

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Луганский государственный аграрный университет
имени К.Е. Ворошилова»



На правах рукописи

Кравченко Александр Сергеевич

ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОДУКТИВНЫХ
КАЧЕСТВ ОСЕТРОВЫХ РЫБ В УСЛОВИЯХ РАЗЛИЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Специальность: 4.2.4 Частная зоотехния, кормление,
технологии приготовления кормов и производства
продукции животноводства

Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Научный руководитель:
доктор сельскохозяйственных наук,
профессор Ладыш И.А.

Луганск-2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	11
1.1 Стратегия интеграции научных достижений в практику аквакультуры.....	11
1.2 Основные аспекты жизнедеятельности представителей осетровых рыб.....	19
1.3 Факторы внешней среды, оказывающие влияние на организм осетровых рыб.....	26
1.4 Современные технологические решения при использовании УЗВ.....	30
ГЛАВА 2 МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ.....	40
2.1 Общая методика работы.....	40
2.2 Методы экспериментальных исследований.....	50
ГЛАВА 3 РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	54
3.1 Сравнительная оценка двух технологий выращивания осетровых в УЗВ – традиционная, и с добавлением гидропоники.....	54
3.2 Технологический прием для оптимального кормления молоди осетровых рыб.....	64
3.3 Комплексная оценка пригодности осетровых рыб для производства продукции аквакультуры, выращенных в условиях УЗВ.....	75
3.3.1 Оценка состояния среды обитания гидробионтов при выращивании в установке замкнутого водоснабжения.....	75
3.3.2 Характеристика корреляционной связи между гидрохимическими показателями и качественными показателями мяса рыбы.....	78

3.3.3	Комплексная оценка продуктивных качеств осетровых рыб на основе изучения зоотехнических и биолого-технологических показателей.....	83
3.4	Экономическая эффективность выращивания осетровых рыб в установках замкнутого водоснабжения.....	103
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	105
	РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ	108
	СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	109
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	110
	ПРИЛОЖЕНИЯ.....	132

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования.

На сегодняшний день состояние природных ресурсов, включая гидробионтов, является одной из главных проблем сельского хозяйства, которую с успехом решают специалисты рыбохозяйственного комплекса, первостепенная задача которых – снабжение населения продуктами питания, обеспечивая тем самым продовольственную безопасность страны. Успешное выращивание осетровых в рыбоводческих хозяйствах невозможно без соблюдения технологических параметров, обеспечивающих, как высокие продуктивные качества осетровых, так и безопасность пищевых продуктов для потребителей [1-5].

Технологии разведения в установках замкнутого водоснабжения (УЗВ) позволяют выращивать представителей семейства осетровых в любой точке планеты и не зависят от климатических условий и времени года [6, 7], что позволяет практикующим специалистам влиять на общие процессы роста и развития, а также адаптивные изменения гидробионтов; улучшить репродуктивные показатели, повысить эффективность производства, минимизировать воздействие на окружающую среду и обеспечить высокое качество продукции [8-11]. Исследования в данном направлении проводились такими учеными, как С.Д. Борисова (2021), А.Н. Туменов (2021), О.А. Басонов (2022), А.Б. Ахмеджанова (2022), А.С. Сафронов (2023), Г.К. Ситахметова (2024), Ю.В. Сергеева (2024), А.А. Айткалиева (2024), А.А. Бахарева (2024), В.М. Насунова (2025), М.А. Мамаев (2025), И.В. Поддубная (2025) и др [12-23].

Ученые отмечают, что в период выращивания рыбы необходимо проведение систематических морфологических, физиологических и биохимических исследований [24], которые позволяют контролировать показатели крови в пределах нормы [25]; раскроют особенности роста различных гибридных форм осетровых видов рыб [26]; рассматривают перспективы искусственного выращивания

гибридных форм [27], а также определяют гематологические показатели осетровых рыб с нормальной и пониженной массой тела [28] и отмечают, что определение интегральных лейкоцитарных индексов может быть альтернативой сложным иммунологическим и биохимическим исследованиям [29].

Вследствие этого, изучение биолого-технологических показателей, определяющих продуктивные качества осетровых, остается актуальной задачей, которая заслуживает внимания ученых в области частной зоотехнии [30, 31].

