	
Плотность посадки подрошенных личинок, шт/м ²	3200
Уровень воды в бассейнах, м	0,4
Кратность кормления, раз/день	14 – 16
Кормовой коэффициент	0,75
Продолжительность выращивания личинок, сут	30
Выход мальков, %	85 – 90
Средняя масса мальков, г	1,0 – 1,2
Выращивание молоди до 30-50 г	
Плотность посадки мальков, шт/м ²	1000

Окончание таблицы 22

Кратность кормления, раз/день	10 – 12
Кормовой коэффициент	0,8 – 0,9
Уровень воды в бассейнах, м	0,4 – 0,6
Продолжительность выращивания мальков, сут	25
Выход посадочного материала, %	95
Средняя масса посадочного материала, г	30 – 50
<i>Выращивание посадочного материала до 300 г</i>	
Плотность посадки молоди, шт/м ²	400
Уровень воды в бассейнах, м	0,4 – 0,6
Кратность кормления, раз/день	3 – 4
Кормовой коэффициент	0,9 – 1,0
Продолжительность выращивания посадочного материала, сут	120 – 130
Выход посадочного материала, %	95 – 98
Средняя масса посадочного материала, г	290 – 320

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые в России нами разработана технология формирования и эксплуатации ремонтно-маточного стада радужной форели в установках замкнутого водоснабжения. Установлены особенности созревания производителей радужной форели в специфических условиях УЗВ. Изучено влияние условий выращивания производителей радужной форели в УЗВ на качество их половых продуктов. Установлены особенности роста и жизнестойкости, кормления рыб в трех последовательных генерациях.

Разработаны и предложены биотехнические нормативы формирования и эксплуатации ремонтно-маточных стад радужной форели в УЗВ.

Впервые установлены особенности модификационных изменений экстерьера тела у производителей и их потомства, выращиваемых в хозяйствах с естественной термикой воды и управляемого режима выращивания в УЗВ. Установлен морфофизиологический, гематологический и иммунологический статусы радужной форели в возрасте сеголетков, годовиков и двухлетков, выращиваемой в УЗВ.

По результатам исследования можно сделать следующие выводы:

1) При формировании и эксплуатации ремонтно-маточного стада в УЗВ температурный и гидрохимический режим удовлетворял биологическим потребностям радужной форели. Однако, специфика температурного режима при формировании трех последовательных генераций ремонтно-маточных стад, выражаемая в большей сумме градусо-дней в предшествующий созреванию производителей период, по сравнению с естественными условиями, способствовала увеличению размерных характеристик производителей;

2) У рыб трех генераций форели скорость роста в большей степени, соответствовала специфическим условиям УЗВ по сравнению с «маточным» водоемом (садковое хозяйство);

3) В ходе адаптации к условиям УЗВ у форели третьей генерации установлен измененный механизм созревания, отличный от рыб первой и второй генерации. Созревание половых продуктов у рыб проходило на фоне снижения температуры воды, что более характерно для осенне-нерестующих рыб;

4) Использование рецептур корма Aller Sturgeon REP EX для производителей, Aller Futura, Aller Bronze и Aller Trident для молоди и ремонта, а также посадочного

материала позволило подтвердить их высокую эффективность. Величина кормового коэффициента при выращивании личинок, мальков и ремонта до начала созревания не превышала 1, при выращивании производителей – не превышала: 2,35 у первой генерации; 1,5 у второй и 1,4 у третьей генерации;

5) В УЗВ производители форели отличались высокими размерно-весовыми характеристиками и качественными половыми продуктами. Рабочая плодовитость составила 2107,1 – 3273,3 шт, относительная рабочая плодовитость 1121,1 – 1423,3 шт/кг, средний диаметр набухших икринок 4,28 – 4,40 мм, средний объем эякулята 9,17 – 11,5 мл, время подвижности сперматозоидов 45,6 – 49,3 с, процент оплодотворения икры 92 – 98 %;

6) Потомство производителей радужной форели, выращиваемых в УЗВ, отличалось высокой скоростью роста и жизнестойкостью. В возрасте 8 мес посадочный материал достиг массы близкой к 300 г, отличался однородностью по размерным показателям и жизнестойкостью, сопоставимой и превышающей нормативы для открытых рыбоводных систем (69,4 – 86,9 %);

8) Оценка доли влияния экологических факторов позволила установить величину экологического коэффициента роста молоди форели на уровне значений близких к 1 (0,872 – 0,962), что подтверждает возможность создания в УЗВ условий, обеспечивающих высокий уровень раскрытия ростовой потенции;

9) Условия выращивания форели в УЗВ приводят к модификационной изменчивости в последовательных поколениях потомства, достигающего возраста половозрелости. У производителей форели второй генерации, выращиваемой в УЗВ, отмечали увеличение индексов высоты тела, высоты головы, максимального обхвата тела, а также укорачивание хвостового стебля. У рыб третьей генерации отмечалось возвращение по ряду морфометрических признаков к производителям, выращиваемым в садковом хозяйстве;

10) Отмечены сходная картина в изменении индексов внутренних органов у радужной форели, выращиваемой в УЗВ и садковом хозяйстве, и определенные отличия в их величине. Более высокие значения индексов печени, кишечника, почек установлены для производителей, выращенных в УЗВ.

11) Кровь радужной форели, выращенной в УЗВ, имела высокий уровень гемоглобина: 88,67 – 123,00 г·л⁻¹ у самцов и 80,00 – 108,00 г·л⁻¹ у самок. При этом у

них наблюдалась высокая концентрация эритроцитов $1,39 - 1,42 \text{ Т}\cdot\text{л}^{-1}$ и $1,06 - 1,43 \text{ Т}\cdot\text{л}^{-1}$ и лейкоцитов $18,35 - 31,40 \text{ Г}\cdot\text{л}^{-1}$ и $12,75 - 44,41 \text{ Г}\cdot\text{л}^{-1}$, как у самцов, так и у самок, что, по всей видимости, отражает специфические условия выращивания. Белая кровь радужной форели имела резко лимфоидный характер (идентифицированы 8 различных форм лейкоцитов). Высокое разнообразие различных клеток крови отражает специфику условий выращивания и находится в доверительных границах нормы для форели.

12) Значения концентраций лизоцима и γ -глобулинов в различных органах радужной форели, выращиваемой в УЗВ, подтверждают благоприятные условия выращивания. Отличительной особенностью распределения данных показателей в организме является большая концентрация и активность в коже и жабрах – первой линии иммунной защиты рыб.

Практические рекомендации

1 В процессе адаптации радужной форели, переводимой из открытых рыбоводных систем в УЗВ, на всех этапах выращивания вплоть до половозрелого возраста рекомендуется придерживаться разработанных нами биотехнических нормативов.

2 При формировании первой и второй генерации производителей радужной форели целесообразно проводить «искусственную зимовку» при температуре воды $5 - 6 \text{ }^\circ\text{C}$. При формировании третьей генерации производителей радужной форели созревание производителей следует ожидать при снижении температуры воды с 12 до $10 \text{ }^\circ\text{C}$.

3 При кормлении личинок, мальков, ремонта и производителей форели рекомендуется использовать корма с содержанием белка более 50% , при выращивании посадочного материала – корма с содержанием белка $45 - 49 \%$ с содержанием жира во всех рецептурах $12 - 15 \%$.

4 Посадочный материал форели в УЗВ в возрасте 8 мес, достигающий размера порционной форели, рекомендуется использовать при дальнейшем выращивании с целью получения более крупной товарной рыбы по комбинированной схеме: УЗВ – открытые рыбоводные системы.