Согласно прогнозам Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединённых Наций (ФАО) до 2030 года, объемы производства, потребления и сбыта продукции рыболовства и аквакультуры будут расти и производство водных животных в 2030 году достигнет 202 млн тонн, причем этот прирост в основном будет обеспечиваться за счет аквакультуры – ее продукция в 2030 году составит 106 млн тонн. Мировой объем продукции промышленного рыболовства увеличится до 96 млн тонн. В 2030 году на потребление человеком будет направляться 90 % добываемых водных животных, что на 15 % больше, чем в 2020 году [32-34].

Данная работа является частью научной тематики «Пути повышения эффективности использования природно-ресурсного и научно-технического потенциала в обеспечении экологической безопасности и развития народно-хозяйственного комплекса региона» кафедры экологии и природопользования федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Луганский государственный аграрный университет имени К.Е. Ворошилова» (рег. № 124062500032-1).

Степень разработанности научной проблемы.

В настоящее время все большую актуальность приобретают исследования, направленные на изучение влияния технологии содержания гидробионтов в УЗВ на продуктивные качества осетровых, которые являются ценными объектами аквакультуры и важными представителями ихтиофауны [35]. Они служат одним из основных источников белка, макро- и микроэлементов, а также содержат ненасыщенные жирные кислоты, такие как омега-3 и 6, которые благоприятно

вливают на сердечно-сосудистую систему, улучшая работу сердца и снижая уровень холестерина в крови человека [36].

Стоит отметить, что рыба может накапливать в своем организме вредные токсические вещества – тяжелые металлы, которые при значительных концентрациях представляют угрозу для здоровья населения, в результате загрязнения окружающей среды, вызванного сельскохозяйственной, промышленной и горнодобывающей деятельностью. Важно отметить, что токсические вещества [37], не поддаются разложению, что позволяет им сохраняться и накапливаться в окружающей среде, как в воде, так и в донных осадках, а также гидробионтах [38, 39].

Технология выращивания в УЗВ имеет ряд преимуществ над прудовым и садковым рыбоводством, что обеспечивает полный контроль над процессом производства и стимулирует улучшение продуктивных качеств, обеспечивая рациональное использование ресурсов [40-43].

Осетроводство и форелеводство в Луганской Народной Республике представляет собой важный сектор аквакультуры, который стремится развивать местное производство рыбы и тем самым, улучшать продовольственную безопасность региона [44].

Проведение комплексных работ, посвященных изучению формирования продуктивных качеств осетровых и производства продуктов аквакультуры заслуживает дальнейшего более глубокого изучения, включая различные уровни развития живой материи.

Цель и задачи исследования.

Целью исследований было изучить особенности формирования продуктивных качеств осетровых рыб в условиях различных технологий выращивания гидробионтов – традиционной и сочетающей аквакультуру или выращивание водных животных и гидропонику.

Для достижения поставленной цели были прописаны следующие задачи:

1. Изучить зоотехнические и биолого-технологические показатели осетровых при выращивании в установке замкнутого водоснабжения и аквапонной рециркуляционной системе.
2. Разработать технологические приемы для оптимального кормления молоди осетровых рыб.
3. Провести комплексную оценку пригодности осетровых рыб для производства продукции аквакультуры, выращенных в условиях УЗВ.
4. Установить связи между показателями, характеризующими химический состав мяса рыбы при помощи корреляционного анализа и показателями, определяющими состояние среды обитания.
5. Определить экономическую эффективность выращивания осетровых рыб в сложившихся условиях различных технологий.
6. Составить рекомендации производству, направленные на увеличение производства рыбной продукции высокого качества.

Научная новизна.

Проведены комплексные исследования, направленные на изучение формирования продуктивных качеств осетровых в условиях различных технологий, базирующиеся на рыбоводных и биолого-технологических показателях осетровых, выращенных в условиях замкнутого водоснабжения, на разных уровнях организации живой материи – клеточном (гематологические исследования), тканевом (гистологические исследования), органном (морфологические исследования) и экосистемном (взаимоотношение организм и среда). Впервые рассмотрено формирование корреляционных связей между показателями, характеризующими среду обитания и внутреннюю среду организма гидробионтов при содержании в аквапонной рециркуляционной системе (АРС) и традиционной УЗВ и установлено двукратное увеличение количества значимых связей в АРС, указывающее на формирование более благоприятной искусственной экосистемы.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Полученные результаты позволят расширить имеющиеся сведения о влиянии различных технологий на формирование продуктивных качеств осетровых на разных этапах развития, выращенных в условиях замкнутого водоснабжения, и могут служить для обоснования хозяйственно-биологических параметров оценки пригодности различных пород и линий животных для производства продуктов животноводства, в частности рыбной продукции.

Результаты могут быть использованы при дальнейшем усовершенствовании технологий производства рыбной продукции в рамках концепции оптимальной продуктивности с учетом оптимизации физиологического состояния животных.

Методология и методы исследования.

Методологически диссертационная работа включала следующие этапы: анализ материала по научной тематике, представленного в отечественных и зарубежных литературных источниках; проведение научного эксперимента на представителях осетровых рыб; обработка полученного экспериментального материала при помощи различных методов (зоотехнические, морфофизиологические, химические, аналитические), включая статистический.

В научно-исследовательской работе использовали методы: зоотехнические (постановка научно-хозяйственных опытов, определение динамики роста рыбы, расчет показателей затрат кормов на получение рыбной продукции, определение морфометрических показателей и расчет коэффициентов); морфофизиологические (гематологические, гистологические); химические (физико-химический анализ оборотной воды); органолептические (органолептическая оценка мяса); аналитические (обзор литературы, обобщение результатов), экономические (себестоимость, рентабельность, окупаемость и др.), статистические (обработка данных, проверка достоверности различий, корреляционный анализ).

Положения, выносимые на защиту.

- Использование в кормлении осетровых рыб пастообразной - Использование в кормлении осетровых рыб пастообразной комбикормовой смеси с частичной

заменой рыбной муки биомассой червя *Eisenia fetida* благоприятно влияет на интенсивность роста гибридных форм осетровых рыб.

- Основными факторами, которые определяют снижение продуктивных качеств гидробионтов при их выращивании в УЗВ, можно назвать следующие показатели, характеризующие состояние среды их обитания: содержание нитритов и химическое потребление кислорода.

- Установленные морфометрические различия между клетками печени у осетровых рыб могут служить индикаторами их адаптивных способностей в искусственных условиях, а также отражать различия в метаболических процессах, происходящих в печени этих видов, непосредственно определяющих их продуктивные качества.

Степень достоверности и апробация результатов.

Научные положения диссертационной работы сформированы из результатов собственной экспериментальной и аналитической работы. Достоверность данных подтверждена методами вариационной статистики. Сделанные выводы и предложенные практические рекомендации соответствуют поставленным задачам, аргументированы и логически обоснованы полученными результатами.

Основные положения диссертационной работы были доложены и получили одобрение на III Международной научно-практической конференции «Интеграция образования, науки и практики в АПК: проблемы и перспективы» (Луганск, 2023); IV и V Международной научно-практической конференции «Аграрная наука в обеспечении продовольственной безопасности и развитии сельских территорий» (Луганск, 2023, 2024); III Национальной научно-практической конференции «Актуальные проблемы биоразнообразия и природопользования» (Керчь, 2024); VI Международной научно-практической конференции «Аграрная наука в обеспечении продовольственной безопасности и развитии сельских территорий» (Луганск, 2025); LI International Multidisciplinary Conference «Innovations and Tendencies of State-of-Art Science» (Nederland, 2025); II Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные вопросы развития научных исследований в АПК: Теоретический и практический взгляд (п. Персиановский, РФ, 2025).

Внедрение результатов исследования.

Результаты работы внедрены в учебный процесс и научно-исследовательскую работу кафедры биологии животных биолого-технологического факультета, а также экологии и природопользования факультета пищевых технологий ФГБОУ ВО «Луганский государственный аграрный университет имени К.Е. Ворошилова».

Научные разработки, представленные в диссертации, приняты к внедрению в КФХ «Нептун» г. Луганск Луганской Народной Республики (Приложение А).

Личный вклад автора в исследование.

Диссертационная работа является результатом научных исследований, проведенных автором самостоятельно. Была сформулирована цель, поставлены задачи и определены методы исследования, которые позволили провести научный опыт, получить результаты, провести обработку и анализ полученного материала, на основе которого сделать выводы и рекомендации производству. Заимствование результатов у других авторов отсутствует.

Публикации.

Результаты диссертационной работы представлены в 12 научных публикациях, из которых: 5 статей – в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК Российской Федерации (из них 2 – в журналах категории К2, 2 – в категории К1); 7 статей – в журналах, сборниках научных трудов, материалов и докладов конференций.

Структура диссертации.

Диссертация, изложенная на 131 странице (без приложения) компьютерного текста, включает введение, обзор литературы, материал и методику исследований, результаты собственных исследований, выводы, рекомендации производству и перспективы дальнейшей разработки темы, список литературы включает 191 источник. В работе представлены 32 таблицы и 26 рисунков.