Перспективы дальнейшей разработки темы исследований ориентированы на оценку качества производителей с повторными созреваниями и установлением

биотехнических параметров их дальнейшей эксплуатации с целью получения качественного потомства, а также формирование групп производителей созревающих в равноудаленные сроки в течение года и придания биотехническому процессу полициклического характера получения посадочного материала и выращивания товарной форели в УЗВ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Аветикян Б.Г. Судьба чужеродного антигена в организме рыб / В кн.: Экспериментальная и клиническая иммунология. Л.: Наука, 1959. С. 254 – 269.
2. Аксютин З.М. Элементы математической оценки результатов наблюдений в биологических и рыбохозяйственных исследованиях. М.: Пищ. пром-сть, 1968. 292 с.
3. Алабастер Дж., Ллойд Р. Критерии качества воды для пресноводных рыб. М.: Легк. и пищ. пром-сть, 1984. 384 с.
4. Алтухов Ю.П., Салменкова У.В., Омельченко В.Т. Популяционная генетика лососевых рыб. М.: Наука, 1997. 288 с.
5. Альтов А.В. Оценка роста радужной форели в морской воде с помощью параметров стандартной модели массонакопления / Тезисы докладов III всесоюзного совещания «Садковое рыбоводство в естественных водоемах». М.: ВНИИПРХ, 1988. С. 5 – 6.
6. Аминова В.А., Яржомбек А. А. Физиология рыб. М.: Легкая и пищ. пром-сть, 1984. 200 с.
7. Аси А. Экспериментальная рециркуляционная установка «Биорек» для выращивания форели // Рыбное хозяйство, 1980. № 2. С. 30 -31.
8. Бабушкин Ю. П. О связи качества спермы самцов радужной форели с возрастом и упитанностью производителей // Известия ГосНИИ озер и реч. рыб. хоз-ва, 1976. Т. 113. С. 8 – 11.
9. Бабушкин Ю. П. Продуцирование спермы самцами радужной форели разных групп и возрастов // Известия ГосНИИ озер и реч. рыб. хоз-ва, 1974. Т. 97. С. 115 – 122.
10. Бабушкин Ю. П. Сравнительная морфологическая характеристика самцов разных породных групп радужной форели *Salmo irideus* Gibb // Вопросы ихтиологии, 1974. Т. 14. Вып. 5. С. 827 – 837.
11. Божко А.М. Возрастные изменения относительных размеров внутренних органов озерного лосося. Сб. «Биология внутренних водоемов Прибалтики». Л.: Изд. АН СССР, 1962. С. 86-89.

12. Божко А.М. Морфо-экологические изменения роста и развития внутренних органов рыб некоторых озер Карелии / Сб.: «Вопросы гидробиологии водоемов Карелии». Уч. Зап. Карельск. Пед. Ин-та. Петрозаводск, 1963. Т. 15. С. 188-194.
13. Божко А.М. О некоторых закономерностях роста и развития селезенки рыб // Тезисы докл. VII сессии уч. Совета по проблеме «Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Карелии». Петрозаводск, 1968. С. 63-64.
14. Божко А.М., Смирнов В.С. Относительный вес селезенки рыб как морфо-физиологический индикатор // Тезисы докладов III Зоологической конференции Белорусской ССР. Минск, 1968. С. 102–104.
15. Боровик Е.А. Радужная форель. Минск: Наука и техника, 1969. 156 с.
16. Бруснынина И. Н. Возрастные изменения внутренних органов рыб. Биология и продуктивность водных организмов // Труды Института экологии растений и животных. Сб. науч. тр. УФАН СССР, 1970. Вып. 72. С. 25 – 26.
17. Бубунец Эдуард Владимирович. Воспроизводство и выращивание анадромных осетровых рыб Понто-Каспийского бассейна в условиях тепловодных хозяйств: дис. ... док. с.-х. наук: 06.04.01 - рыбное хозяйство и аквакультура. Москва: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2016. 393 с.
18. Бухарин О.В., Васильев Н.В. Лизоцим и его роль в биологии и медицине. Томск: ТГУ, 1974. 209 с.
19. Ведемейер Г.А., Мейер Ф.П., Смит Л. Стресс и болезни рыб. М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1981. 128 с.
20. Веригин Б.В. Теплоэнергетика и рыбное хозяйство // Рыбное хозяйство, 1962. № 9. С. 14 – 18.
21. 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.
22. Галкина З.И. Качество самок радужной форели и их потомства // Обмен веществ и биохимия рыб. М.: Наука, 1967. С. 75-79.
23. Гамыгин Е.А. Комбикорма для рыб: производство и методы кормления / Е.А. Гамыгин, В.Я. Лысенко, В.Я. Скляр, В.И. Турецкий. М.: Агропромиздат, 1989. 168 с.

24. Гамыгин Е.А. Кормление лососевых рыб в индустриальной аквакультуре: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 1996. 77 с.
25. Гематологические показатели годовиков радужной форели при выращивании в УЗВ / **К.А. Молчанова**, Е.И. Хрусталева, Г.Г. Серпунина, Л.В. Савина // Рыбное хозяйство, 2018. № . С. 69 – 72.
26. Голованов В.К., Лапкин В.В., Валтонен Т. Оптимальные температурные режимы в жизненном цикле радужной форели // Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Европейского Севера. Тез. Докл. Международн. Конф. Петрозаводск, 1995. С. 234 – 235
27. Голованов В. К. Температурные критерии жизнедеятельности пресноводных рыб. М.: Полиграф-плюс, 2013. 300 с.
28. Голованов В.К. Эколого-физиологические закономерности распределения и поведения пресноводных рыб в термоградиентных условиях // Вопр. Ихтиологии, 2013. Т. 53. № 3. С. 286–314.
29. Головина Н.А. Метода гематологических исследований в ихтиопатологической практике // Экспресс-информация ЦНИИТЭИРХ. Сер.: Рыбохозяйственное использование внутренних водоемов, 1979. № 4. С. 8 – 18.
30. Головина Нина Александровна. Морфофункциональная характеристика крови рыб – объектов аквакультуры: автореферат дисс. ... д-ра биол. наук. 03.00.10 – Ихтиология. М.: ВНИИПРХ, 1996. 53 с.
31. Голод В.М., Терентьева Е.Г. Ропшинская форель / Породы радужной форели (*Oncorhynchus mykiss* W.). Серия: Породы и одомашненные формы рыб. М.: Росинформагротех, 2006. С. 3 – 109.
32. Голод, В.М. Селекционно-племенная работа с радужной форелью: метод, пособие / В.М. Голод, В.Я. Никандров, Е.Г. Терентьева и др. СПб.: ГОСНИОРХ, 1995. 29 с.
33. Грищенко Л.И., Акбаев М.Ш., Васильков Г.В. Болезни рыб и основы рыбоводства. М.: Колос, 1999. 456 с.
34. Дахир Хабиб Дахир. Характеристика температурных адаптационных возможностей радужной форели в связи с акклиматизацией ее в озерах Ирака: дис. ... канд. биол. наук.: 03.00.10. Москва, 1986. 149 с.

- 35.Добринская Л.А. Органометрия некоторых видов рыб Обского бассейна: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Свердловск: Институт Биологии, 1964. 20 с.
- 36.Драбкина Б.М. Состав крови молоди осетра в зависимости от условий обитания. Обмен веществ и биохимия рыб. М.: Наука, 1967. С. 183 – 185.
- 37.Евстропова И. В. В-1-лимфоциты: физиология, функции, популяционная гетерогенность // Иммунология, 2004. №1. С. 46-56.
- 38.Евтюхова Б. К. О влиянии различных факторов среды на темп роста в море и величину икры, плодовитость балтийского лосося *Salmo salar* L. // Вопросы ихтиологии, 1965. Т. 5. Вып. 2. С. 371-374.
- 39.Елеонский А. Н. Прудовое рыбоводство. М.: Пищепромиздат, 1946. 307 с.
- 40.Ефимова Т.А., Сентищева С.В. Влияние величины суточного рациона на качество производителей радужной форели и их потомства // Л.: Сб. науч. Тр. ГосНИОРХ., 1982. С. 84 – 89.
- 41.Жигин А.В. Замкнутые системы в аквакультуре. М.: РГАУ-МСХА, 2011. 664 с.
- 42.Жукинский В.Н. Влияние абиотических факторов на разнокачественность и жизнеспособность рыб в раннем онтогенезе. М.: Агропромиздат, 1986. 243 с.
- 43.Замахаев Д. Ф. О компенсационном росте // Вопросы ихтиологии, 1967. Т. 7, № 2. С. 303 – 325.
- 44.Золотова Анастасия Владимировна. Морфофизиологические особенности двух форм радужной форели при выращивании в условиях тепловодного садкового хозяйства: дис. ... канд. биол. наук: 03.00.13. М.: Моск. с.-х. акад. им. К.А. Тимирязева, 2009. 148 с.
- 45.Иванова Н.Т. Атлас клеток крови рыб (сравнительная морфология и классификация форменных элементов крови рыб). М.: Легкая и пищ. пром-сть, 1983. 184 с.
- 46.Иммунологические показатели радужной форели, выращиваемой в УЗВ / **К.А. Молчанова**, Е.И. Хрусталева, Т.М. Курапова // Рыбное хозяйство, 2018. № . С. 73 – 79.
- 47.Инструкция по технологии разведения радужной форели в береговых бассейновых установках с использованием морской, смешанной и пресной воды / В.Л. Цуладзе, под ред. Е.А. Каменской. М.: ВНИРО, 1986. 62 с.