ГЛАВА 1

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Стратегия интеграции научных достижений в практику аквакультуры

Достижения аквакультуры играют важную роль в социально-экономическом развитии России и ее рыбной отрасли. Ключевым фактором эффективности является оптимизация и совершенствование технологических процессов.

Формирование научно-технического прогресса в России обращает внимание на внедрение инновационных технологий, которые направлены на получение качественных и безопасных продуктов питания в условиях экологически чистого водного хозяйства. В некоторых округах нашей страны уже используют методы товарного рыбоводства, что приводит к снижению затрат на её выращивание и увеличению объема производства живой рыбы.

Специалисты оценивают потенциал аквакультуры в пределах 2-3 миллионов тонн. Благодаря обширным акваториям внутренних водоемов, которые идеально подходят для развития рыбоводства и подчеркивает важность данной отрасли как ключевого социально-экономического фактора.

Устойчивое развитие аквакультуры подразумевает не только увеличение объемов производства, но и необходимость перехода на использование альтернативных источников корма для рыб. Эти корма должны быть экологически безопасными и не наносить вреда окружающей среде, способствуя сохранению природных ресурсов. Внедрение таких решений позволит повысить конкурентоспособность рыбоводства в России и обеспечить его долгосрочную устойчивость [45-48].

По мнению ученых, рыбоводство представляет собой одну из самых перспективных и быстро развивающихся отраслей сельского хозяйства. Это направление ориентировано на разведение товарной рыбы как в искусственных, так и в естественных водоемах. Главным фактором индустрии является

рациональное использование водных ресурсов и обеспечение продовольственной безопасности. Белок рыбы легко усвояемый и является источником полиненасыщенных жирных кислот, витаминов и минералов. Обладает высокой биологической ценностью, превосходящей белок мяса сельскохозяйственных животных, что делает рыбу не только вкусной, но и полезным продуктом [49, 50].

Осетровые виды занимают доминирующее положение среди гидробионтов. Богачева А.И. отмечает, что культивирование осетровых необходимо для восстановления их потерь в естественных популяциях, которые находятся под угрозой исчезновения из-за ухудшения состояния ихтиофауны и отмечает их значимость для рыбоводства. Развитие фермерского осетроводства может значительно способствовать решению проблемы обеспечения населения дефицитным белком из осетровых рыб [51].

Интерес к разведению осетровых видов в промышленных масштабах появился в России еще в начале XX века. Все же, из-за нехватки знаний и опыта в области биологии и технологии разведения осетровых, плюс экологические проблемы, связанные с загрязнением водоемов, не смогли организовать массовое производство осетровых в России до 1950-х годов. Несмотря на это, в настоящее время, начались активные исследования и разработки в данной области, которые положили начало новым методам разведения осетровых рыб.

В России насчитывается более 80 хозяйств которые выращивают различные виды осетровых и их гибридов. Эти предприятия позволяют получать 2500-3000 тонн товарной рыбы в год.

Первый осетровый завод в России был основан в 1973 году – «Конаковский осетровый завод», с целью обеспечить население страны разнообразными видами осетровых и икрой. На протяжении своего существования завод претерпел множество изменений и направлений развития, но всё же достиг впечатляющих результатов в производстве живой рыбы и морепродуктов.

Сегодня завод выпускает до 5 миллионов штук оплодотворённой икры осетровых, а также предоставляет до 1,5 миллиона рыбопосадочного материала. Годовое производство товарной осетровой рыбы колеблется в пределах 40 тонн,

включая сибирского осетра, стерлядь и белугу, а также различные гибридные формы.

Крупнейшей государственной вертикально интегрированной организацией, занимающейся сохранением водных биологических ресурсов, является Федеральное государственное бюджетное учреждение «Главное бассейновое управление по рыболовству и сохранению водных биологических ресурсов», более известное как ФГБУ «Главрыбвод». На сегодняшний день предприятие имеет 25 филиалов, 106 рыбоводных хозяйств, включая заводы, рыбоводные пункты, временные цеха и другие предприятия [52].

В течение последних лет Азово-Донской филиал ФГБУ «Главрыбвод», находящийся в Ростовской области, производит более 6 млн штук молоди в год, а также занимается восстановлением и воспроизводством ценных и исчезающих видов рыб, таких как белуга, русский осетр, севрюга и стерлядь. На данный момент у предприятия самое большое маточное стадо на юге России.

Еще одним значимым предприятием является Нижневолжский филиал ФГБУ «Главрыбвод», который находится в городе Волгоград. Данный филиал по объемам производства не уступает Азово-Донскому. В 2025 году выпуск стерляди составил более 56 тысяч штук, что больше на 560 % госзадания. В рамках реализации компенсационных мероприятий рыбоводы отправили в Волгу более 73 тысяч особей стерляди средней навеской 2,2 грамма. Этот завод занимается не только разведением живой рыбы, но и производством икры и других морепродуктов [53].

В течение многих лет российские ученые и специалисты по аквакультуре разрабатывали оптимальные условия для разведения и выращивания осетровых видов. Значительный вклад в разработку биотехнологии выращивания осетровых рыб, начиная с экспериментов Федора Сергеевича Овсянникова и Дмитрия Евгеньевича Пельцама по искусственному оплодотворению икры волжской стерляди в 1869 году. После этого, многие выдающиеся учёные и специалисты, такие как Н.А. Бородин, А.Н. Державин, Н.Л. Гербильский, В.В. Мильштейн, Н.И. Кожин, Б.Н. Казанский и др., продолжили исследования в этой области, что

привело к успешному развитию искусственного воспроизводства и товарного осетроводства в России [54].

Сегодня Россия является лидером в производстве осетровых рыб, а рынок этой продукции расширяется и развивается по всему миру. Для сохранения генетической структуры популяций видов осетровых, необходимо проводить активные мероприятия по их разведению в искусственных условиях. Для этого проводят научные исследования, цель которых – изучение физиологических характеристик осетровых, их поведения, а также различных экологических факторов, способных оказывать влияние на процесс их разведения и культивирования [55].

Одной из главных задач воспроизводства осетровых, можно выделить, точное определение времени готовности производителей к получению половых продуктов. Для этого проводятся специальные исследования, которые позволяют определить наиболее эффективные методы стимуляции созревания половых клеток у осетровых рыб. Существующие проблемы в естественных популяциях осетровых могут быть частично решены путем развития контролируемого размножения и коммерческого выращивания в аквакультуре. Кроме того, аквакультура осетровых может помочь снизить нагрузку на природные ресурсы и удовлетворить спрос потребителей на рыбную продукцию. В данной области существуют два направления: подконтрольное и товарное разведение. Первое направлено на сохранения природных популяций, а второе обеспечивает удовлетворение спроса на рыбную продукцию в виде икры [56-59].

В России были выделены основные направления технологического развития, ориентированные на достижение научно-технических результатов и разработку технологий, которые служат основой для инновационного прогресса внутреннего рынка товаров и услуг, а также способствуют укреплению позиции страны на международной арене [46, 56].

Учеными было предложено два метода для подготовки рыбы к нересту. Первый метод, разработанный академиком А.К. Державиным, заключается в формировании благоприятных условий в преднерестовый период, которые

способствуют созреванию половых клеток. Также предложена идея разведения в бассейнах круглой формы, оснащенных системой контроля температуры и обеспечивающих круговой водный поток. Назвали данный метод – экологический [60].

Второй подход к подготовке рыбы к нересту был разработан профессором Н.Л. Гербильским и основывается на процессе созревания половых клеток. Этот метод, известный как физиологический, включает введение гипофизарного гонадотропного гормона в мышечную ткань рыбы, что способствует развитию зрелых половых клеток [61].

В настоящее время указанные методы используются для разведения осетровых. В начале рыбу помещают в специализированные бассейны где созданы оптимальные условия, после чего им делают инъекции гипофизарного гормона.

Дозировка препарата зависит от массы рыбы и температуры воды, а также от зрелости ооцитов, которая определяется по коэффициенту поляризации. Количество инъекций составляет один раз для самцов и составляет половину дозы для самок, которых обрабатывают несколько раз. Данные рекомендации разработаны Чебановым М.С. и Галичем Е.В. [62].

В проведенном эксперименте была отмечена высокая подвижность сперматозоидов, которая наступала через полтора суток после введения препарата. Данный препарат рекомендуется вводить за 3 ± 1 часа до инъекций самок, чтобы стимулировать сперматогенез и повышать концентрацию сперматозоидов. Созданный метод получения спермы является важным аспектом в исследованиях репродуктивной биологии рыб. Может помочь повысить эффективность оплодотворения рыб в условиях искусственного разведения, а также способствовать сохранению и развитию популяций.

В 1896 году на съезде естествоиспытателей в Москве выдающийся учёный Ф. В. Овсянников впервые представил итоги своего эксперимента по искусственному оплодотворению икры стерляди, однако сохранить выживаемость личинок не удалось. Была отмечена важность искусственного оплодотворения осетровых для дальнейших исследований.