48. Икhtiопатология / Н.А. Головина, Ю.А. Стрелков, В.Н. Воронин и др. М.: Мир, 2003. 448 с.
49. Канидьев А.Н., Гамыгин Е. А. Новые рецепты полносистемных гранулированных кормов для форели и лосося в индустриальном рыбоводстве / Сб. научных трудов «Поликультура растительноядных рыб в прудовом хозяйстве и естественных водоемах». М.: ВНИИПРХ, 1975. Вып. 15. С. 203 – 220.
50. Канидьев А.Н., Гамыгин Е.А. О повышении эффективности искусственного разведения лососевых рыб // Итоги науки и техники. Серия: зоология позвоночных. Том 10. Биология и воспроизводство лососевых рыб. М.: Всесоюзный институт научной и технической информации, 1979. С. 108 – 151.
51. Канидьев А.Н., Гамыгин Е.А. Руководство по кормлению радужной форели полноценными гранулированными кормами. М.: ВНИИПРХ, 1977. 91 с.
52. Канидьев А.Н. Биологические основы искусственного разведения лососевых рыб. М.: Лег. и пищ. пром-сть, 1984. 216 с.
53. Канидьев А.Н., Новоженин Н.П., Титарев Е.Ф. Руководство по разведению радужной форели в пресной и соленой воде. М.: ВНИИПРХ, 1975. 60 с.
54. Карзинкин Г.С. К изучению физиологии пищеварения рыб // Труды Лимн. станц. в Косино, 1932. Вып. 15. С. 85 – 121.
55. Каталог Гидротех / ГК "Новые технологии": Профессиональное водоочистное оборудование, установок умягчения воды и дозирования и др. [Электронный ресурс] 2017. URL: <http://hydrotech.nt-rt.ru/> (дата обращения: 12.10.2017).
56. Кирпичников В.С. Генетика и селекция рыб. Л.: Наука, 1987. 520 с.
57. Киселев А.Ю. Установки с замкнутым циклом водоиспользования и технология выращивания в них объектов аквакультуры // Рыбное хозяйство. Сер. «Аквакультура», 1997. Вып. 1. 80 с.
58. Киселев А.Ю. Биологические основы и технологические принципы разведения и выращивания объектов аквакультуры в установках с замкнутым циклом водообеспечения: автореф. дис. ... док. биол. наук. М: ВНИИПРХ, 1999. 62 с.
59. Киселев А.Ю. Технология выращивания товарного осетра в установках с замкнутым циклом водообеспечения / А.Ю. Киселев, В.А. Слепнев, В.И. Филатов [и др.]. // М.: ВНИИПРХ, 1995. 19 с. 118.

60. Князева Л.М. Рекомендации по увеличению сроков хранения гранулированного корма для молоди форели путем опрыскивания его водным раствором витамина С. СПб.: Изд-во ГосНИОРХ, 1979. 12 с.

61. Кондратьева И.А., Киташова А.А., Ланге М.А. Организация, функционирование и регуляция иммунной системы рыб // М.: Вестн. МГУ. Сер.: Биология, 2001. № 4. С. 11 – 20.

62. Коржуев П.А. Гемоглобин. М.: Наука, 1964. 287 с.

63. Корма и кормление в аквакультуре / Е.И. Хрусталева, Т.М. Курапова, О.Е. Гончаренко, **К.А. Молчанова** // СПб.: Лань, 2017. 388 с.

64. Краснов А.М. Расчетный метод нормирования кормления радужной форели / Тезисы докладов III всесоюзного совещания «Садковое рыбоводство в естественных водоемах». М.: ВНИИПРХ, 1988. С. 33 – 35.

65. Краюхин Б.В. Физиология пищеварения пресноводных костистых рыб. Л.: Изд-во АН СССР, 1963. 139 с.

66. Кудерский Л.А. О путях развития форелеводства // Известия Гос. НИИ озер, и реч. рыб. хоз-ва, 1974. Т. 97. С. 3 – 12.

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

68. Купинский С.Б., Баранов С.А., Резников В.Ф. Радужная форель *Salmo irideus* (Gibbons) – предварительные параметры стандартной модели массонакопления // Сб. научн. Трудов ВНИИПРХ, 1983. № 38. С. 140-149.

69. Кцоева Ирина Ирбековна. Физиологическое обоснование целесообразности выращивания маточного стада радужной форели (*Salmo irideus* Gibbonus) в бетонных каналах с артезианской водой: дис. ... канд. биол. наук: 03.00.32. Владикавказ, 2006. 127 с.

70. Лавровский В. Определение оптимальных плотностей посадки по кислородному балансу / Рыбоводство и Рыболовство, 1977. № 2. С. 5 – 7

71. Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высшая школа, 1990. 352 с.

72. Лебедева О.А., Мешков М.М. Изменение сроков закладки органов и продолжительности эмбриогенеза у радужной форели (*Salmo irideus* Gib.) в зависимости от температуры // Физиологические основы разведения радужной форели. Л.: Изв. ГосНИОРХ, 1969. Т. 68. С. 136 – 155.

73. Леманова Н.А. Методические указания по проведению раннего массового отбора при формировании ремонтно-маточных стад радужной форели / Н.А. Леманова, Е.С. Слущкий. Л.: ГосНИОРХ, 1984. 13 с.

74. Леманова Н.А., Пчеловодова Д.В., Тереньева Е.Т. Некоторые вопросы кормления производителей радужной форели при выращивании в садках // Изв. ГосНИОРХ, 1977. С. 109 – 113.

75. Лемперт О.Т. Потребности радужной форели, выращиваемой в установке с замкнутым водоснабжением, в витаминах В1, В2 и С // Вопросы физиологии и биохимии питания рыб: Сб. научн. тр. М.: ВНИИПРХ, 1987. Вып. 52. С. 29-34.

76. Лемперт О.Т., Гамыгин Е.А. Эффективность добавок полифосфата аскорбиновой кислоты в комбикорма для форели, выращиваемой при различных температурах // Международная научно-техническая конференция. Калининград: КГТУ, 1999. Ч.4 . С. 15-16

77. Лемперт Ольга Тимофеевна. Повышение эффективности комбикормов для радужной форели путем применения стабильных форм витамина С и интиоксидантов: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.10 – Ихтиология. Калининград: КГТУ, 2000. 24 с.

78. Линник А.В. Влияние интенсивности водообмена на эффективность выращивания молоди форели при низкой температуре воды // Тезисы докладов Всесоюзного совещания молодых специалистов «Промышленное рыбоводство и рыболовство во внутренних водоемах». М.: ВНИИПРХ, 1980. С. 61-63.

79. Линник А.В. Высокоинтенсивное выращивание молоди радужной форели / Тезисы докладов Всесоюзной конференции молодых ученых «Методы интенсификации прудового рыбоводства». М.: ВНИИПРХ, 1984. С. 97-98.

80. Линник А.В., Канидъев А.Н. Уровень воды как один из факторов технологии кормления радужной форели в бассейнах // Сб. науч. трудов. Вопросы интенсификации товарного рыбоводства. М.: ВНИИПРХ, 1987. Вып. 51. С. 93 - 99

81. Лукьяненко В.И. Иммунобиология рыб. М.: Пищ. пром-сть, 1971. 364 с.

82. Лукьяненко В.И. Иммунобиология рыб: врожденный иммунитет. М.: Агропромиздат, 1989. 271 с.

83. Лукьяненко В.И. Общая ихтиотоксикология. М.: Легк. и пищ. пром-сть, 1983. 320 с.

84. Лукьяненко В.И. Токсикология рыб. М.: Пищ. пром-сть, 1967. 139 с.