На осетровом заводе «Аксайский» в Ростовской области был выведен первый гибрид русского осетра азовской популяции с сибирским осетром ленской популяции. Экспериментальные скрещивания проводились с 1979 по 1983 годы. Дальнейшие исследования с этим гибридом продолжались в различных регионах России, включая Астраханскую и Вологодскую области. Были достигнуты новые результаты. С этим гибридом за рубежом также проводили исследования – в Польше (Колман и Щепковски 2001) и в Белоруссии (Барулин 2008 г.).

Эксперименты по искусственному разведению рыб проводились также А.Т. Болотовым и В.П. Врасским, однако первые теоретические работы в области физиологии размножения рыб стартовали в 1970-х годах.

С помощью аппаратов Сэс-Грина Николай Бородин осуществил искусственное осеменение севрюги и осетра в 1884 и 1899 годах, полученное потомство оказалось жизнеспособным [63, 64, 65].

Искусственное воспроизводство и разведение осетровых рыб в неволе имеют важное значение для сохранения этих видов и обеспечения устойчивости их популяций. Тем не менее, данный метод культивирования может оказать воздействие на процессы роста и развития рыб, а также привести к изменениям их репродуктивных способностей.

После успешных исследований по осеменению рыб у ихтиологов возникла новая проблема – это обесклеивание икры. Решение этой задачи было предложено А.Н. Державиным в 1913 году. Метод, основанный на использовании иловых частиц, позволил значительно снизить отходы икры во время инкубации и повысить выход личинок.

В 1916 году на Волге было начато искусственное разведение осетровых, а в 1919 году в Астрахани была издана первая инструкция по разведению осетровых, разработанная П.А. Масловым [66].

В устоявшихся практиках аквакультуры отбор производителей зачастую основывается на их внешних признаках. Для этого используют молекулярные методы, анализ микросателлитов и простых повторов, которые помогают предотвращать снижение генетической изменчивости. Эти методы играют

ключевую роль, в селекционных программах, которые снижают риски инбридинга для дальнейших популяций. Негативно сказываются на потомстве.

На основании полученных результатов разрабатываются стратегии по сохранению здоровья популяций и повышению эффективности разведения осетровых. Данные программы могут стать залогом устойчивого будущего аквакультуры [67].

Внедрение технологий для сохранения генетического разнообразия популяций открывают новые перспективы в криоконсервации спермы и трансплантации зародышевых клеток. Хранение генетического материала и метод суррогатного размножения с применением химеры зародышевой линии помогают сократить расходы на разведение маточного стада. Эти методы снижают затраты и упрощают контроль за ресурсами в искусственном разведении, работающие на восстановления биологических видов [68].

Развитие товарного осетроводства в России стартовало в 60-х годах XX века и продолжает развиваться в наше время. Для обеспечения активного роста этой отрасли необходимо обеспечить качественное управление и соблюдение законов в области аквакультуры которые учитывают экономические, социальные и экологические факторы.

Существуют законы, которые регулируют правила разведения, переработки и реализации рыбной продукции, а также охрану водных биоресурсов и экосистемы. К ним относится Закон «О рыболовстве и сохранении водных биоресурсов» и Федеральный закон «Об аквакультуре» [69].

Аквакультура является важной отраслью сельского хозяйства, обеспечивающей человека качественной пищей и важной составляющей экономики многих стран. Развитие аквакультуры может привести к устойчивому экономическому росту, улучшению социального благополучия населения и охране окружающей среды.

В настоящее время в Волго-Каспийском бассейне практически нет естественного воспроизводства осетровых рыб, поэтому рыбоводные заводы играют важную роль в их воспроизводстве и выпуске молоди, что позволит

восстанавливать природные ресурсы и обеспечивать рынок. Специалистами было принято решение увеличить навеску молоди, выпускаемую в водоемы до 10-20 грамм и более, а также увеличить выпуск редких видов, таких как белуга и севрюга для этого бассейна [70-72].

Осетровые рыбы находятся на грани исчезновения из-за разрушения их естественных нерестилищ, вызванных строительством плотин и чрезмерным выловом для получения черной икры. Следовательно, аквакультура осетровых начала стремительно развиваться в разных странах, что привело к расширению товарного осетроводства. Искусственное разведения осетровых рыб сталкивается с рядом проблем, связанных с низкой выживаемостью посадочного материала, нехваткой специалистов и исследований в данной отрасли, отсутствием специализированных кормов. Для повышения продуктивности и удовлетворения спроса населения на черную икру, важно внедрять современные технологии, которые позволят отбирать качественных самок, оптимизировать их развитие и сократить межнерестовые циклы [73].