85. Маликова Е. М. Биохимический состав молоди лосося при искусственном выращивании на полноценных и авитаминозных кормах / Тр. Латв. отд. ВНИРО. Рига: ВНИРО, 1957. Т. 2. С. 257 – 283.

86. Метелев В.В., Канаев А.И., Дзасохова Н.Г. Водная токсикология. М.: Колос, 1971. 247 с.

87. Методические указания по разведению и выращиванию осенне-нерестующей форели камлоопс в форелевых хозяйствах / Составитель: Н.П. Новоженин, М.: ВНИИПРХ, 1985. 15 с.

88. Методы гематологических исследований рыб / Г.Г. Серпунин, Л.В. Савина. Калининград, 2005. 53 с.

89. МИАК. Многофункциональный инновационный агропромышленный комплекс. АПК МИАК, 2017. сайт. URL.: <http://www.apkmiak.ru/activities/ft Trout/manufacture/> (дата обращения: 10.04.2017)

90. Микряков В.Р. Методические указания по определению уровня естественной резистентности и оценке иммунного статуса рыб // Сборник инструкций по борьбе с болезнями рыб. Утв. Минсельхозпродом РФ 25.11.1999. N 13-4-2/1795. М.: «Отдел маркетинга АМБ-агро», 1999. Ч. 2. С. 98-124.

91. Михеев В.П. Японские рыбные сухие корма / В.П. Михеев, А.Н. Канидьеv, Л.А. Петренко, Н.А. Санин // Вопросы прудового рыбоводства. Сб. научных трудов. М.: ВНИИПРХ, 1971. Вып. 6. С. 197 – 225.

92. Михеев П.В., Мейснер Е.В., Михеев В.П. Форелевые садковые хозяйства в водохранилищах и озерах. М.: ВНИИПРХ, 1970. 53 с.

93. Моисеев П. А., Азизова Н. А., Куранова И. И. Ихтиология. М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1981. 384 с.

94. **Молчанова К.А.**, Комова Е.М. Выращивание маточного стада форели второй генерации на втором этапе формирования в условиях установки замкнутого цикла водообеспечения // Материалы межвузовской научно-технической конференции курсантов и студентов «День науки» (Калининград, 6 – 17 апреля 2015). Калининград: ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2015. С. 219 – 223.

95. **Молчанова К.А.**, Курапова Т.М. Оценка влияния трав на время подвижности сперматозоидов радужной форели, выращиваемой в УЗВ // III БАЛТИЙСКИЙ

МОРСКОЙ ФОРУМ. Международная научная конференция «Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоемов». Труды. Калининград: ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2015. С. 92 – 95.

96. **Молчанова К.А.**, Хрусталев Е.И. Определение морфометрических показателей радужной форели, выращиваемой в УЗВ и садковом хозяйстве // IV БАЛТИЙСКИЙ МОРСКОЙ ФОРУМ. Международная научная конференция «Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоемов». Труды. Калининград: ФГБОУ ВО «КГТУ», 2016. С. 93 – 96.

97. **Молчанова К.А.**, Хрусталев Е.И. Определение морфометрических показателей радужной форели, выращиваемой в разнотипных рыбоводных хозяйствах. Калининград: Известия КГТУ, 2017. № 44. С. 38-45.

98. **Молчанова К.А.**, Хрусталев Е.И. Особенности выращивания ремонтного поголовья радужной форели второй генерации в установке замкнутого водоснабжения // Калининград: Известия КГТУ, 2015. №36. С. 23 – 30.

99. **Молчанова К.А.**, Хрусталев Е.И. Сравнение морфометрических показателей у производителей радужной форели, выращиваемых в УЗВ // Рыбное хозяйство, 2017. № 3. С. 91 – 95.

100. **Молчанова К.А.**, Хрусталев Е.И. Формирование ремонтно-маточного стада форели 2-й генерации в установке замкнутого водоснабжения (УЗВ) // Труды XII международной научной конференции «Инновации в науке, образовании и бизнесе – 2014», Калининград: ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2014. Ч. 2. С. 80 – 83.

101. **Молчанова К.А.**, Хрусталев Е.И., Комова Е.М. Результаты выращивания посадочного материала радужной форели в открытых и закрытых рыбоводных системах / II Всероссийская молодежная конференция «Рыбохозяйственные исследования на внутренних водоемах»: сборник материалов, 19-22 апреля 2016 г. СПб.: ФГБНУ «ГосНИОРХ», 2016. С. 260 – 266.

102. **Молчанова К.А.**, Хрусталев Е.И., Курапова Т.М. Возможности раскрытия ростовой потенции у радужной форели в УЗВ и открытых рыбоводных системах // Воронеж: Научно-теоретический журнал "Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания", 2016. № 5(13). С. 43 – 47.

103. **Молчанова К.А.**, Хрусталеv Е.И., Курапова Т.М. Морфофизиологическая характеристика радужной форели, выращиваемой в УЗВ // Рыбное хозяйство, 2017. № 5. С. 89 – 93.

104. Никандров В. Я., Шиндавина Н. И. Создание, совершенствование и поддержание селекционных достижений в племенных хозяйствах / Породы радужной форели (*Oncorhynchus mykiss* W.). Серия: Породы и одомашненные формы рыб. М.: Росинформагротех, 2006. С. 110 – 315.

105. Никандров В.Я. Взаимосвязь морфобиологических признаков у самцов радужной форели // Сб. науч. тр. ГосНИОРХ, 1981. С. 20 – 23.

106. Никольский Г.В. Экология рыб. М.: Высшая школа, 1974. 367 с.

107. Новоженин Н.П., Линник А.В. Технология формирования и эксплуатации маточного стада радужной форели в прудовых форелевых хозяйствах. М.: ВНИИПРХ, 1986. 21 с.

108. Новокшенов Ю.Д. Садковое выращивание радужной форели и стальноголового лосося в озерном Поволжье // Рыбохоз. изуч. внутр. вод, 1980. С. 28 – 31.

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

110. Особенности роста и выживаемости радужной форели в условиях аномально теплого лета / Е.И. Хрусталёv, Н.Г. Батухтина, С.С. Плиев, С.А. Василевская // Тепловодная аквакультура и биологическая продуктивность водоемов аридного климата: материалы докладов Международного симпозиума, 16-18 апреля 2007 г. Астрахань: Изд-во АГТУ, 2007. С. 147 – 149.

111. Остроумова И.Н. Показатели крови и кроветворение в онтогенезе рыб. М.: Известия ВНИОРХ, 1957. Т. 43. Вып. 3. С. 8 – 10.

112. Отчет о научно-исследовательской работе. № ГР 01201001806. Научно-техническое обоснование формирования маточного стада форели в установке замкнутого цикла водообеспечения / Е.И. Хрусталёv, **К.А. Елфимова** // Калининград: ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2013. 34 с.

113. Пегель В.А. Физиология пищеварения рыб. Томск: ТГУ, 1950. 200 с.

114. Пегель В.А., Реморов В.П. О значении адаптации в сохранении постоянства обменных процессов и функции пищеварения у рыб в измененных условиях. Докл. Совещ. По общ. Вопр. Биологии, посвящ. столетию дарвинизма. Томск, 1959.
115. Пегельман С. Г. Ранние морфо-функциональные изменения в постнатальном онтогенезе животных. Таллин. Изд-во «Валгус», 1966. 230 с.
116. Персов Г.М. Надежность функционирования воспроизводительной способности рыб // Вопросы ихтиологии, 1972. Т. 12. Вып. 2. 147 с.
117. Пищенко Е.В. Гематология пресноводной рыбы. Новосибирск: НГАУ, 2002. 48 с.
118. Плохинский Н.А. Биометрия. М.: Изд-во МГУ, 1970. 367 с.
119. Пономарев С. В. Биологические основы кормления лососевых рыб в раннем постэмбриогенезе: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 1996. 50 с.
120. Пономарев С.В. Лососеводство. М.: Изд-во Моркнига, 2012. 561 с.
121. Пономарев С.В., Иванов Д.И. Осетроводство на интенсивной основе. М.: Колос, 2009. 311 с.
122. Пономарев С. В., Грозесну Ю. Н., Бахарева А. А. Индустриальное рыбоводство. СПб.: Лань, 2013. 416 с.
123. Пономарева Елена Николаевна. Оптимизация методов выращивания объектов индустриальной аквакультуры на ранних этапах онтогенеза: дис. ... док. биол. наук 03.00.10. Астрахань, 2003. 336 с.
124. Правдин П. Ф. Руководство по изучению рыб. М.: Пищ. пром-сть, 1966. 374 с.
125. Привезенцев Ю.А. Использование теплых вод для разведения рыбы. М.: Агропромиздат, 1985. 176 с.
126. Привезенцев Ю.А. Пути повышения эффективности воспроизводства рыбы в термальных водоемах: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. М., 1981. 43 с.
127. Привольнев Т.И. Регулирование роста и обмена веществ лососевых рыб путем изменения рационов кормления // Тезисы докл. Учен. Совета, посвящ. 50-летию ГосНИОРХ. Л.: ГосНИОРХ, 1965. С. 25-27.
128. Применение метода морфофизиологических индикаторов в экологии рыб / Смирнов В.С., Божко А.М., Рыжков А.Л., Добринская Л.А. // Мин. Рыбного х-ва СССР СевНИОРХ. Труды. Петрозаводск: Карелия, 1972. Т.7. 167 с.

129. Проскуренко И.В. Замкнутые рыбоводные установки. М.: ВНИРО, 2003. 152 с.
130. Резников В.Ф. Первый этап разработки уравнений роста рыб на вегетативных стадиях развития / В.Ф. Резников, С.А. Баранов, Е.А. Стариков, Г.И. Толчинский // Сб. науч. Трудов. М.: ВНИИПРХ, 1978. Вып. 20. С. 220 – 236.
131. Резников В.Ф., Баранов С.А. Стандартная модель массонакопления рыб / Сб. научн. тр. ВНИИПРХ, 1978. Вып. 22. С. 182 – 196.
132. Рекомендации по производству посадочного материала при комбинированном выращивании форели камлоопс и радужной форели / Е.Н. Пономарева, Ю.С. Хон, Н.П. Новоженин, Е.Ф. Титарев // М.: ВНИИПРХ, 1989. 16 с.
133. Рекомендации по разведению и выращиванию форели Дональдсона / Н.П. Новоженин, Е.Ф. Титарев, Э.Г. Мгеладзе, П.Т. Галасун, М.А. Булатович, Н.А. Борбат, Л.А. Осипова, А.А. Аси, Х.Э. Херем, П.Ф. Рельве // М.: ВНИИПРХ, 1986. 15 с.
134. Ройт А., Бростофф Дж., Мейл Д. Иммунология. Пер с англ. М.: Мир, 2000. 592 с.
135. Романенко В.Д. Эколого-физиологические основы тепловодного рыбоводства. Киев: Наукова думка, 1983. 140 с.
136. Ростовцев Александр Алексеевич. Промышленное воспроизводство радужной форели в Сибири: дис. ... док. сельхоз. наук. Новосибирск, 2000. 277 с.
137. Рыжков Л.П., Кучко Т.Ю. Применение метода морфофизиологических индикаторов для оценки качественного состава рыб: метод. указания. Петрозаводск: ПетрГУ, 1997. 20 с.
138. Савостьянова Г. Г. Массовый отбор в форелеводстве // Генетика, 1969. Т. 5. № 7. С. 59 - 67.
139. Савостьянова Г. Г. Методические указания по проведению селекционно-племенной работы в форелеводстве. Л.: Гос. НИИ озер, и реч. рыб. хоз-ва, 1974. 17 с.
140. Савостьянова Г. Г. Рыбохозяйственная оценка различных групп радужной форели // Рыбохозяйственное изучение внутренних водоемов. Л.: Гос. НИИ озер, и реч. рыб. хоз-ва, 1969. № 2. С. 25 - 27.

141. Савостьянова Г. Г. Сравнение нескольких племенных групп по их рыбохозяйственной ценности // Изв. Гос. НИИ озер, и рыч. рыб. хоз-ва. Л., 1971. Т. 74. С. 87 -102.
142. Савостьянова Г.Г. Методические указания по проведению селекционно-племенной работы в форелеводстве. Л.: ГосНИОРХ, 1974. 16 с.
143. Савостьянова Г.Г. Современное состояние форелеводства в СССР и перспективы его развития // Министерство рыбного хозяйства РСФСР. Ленинград: Известия ГНИИОиРРХ, 1974. Т. 97. С. 12 – 19.
144. Сайтаниди В.Н. Лабораторные исследования в ветеринарии: биохимические и микологические / сост.: Б.И. Антонов, Т.Ф. Яковлева, В.И. Дерябина [и др.]. М.: Агропромиздат, 1991. 287 с.
145. Сентищева С.В. Морфологическая оценка качества потомства, полученного от производителей радужной форели с разным уровнем кормления // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер. Рыбное хозяйство, 1997. С. 53-57
146. Сергеева Н.Т. Влияние дефицита биологически активных веществ в кормах на обмен веществ у радужной форели / Н.Т. Сергеева, Ю.И. Жданов, О.Т. Лемперт, Н.А. Писарева // Рыбное хозяйство, 1987. №8. С. 41 – 44.
147. Сергеева Н.Т. Влияние несбалансированного по жирнокислотному и аминокислотному составу корма на липидный обмен в организме радужной форели. Пластический обмен у рыб: тематический сборник научных трудов / М-во рыбного хоз-ва СССР. Калининград: КТИРПиХ, 1985. С.15-21.
148. Сергеева Н.Т. Влияние жиров различного происхождения на переваримость и усвоение питательных веществ комбикорма у радужной форели *Oncorhynchus mykiss* / В кн.: VII Международная научная конференция "Инновации в науке и образовании - 2009". Калининград: КГТУ, 2009. Ч. 1. С. 260 – 262.
149. Сергеева Н.Т. Физиолого-биохимические основы повышения эффективности питания радужной форели (*Salmo gairneri* Rich.) в аквакультуре: дис. ... д-ра биол. наук. Калининград: КТИРПиХ, 1989. 554 с.
150. Серпунин Г.Г. Гематологические показатели адаптаций рыб. Монография. Калининград: КГТУ, 2010. 460 с.
151. Серпунин Г.Г. Закономерности функционирования системы крови рыб, выращиваемых в установке с замкнутым водоснабжением // Тез. докл. науч. – техн.

конф. проф.-преп. сост., аспирантов и студентов КТИРПХ. Калининград: КТИРПХ, 1993. С. 31.

152. Серпунин Г.Г. Оценка качества производителей рыб по гематологическим показателям / Сер. Воспроизводство и пастбищное выращивание гидробионтов: Обзорная информация. М.: Рыбное хозяйство, 2003. 36 с.

153. Серпунин Г.Г. Показатели крови радужной форели, выращиваемой в рециркуляционной установке с дисковым биофильтром // Сб. науч. Тр. Вопросы экологии, физиологии рыб, ихтиопатологии. Калининград: КТИРПХ, 1990. С. 55-63.

154. Сидоров В.С. Экологическая биохимия рыб. Липиды. Л.: Наука, 1983. С. 18 – 37.

155. Скляр В.Я. Корма и кормление рыб в аквакультуре. М.: ВНИРО, 2008. 150 с.

156. Скорость роста и размеры мозга рыб / С.С. Шварц, В.Г. Ищенко, Л.А. Добринская, А.З. Амстиславский, И.Н. Брусынина [и др.]. // «Зоологический Журнал», 1968. Т. 47. Вып. 6. С. 901 – 915.

157. Слуцкий Е.С. Генотипическая изменчивость рыб (селекционный аспект) // Изв. ГосНИОРХ, 1978. Т. 134. 133 с.

158. Современные проблемы и перспективы развития аквакультуры / Е.И. Хрусталева, Т.М. Курапова, О.Е. Гончаренко, **К.А. Молчанова**. Спб.: Лань, 2017. 416 с.

159. Сорвачев К.Ф. Основы биохимии питания. М.: Легк. и пищ. пром-сть, 1982. 246 с.

160. Состояние мирового рыболовства и аквакультуры 2018 – Достижение целей устойчивого развития. Рим: ФАО, 2018. 226 с.

161. Способ формирования маточных стад форели: пат.1138083 СССР: А 01 К 61/00 / Н.А. Леманова, Е.С. Слуцкий; заявитель и патентообладатель ГосНИОРХ. Заявл. 09.11.82; опубл. 07.02.85, Бюл. №5. 6 с.