Для получения продукционного стада в искусственных условиях необходимо грамотно организовать кормление, уход и технологии для получения потомства.

В экспериментах Ю. В. Алымова на молоди ленского осетра с применением различных типов кормов, тщательно изучалось ее морфофизиологическое состояние. Полученные результаты оказались многообещающими. Осетровые продемонстрировали значительный набор массы и высокую усвояемость корма с выживаемостью 30-40%. В эксперименте со стерлядью для оптимизации выращивания был добавлен рыбный фарш, который улучшил питательные свойства корма и повысил эффективность аквакультурного производства [74, 75].

Основной проблемой данной отрасли является нехватка исследований по кормлению рыб несвойственными им кормами, оптимизация условий содержания и раннее определение половой принадлежности [76].

Совершенствование аквакультуры осетровых рыб становится основной задачей для удовлетворения растущего спроса на деликатесные продукты. Восстановлению природных ресурсов и сохранению генетического разнообразия.

Важно внедрять современные технологии, разрабатывать инновационные подходы к сотрудничеству с производителями и проводить комплексные научные исследования. Это позволит обеспечить устойчивое развитие осетроводства и сохранить богатое наследие осетровых в мировой экосистеме.

Стоит отметить, что дальнейшее совершенствование процессов аквакультуры, не только способствует улучшению качества продукции, но и положительно сказывается на устойчивости экосистем. Поэтому создание благоприятных условий для роста и разведения осетровых станет залогом как экономической выгоды, так и сохранения экологического баланса водных обитателей. Стратегия интеграции современных научных достижений в практику аквакультуры поможет минимизировать негативное влияние человеческой деятельности на окружающую среду и повысить уровень защиты этих редких рыб [77-79].

1.2 Основные аспекты жизнедеятельности представителей осетровых рыб

Основными объектами осетроводства являются чистые виды осетровых рыб, такие как белуга (*Huso huso*), стерлядь (*Acipenser ruthenus*), русский осётр (*Acipenser gueldenstaedtii*), сибирский осётр (*Acipenser baerii*), так и гибридные формы.

Гибридизация осетровых рыб играет важную роль в осетроводстве, сочетая лучшие качества родительских видов. Она повышает адаптацию, темпы роста и продуктивность, создавая гибриды с эффектом гетерозиса, которые превосходят чистые виды по скорости роста, устойчивости к заболеваниям и жизнеспособности.

Одним из ярчайших примеров успешного гибрида является бестер (*Acipenser nikoljukinii*), который был получен в результате скрещивания белуги (*Huso huso*) и стерляди (*Acipenser ruthenus*). Работы по скрещивании проводились советскими ихтиологами в XX веке. Целью было получить гибрид с высокой адаптационной способностью, скоростью роста и ускоренным созреванием половых клеток.

Одним из наиболее успешных примеров стала работа профессора Н.И. Николюкина по созданию гибрида белуги и стерляди в 1959 году. Эти исследования продемонстрировали возможность успешного реципрокного скрещивания и доказали, что такие гибриды могут обладать уникальными качествами, востребованными в аквакультуре. Свое видовое название он получил в честь своего создателя профессора Н.И. Николюкина «*Acipenser nikoljukini*», а второе из начальных слогов названий родительских видов «бестер» объединивший ключевые характеристики своих предков [80, 81]. Это делает бестера ценным объектом выращивания в интенсивной аквакультуре. Первые экспериментальные работы по формированию маточных стад проводились в Тепловском рыбопитомнике Саратовской области в различных типах хозяйств – прудовых, садковых и бассейновых, как в пресной, так и в морской воде [82, 83].

Один из экспериментов был основан на выращивании бестера в пруду без дополнительной подкормки в течении 10 лет. Рыба достигала массы 1,5-2,5 кг и в последующем ее рост приостанавливался, что приводило к ослаблению особей и дальнейшему половому созреванию [84].

Для устранения этой проблемы в прудах площадью 0,07 и 0,15 га, расположенных в Аксайском рыбхозе Ростовской области, бестеру в рацион добавляют свежемороженую тюльку и переводят на интенсивное кормление. Это приводит к увеличению упитанности рыбы, а также выросло содержание жира в гонадах до 80%. Плюс улучшенные условия содержания способствовали активизации гемопоэза, что подтверждается исследованиями.