162. Способ формирования стада самцов-производителей при разведении форели: пат. 1110427 СССР: А 01 К 61/00 / В.Я. Никандров, Е.С. Слуцкий, А.Н. Образцов; заявитель и патентообладатель ГосНИОРХ. Заявл. 11.01.83; опубл. 30.08.84, Бюл. №32. 12 с.

163. Спотт С. Содержание рыбы в замкнутых системах. М.: Легкая и пищ. пром-сть, 1983. 192 с.
164. Справочник по озерному и садковому рыбоводству / Г.П. Руденко [и др.]. М.: Легк. и пищ. пром-сть, 1983. 312 с.
165. Справочник по племенным рыбоводным хозяйствам Российской Федерации / под ред. А.К. Богерука. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2007. 184 с.
166. Справочник по физиологии рыб / А.А. Яржомбек, В.В. Лиманский, Т.В. Щербина, Е.Н. Бекина, П.В. Лысенко // М.: Агропромиздат, 1986. 190 с.
167. Стрельцова С.В., Ольшанская Л.Ю. Переваривание белка и жира искусственных кормов радужной форелью (*Salmo irideus* Gibb.). М.: Изв. ГосНИОРХ, 1974. Т. 97. С. 23-28.
168. Строганов Н.С. Экологическая физиология рыб. М.: МГУ, 1962. 441 с.
169. Суслов А.Э., Маковская А.И., Фатыхов Ю.А. Перспективы применения тепловых насосов в рыбной промышленности. - Материалы V Международной научно-технической конференции «Низкотемпературные и пищевые технологии XXI века» СПб.: Из-во СПбНИУ ИТМО, 2013. С. 113 – 116.
170. ТАСС – новости в России и мире. Сайт. URL.: <https://tass.ru> (дата обращения: 11.04.2018)
171. Терентьева Е. Г. Опыт гибридизации стальноголового лосося и радужной форели // Рыбохозяйственное изучение внутренних водоемов. ГосНИОРХ, 1980. Сб. 28. С. 22 - 27.
172. Терентьева Е. Г. Сравнительная характеристика стальноголового лосося, радужной форели и их реципрокных гибридов // Сб. науч. тр. ГосНИОРХ, 1983. Вып. 195. С. 19 - 26.
173. Терентьева Е. Г. Стальноголовый лосось как объект садкового рыбоводства. Л.: ГосНИОРХ, 1979. 7 с.
174. Технологии региональной аквакультуры / Е.И. Хрусталева, О.Е. Гончаренко, Т.М. Курапова, **К.А. Елфимова** // Научно-теоретический журнал НП "ТППП АПК", 2014. № 1. С. 54-60.
175. Технология выращивания и кормления объектов аквакультуры Юга России / С.В. Пономарев, Е.А. Гамыгин, С.И. Никоноров, Е.Н. Пономарева, Ю.Н. Грозеску, А.А. Бахарева // Астрахань: Нова плюс, 2002. 264 с.

176. Типовая технология разведения и выращивания разных форм радужной форели / Е.Ф. Титарев, Л.С. Сергеева, А.В. Линник // М.: ВНИИПРХ, 1991. 85 с.
177. Титарев Е.Ф. Форелеводство. М.: Пищевая промышленность, 1980. 160 с.
178. Титарев Е.Ф. Холодноводное форелевое хозяйство. Рыбное: ДФ ФГОУ ВПО «АГТУ», 2005. 124 с.
179. Титарев Е.Ф., Титарева Л.Н., Сергеева Л.С. Рекомендации по формированию маточного стада разных форм радужной форели / Сборник научно-технологической и методической документации по аквакультуре. М.: ВНИРО, 2001. 242 с.
180. Товарное лососеводство / Е.И. Хрусталева, Т.М. Курапова, Л.В. Савина, О.Е. Гончаренко, **К.А. Молчанова**. Издательство «МОРКНИГА», 2017. 487 с.
181. Толмачев Б.А. Выращивание радужной форели в рыболовецком колхозе «Балтика» // Рыбное хозяйство, 1984. № 12. С. 31 – 33.
182. Тылик К.В. Общая ихтиология: учебник. Калининград: Изд-во ООО «Аксиос», 2015. 394 с.
183. Федеральное агентство по рыболовству. Москва, 2017. URL.: <http://fish.gov.ru> (дата обращения: 08.06.2017)
184. Филатов В.И. Технология выращивания канального сома в установках с замкнутым циклом водоиспользования / В.И. Филатов, Н.Е. Гепецкий, А.Ю. Киселев [и др.]. // М.: ВНИИПРХ, 1991. 22 с.
185. Филатов В.И. Технология полициклического производства товарного карпа в установках с замкнутым циклом водообеспечения / В.И. Филатов, Г.П. Сигиневич, Г.А. Сычев [и др.]. // М.: ВНИИПРХ, 1999. 8 с.
186. Филиппов Дмитрий Игоревич Оптимизация технологии выращивания рыбы в малогабаритном рыбоводческом хозяйстве на установке замкнутого водообеспечения: автореф. дис. ... канд. с-х. наук. Рязань: РГСХА, 2000. 24 с.
187. Хайновский Константин Борисович. Разведение канального сома в установках замкнутого водообеспечения (УЗВ): автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.10 / ВНИИ прудового рыбного хоз-ва. Москва, 1993. 26 с.
188. Хоар У., Рендолл Д., Бретт Дж. Биоэнергетика и рост рыб. М.: Легкая и пищ. пром-сть, 1983. 408 с.

189. Хойчи Д., Войнарович А., Мот-Поульсен Т. Руководство по искусственному воспроизводству форели в малых водоёмах. Будапешт: ФАО, 2012. 20 с.
190. Хочачка П., Сомеро Дж. Стратегия биохимической адаптации. М.: Мир, 1977. 398 с.
191. Хрусталёв Е.И. Оценка эффективности выращивания ремонтно-маточного стада радужной форели в установке замкнутого цикла водообеспечения / Е.И. Хрусталёв, А.Э. Суслов, **К.А. Елфимова** // Материалы Международной научно-технической конференции (заочная) "Инновационные технологии в пищевой промышленности: наука, образование и производство". 3 – 4 дек. Воронеж, 2013. С. 149 – 154.
192. Хрусталев Е.И. Оценка эффективности кормления радужной форели на этапах формирования ремонтно-маточного стада в установках замкнутого цикла водообеспечения / Е.И. Хрусталев, О.Е. Гончаренок, Т.М. Курапова, **К.А. Елфимова** // Научно-теоретический журнал НП "ТППП АПК", 2014. № 1. С. 43 – 47
193. Хрусталёв Е.И., **Елфимова К.А.** Первый этап разработки технологии формирования маточного стада форели в установке замкнутого цикла водообеспечения (УЗВ) // Рыбное хозяйство, 2014. №1. С. 79 – 81.
194. Хрусталев Е.И., Хайновский К.Б. Индустриальное рыбоводство. Калининград: ФГОУ ВПО «КГТУ», 2006. 339 с.
195. Хрусталёв Евгений Иванович. Биологические особенности выращивания радужной форели в условиях солоноватых вод: дис. ... канд. биол. наук: 03.00.10 – Ихтиология. Калининград, 1986. 189 с.
196. Циркова М.К. Значение жира в питании искусственно выращиваемой молоди форели. М.: Пищевая пром-сть, 1970. Т. 69. Вып. 2. С. 163-169.
197. Циркова М.К. Роль жира в кормовых рационах молоди радужной форели: автореферат дис. ... канд. биол. наук. М.: Калинингр. техн. ин-т рыбной пром-сти и хоз-ва, 1968. 22 с.
198. Цуладзе В.Л. Бассейновый метод выращивания лососевых рыб: на примере радужной форели. М.: Агропромиздат. 1990. 156 с.
199. Шабалина А.А., Картавцева Н.Е., Калкун В. К. Влияние кормов разного качества на рыбоводно-физиологические показатели форели / Эколого-физиологические основы повышения эффективности кормления рыб в индустри-

альном рыбоводстве // Гос. НИИ озер. и реч. рыб. хоз-ва. Ленинград: Промрыбвод, 1986. 162 с.

200. Швагждис А. Влияние окружающей среды и антропогенных факторов на изменение уловов рыбы в Куршском заливе: автореф. дис. ... канд. биол. наук / Швагждис Арвидас. Каунас, 2009. 24 с.

201. Шварц С.С. К вопросу о развитии некоторых интерьерных признаков наземных позвоночных животных // Зоологический журнал, 1956. Т. 35. Вып. 6. С. 804 – 819.

202. Шиндавина Н.И. Методы формирования маточных стад в племенных форелевых хозяйствах / Проблемы товарного выращивания лососевых рыб России: Сб. докл. всерос. совещания. Мурманск: ПИНРО, 1995. С. 31 – 36.

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

204. Экологический справочник для рыбоводной промышленности Северо-Запада России / Тапио Киуру, Йоуни Виелма, Юха-Пекка Туркка [и др.]. // НИИ охотничьего и рыбного хозяйства Финляндии. Nuokraino, Helsinki, 2013. 112 с.

205. Эпштейн Я.А., Аветикян Б.Г., Лавровская Н.Ф. Биохимические сдвиги в организме карпа, вызванные введением антигенов. Биохимия, 1960, Т. 25, № 23.

206. Яржомбек А.А., Михеева И.В. Ихтиотоксикология. М.: Колос, 2007. 144 с.

207. A comprehensive survey of the genes involved in maturation and development of the rainbow trout ovary / von Schalburg K., M.L. Rise, G.D. Brown, W.S. Davidson, B.F. Koop // Biology of Reproduction, 2005. V. 72. P. 687-699

208. Aller Aqua // Aller Aqua: сайт. Denmark, 2018. URL: <http://www.aller-aqua.com/ru> (дата обращения: 15.07.2016).

209. Apytakinės žuvų auginimo sistemos Lietuvos hidrobiologų draugija. Рыбоводство в замкнутых системах / A. Domarkas, O. Goncharenok, E. Chrustalio, L. Kerosierius, T. Kurapova, V. Kirsnickis, J. Poviliunas, E. Radaityte, A. Rutkauskas, L. Savina, R. Sertvytis, D. Venciene, V. Zukov // Vilnius, 2010. 280 p.

210. Baldwin N.S. Food consumption and growth of brook trout at different temperatures. Transactions of the American Fisheries Society, 1957. P. 323–328.

211. Billard R. Reproduction in rainbow trout: sex differentiation, dynamics of gametogenesis, biology and preservation of gametes / *Aquaculture*, 1992. V. 100. №2. P. 263-298.
212. Bisset K.A. Natural and acquired immunity in frogs and fish / *J. Path. Bact.*, 1947. N. 4(59). P. 679-682
213. Bregnballe J. A guide to recirculation aquaculture, an introduction to the new environmentally friendly and highly productive closed fish farming systems. Copenhagen: Eurofish, 2010. 62 p.
214. Bregnballe J.A. Guide to Recirculation Aquaculture: An introduction to the new environmentally friendly and highly productive closed fish farming systems. Copenhagen: FAO and EUROFISH, 2015. 100 p.
215. Cain K., Garling D. Trout Culture in the North Central Region. USA, NCRAC Extension Fact Sheets: Iowa State University, 1993. 8 p.
216. Castell J.D., Lee D.Y., Sinnhuber R.O. Essential fatty acids in the diets of rainbow trout (*Salmo gairdneri*): Lipid metabolism and fatty acid composition / *J. Nutr.*, 1972. № 102. P. 93-99.
217. Conroy D.A. Studies on hematology of the Atlantic salmon, *Salmo salar* L. // *Disc. of Fish Proc. Symp. Lond.*, 1971. P. 101 – 127.
218. Drum filters / Drum filters - Faivre Aquaculture Equipment Manufacturer - Drum filters, fish graders, fish counters, elevators, fish pumps, leaf screeners [Электронный ресурс] FAIVRE, 2017. URL: <http://www.faivre.fr/index.php/en/products/drum-filters> (дата обращения: 12.10.2017)
219. Duane Raver / U.S. Fish and Wildlife Service. National Digital Library / National Conservation Training Center, Shepherdstown, West Virginia [Электронный ресурс] URL: <http://images.fws.gov/> (дата обращения: 05.12.2017).
220. Edwards D. Fish culture and project administrative issues. A report prepared for the project Fisheries Development in Qinghai Province. Rome: FAO, 1990. URL: www.fao.org/docrep/field/003/U2514E/U2514E00.htm#ch7.1.2 (дата обращения: 17.05.2017).
221. Effect of holding temperature on ovulation, egg fertility, plasma levels of reproductive hormones and in vitro ovarian steroidogenesis in the rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*

chus mykiss / N.W. Pankhurst, G.J. Purser, Van Der Kraak G., P.M. Thomas, G.N.R. Forteach // *Aquaculture*, 1996. Vol.146. P. 277-290.

222. Effects of different dietary vitamin C and E levels on growth performance and hematological parameters in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) / A. Miari, A. Matinfar, M. Shamsaei, M. Soltani // *World Journal of Fish and Marine Sciences* 5 (2): 2013. P. 220-226

223. FISHBASE. FishBase mirror: Sao Paulo, Brazil, 2016. URL: <http://www.fishbase.org> (дата обращения: 21.05.2016)

224. Grande M., Andersen S. Critical thermal maxima for young salmonids // *J. Freshwat. Ecol.*, 1991. P. 275-279

225. Greenberg D. B. *Forellenzucht*. Hamburg und Berlin: Verlag Paul Parey, 1969. 138 S. Ln. 32. DM. 335 p.

226. Halvel J.E. Vitamin and aminoacid requirements of salmon. In "Proc. 5th Int. Congr. Nutr." Washington: D. C., 1960. 81 p.

227. Hinshaw J. M., Tompson S. L. Trout production. Handling eggs and fry. Southern Regional Aquaculture Center (SRAC). Aqua KE Gov Doc, Technical Publication 220, 2000. 4 p.

228. Inkster T. H. Rainbow by the millions "Nat. Fisherman", 1964. Vol. 45, No. 8, P. 33-34

229. Javard M.G., Anderson J. M. Thermal acclimation and temperature selection in Atlantic salmon, *Salmo salar* and rainbow trout / "J. Fish. Res. Board. Can.", 1967. №7 (24). P. 1507-1513.

230. Kincaid H. Three generations of selection for growth rate in fall-spawning rainbow trout // *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 1977. V. 106. № 6. Pp. 621-628.

231. Klontz G.W. Manual for rainbow trout production on the family-owned farm. 1991. URL: aqua.ucdavis.edu/DatabaseRoot/pdf/TROUTMAN.PDF. (дата обращения: 19.08.2017).

232. Kumar V., Makkar H.P.S., Becher K. Nutritional, physiological and hematological responses of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) juveniles fed detoxified *Jatropha curcas* kernel meal // *Aquaculture Nutrition*, 2011. Vol. 17. Issue 4. P. 451 – 467.

233. Kwain W. Effect of temperature on development and survival of rainbow trout, *Salmo gairdneri*, in acid waters / "J. Fish. Res. Board. Can.", 1975. № 4 (42), P. 493 – 497.
234. Kwain Wen-hwa, McCauley W.W. Effects of age and overhead illumination on temperature preferred by underyearling rainbow trout, *Salmo gairdneri*, in a vertical temperature gradient / J. Fish. Res. Board Can., 1978. V. 35. № 11. P. 1430-1433
235. Larmoyeux J.D., Piper R.G. Effects of water reuse on rainbow trout in hatcheries / Progressive Fish-Culturist, 1973. № 36. P. 2-8
236. Lee D.J., Roehm., Gu T.C., Sinnhuber R.O. Effect of ω 3 fatty acids on the growth rate of rainbow trout, *Salmo gairdneri* / "J. Nutr.", 1967. № 92. P. 93-98
237. Leitritz E. Die Praxis der Forellenzucht. Hamburg und Berlin: Verlag Paul Parey, 1969. 119 p.
238. Leitritz E. Trout and salmo culture // Fish. Bull., 1973. V. 71. № 1. P. 107-169
239. Leitritz E., Lewis R.C. Trout and salmon culture (hatchery methods). Calif. Dep. Fish Game. Fish Bull., 1976. V. 164. 197 p.
240. Liao P.B. Water requirements of salmonids. "Prog. Fish-Cult.", 1971. №4 (33). P. 210-215.
241. MacCrimmon H.R. World distribution of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) // J. Fish. Res. Board Canada, 1971. V. 28. P. 663-704
242. Mansfield G. S., Desai A.R., Nilson S.A. et al. Characterization of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) intestinal microbiota and inflammatory marker gene expression in a recirculating aquaculture system // Aquaculture. 2010. V. 307. P. 95-104
243. McCauley R.W., Elliot J.R., Read L.A. Influence of acclimation temperature on preferred temperature in the rainbow trout *Salmo gairdneri* // Trans. Amer. Fish. Soc., 1977. V. 106. P. 363-365.
244. McCauley R.W., Pond W.L. Temperature selection of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) fingerlings in vertical and horizontal gradients // J. Fish. Res. Board Can., 1971. V. 28. № 11. P. 1801-1804.
245. Mills A. Handling and processing rainbow trout. FAO in partnership with Support unit for International Fisheries and Aquatic Research. SIFAR, 2001. URL: <http://www.fao.org/wairdocs/tan/x5945e/x5945e00.htm> (дата обращения: 14.01.2017).

246. Mittelmark J., Kapuscinski A. Induced reproduction in fish. Minnesota Aquaculture. 2004. URL.: http://www.seagrant.umn.edu/aquaculture/induced_fish_reproduction (дата обращения: 18.01.2017).

247. Molony B. Environmental requirements and tolerances of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and brown trout (*Salmo trutta*) with special reference to Western Australia: a review. Perth, Australia, Fisheries Research Division: Fisheries Research Report Western Australia, 2001. № 130.

248. New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability / C. Martins, E. H. Eding, M. Verdegem, L. Heinsbroek, O. Schneider, Jean-Paul Blancheton, Roque D'Orbcastel Emmanuelle, J. A. Verreth // *Aquacultural Engineering*, 2010. № 43(3). P. 83-93

249. Nybelin O. Ueber Agglutininbildung bei Fischen. *Ztschr. Immunitaetsforsch. Forschg.*, 1935. 84. P. 74-79.

250. *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792) / Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO, 2017. URL: http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Oncorhynchus_mykiss/en (дата обращения: 06.04.2016)

251. Paladino F.V., Spotila J.R., Schubauer J.P., Kowalski K.T. The critical thermal maximum: a technique used to elucidate physiological stress and adaptation in fishes // *Rev. Can. Biol.*, 1980. V. 39. № 2. P. 115-122.

252. Pankhurst N.W., King H.R. Temperature and salmon reproduction: implications for aquaculture // *Journal of Fish Biology*, 2010. Vol. 76. P. 69-85.

253. Phillips A.M, Podoliak H.A. The nutrition of trout. III Fats and minerals. New York: Progressive Fish Culturist, 1957. № 2. P. 68 – 75.

254. Recirculating Aquaculture. Cayuga Aqua Ventures. USA, NY: LLC Ithaca, 2010. 948 p.

255. Schaperclaus W. *Fischkrankheiten*. Berlin: Akademie-Verlag, 1954. 120 p.

256. Schmidt K. Aufgaben erste Ergebnisse des Forellen — Zucht Zentrums // *Zeischr. f. Binnenfischerei der DDR*. 1977. № 1. P. 3 - 7.

257. Shepherd J., Bromage N. *Intensive Fish Farming*. England, Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1992. 416 pp.

258. Smith W. Production of anti-bacterial agglutinins by carp and trout at 10 °C. NY: Proceedings of Society of Experimental Biology and Medicine, 1940. Vol. 45. P. 726-729
259. Spigarelli S.A., Thommes S. Temperature selection and estimated thermal acclimation by rainbow trout (*Salmo gairdneri*) in a thermal plume // J. Fish. Res. Board Can., 1979. V. 36. N 4. P. 366-376
260. Steffens W. Aufzucht von Regenbogenforellensetzlingen (*Salmo gairdneri*) unter intensiven Produktionsbedingungen // Zeitschr. f. Binnenfischerei der DDR, 1973. № 12. P. 360 - 363.
261. Steffens W. Grundsätze einer Mmderner Forellensatzlingsproduktion. "Z. Binnenfisch DDR", 1972. № 9, p. 258-263
262. Steffens W. Produktion von Regenbogenforellen in Netzkäfigen // Zeitschr. für Binnenfischerei der DDR, 1971. № 18. P. 131 - 136.
263. Steffens W. Technologische Grundlagen der production von regenbogenforellen in der DDR, 1974. Bd. 21. H. 11. P. 327 - 333.
264. Stoyanova S. Alternative methods of water treatment for the development of sustainable aquaculture. Review. Ecol. Future, 2014. № 3. P. 54 – 59
265. Szczerbowski J.A. Rybactwo śródlądowe. Olsztyn: Wyd. IRS, 1993. 550 p.
266. The effect of vitamin premix in extruded plant-based and fish meal based diets on growth efficiency and health rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* / F.T. Barrows, T.G. Gaylord, W.M. Sealey, L. Porter, C.E. Smith // Aquaculture, 2008. P. 148-155.
267. Timmons M.B., Ebeling J.M. Recirculating Aquaculture. NRAC Publication, 2007. 975 p.
268. Trenzado C.E., Higuera M., Morales A.E. Influence of dietary vitamins E and C and HUFA on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) performance under crowding conditions // Aquaculture, 2007. Vol. 263, Issues 1–4, P. 249-258
269. USDA Food Composition Databases / United States Department of Agriculture Agricultural Research Service. сайт. URL.: <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/> (дата обращения: 12.08.2017)
270. Vonk H.I. Comparative physiology: nutrition, feeding and digestion / Annual Review of Physiology, 1955. Vol. 17. P. 483 – 498.

271. Vosylienė M.Z. Vaivorykštinio upėtakio *Oncorhynchus mykiss* Walbaum veisimo biotechnika. Žuvų ir vėžių veisimo biotechnika ir išteklių atkūrimas. Vilnius: Lietuvos hidrobiologų draugija, 2008. P. 47-60.

272. Wawrzyniak W. A potential of the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walb.) eggs to survive at below-zero temperatures // *Zeszyty Naukowe. Ryb. mor i technol. Zyw.* Akademia Rolnicza w Szczecine, 1996. Vol. 22. P. 45-50.

273. Woodward B. Dietary vitamin requirements of cultured young fish, with emphasis on quantitative estimates for salmonids / *Aquaculture*, 1994. Vol. 124, Issues 1–4. Pp. 133-168.

274. Woynarovich A., Hoitsy G., Moth-Poulsen. T. Small-scale rainbow trout farming / *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*. Rome: FAO, 2011. № 561. 81 pp.

275. Zobel H. Ausstellungsabschnitt Binnenfischerei der Agra, 78 // *Zeitschr. f. Binnenfischerei der DDR*, 1978. № 8. P. 236 - 243.

276. Zobel H. Interessates aus der Binnenfischerei der CSSR // *Zeitschr. f. Binnenfischerei der DDR*, 1979. № 26. P. 45 - 52.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Акт внедрения результатов исследований



ООО «ТПК «БАЛТПИЦЕПРОМ»

УТВЕРЖДАЮ
Исполнительный директор
ООО «ТПК «Балтптицепром»
/ А.В. Головтеев

Акт
внедрения результатов исследований кандидатской диссертации
Молчановой Ксении Андреевны

г. Калининград

05 декабря 2016 г.

Настоящим актом подтверждается, что рекомендации, содержащиеся в диссертационной работе Молчановой Ксении Андреевны, разработаны, апробированы и внедрены в цех по выращиванию рыбы ООО «ТПК Балтптицепром».

Были разработаны и освоены:

- методы формирования и эксплуатации ремонтно-маточного стада радужной форели в УЗВ;
- методы выращивания посадочного материала форели в УЗВ;
- методы оценки качества половых продуктов форели, выращиваемой в УЗВ.

В результате освоения технологий была подтверждена их рыбоводно-биологическая и экономическая эффективность. Соответствие специфических условий выращивания форели в УЗВ биологическим потребностям подтверждено результатами морфо-физиологических, иммунологических и гематологических исследований.

Начальник цеха по
выращиванию рыбы

И.Г. Шанвалова

Рыбовод

И.Г. Оральцева

Рыбовод

Н.И. Прокопьева