В результате интенсивного выращивания в 1966 году самки впервые дали зрелую икру в возрасте 12 лет. Это стало значительным достижением в области осетроводства, открыв путь к искусственному воспроизводству.

В работе с половозрелыми самками бестера особое внимание уделялось разработке малоинвазивных методов извлечения икры для сохранения жизни рыб.

Разработанный метод И.А. Бурцевой в 1969 году, известный как «кесарево сечение», представлял собой частичное вскрытие брюшной полости. В дальнейшем

усовершенствовали и икру стали извлекать через небольшой разрез в каудальной части брюшной стенки, что значительно снизило травмированность рыбы [85].

Разработка и внедрение прижизненного получения икры позволили самкам бестера созревать и давать икру до 15 раз за жизнь. Данный метод открыл новые возможности и перспективы для аквакультуры особенно в разведении осетровых рыб [86].

Исследования по выпуску молоди бестера в Пролетарское водохранилище Ростовской области и Таганрогский залив Азовского моря в период с 1963-1969 годы показали высокие результаты. Сеголетки достигли массы 400-450 г, двухлетки – 1,5- 2,0 кг, а пятилетние особи – до 12 кг [87].

Однако практика выпуска бестера в естественные водоёмы столкнулась с серьёзными проблемами. Гибриды интенсивно вылавливались, что ставило под угрозу их популяцию в этих водоёмах. Кроме того, существовала опасность скрещивания с дикими популяциями, что могло повлиять на их генофонд и сохранность. Для решения данной проблемы рыбохозяйственные институты, такие как ВНИРО, ЦНИОРХ, КрасНИРХ, ВНИИПРХ и другие, сосредоточили свои усилия на использование бестера в контролируемых условиях аквакультуры для разработки биотехнологий товарного выращивания [88].

Научные исследования также сыграли ключевую роль в понимании генетических особенностей бестера. Цитологические эксперименты на белуге и стерляди, проведённые специалистами ВНИРО, выявили сходство кариотипов, включая количество, форму хромосом, а также их генетическую совместимость. [89, 90].

В результате экспериментов в Российской Федерации были запатентованы три разновидности бестера: «Бурцевская» (*Huso huso*×*Acipenser ruthenus*), «Аксайская» (*Acipenser ruthenus*×(*Huso huso*×*Acipenser ruthenus*)) и «Внировская» (*Huso huso*×(*Huso huso*×*Acipenser ruthenus*)). Эти гибриды отличаются быстрым ростом и ранним созреванием.

Бестер представляет собой уникальный объект аквакультуры, сочетающий в себе положительные качества обоих родительских видов. Он играет важную роль

в производстве товарных осетровых и чёрной икры, что уменьшает нагрузку на естественные популяции. Чтобы понять характеристики этого гибрида рассмотрим его биологические особенности: от строения до специфики питания.

Надкласс: Pisces – Рыбы;

Класс: Osteichthyes – Костные рыбы;

Подкласс: Actinopterygii – Лучеперые рыбы;

Инфрокласс: Ganoidei – Ганоидные рыбы;

Отряд: Acipenseriformes – Осетрообразные;

Семейство: Acipenseridae – Осетровые;

Подсемейство: Acipenserinae – Осетры;

Род: Acipenser – Осетры;

Вид: Acipenserbaeri – Осетр

Отличительная черта бестера – наличие пяти рядов костных жучек: один спинной, два боковых и два брюшных. Число боковых жучек занимает промежуточное значение между родительскими формами и составляет 51-52 шт.

Рыло имеет закруглённую форму и 2 пары слегка уплощенных усиков с небольшой волнистостью или зазубринкой на концах, но они не имеют листовых придатков или бахромчатости. Ротовое отверстие гибрида напоминает родительское. Он изогнут заметнее, чем у стерляди, но не образует привычный для белуги полумесяц. Жаберные перепонки соединены с межжаберным промежутком, образуя складку.

Окрас тела бывает разным, от светло-серого до черного или от коричневого до серо-коричневого. Спина обычно темнее брюшка и это хорошо заметно. Размеры бестера варьируют в зависимости от родословной. Он может достигать длины 170 см и массы до 30 кг, самый крупный белужий бестер – около 230 см и 63 кг. Стерляжки формы считаются самыми мелкими в группе, они редко вырастают длиннее 110 см и весят всего 10 кг.

Бестер считается неприхотливой рыбой и способен выживать в условиях солёности от 0 - 8 ‰ при температуре воды до 34°C. Основным условием для его

роста и развития является содержание кислорода в воде с оптимальной температурой 20-25°C.

На ранних стадиях развития, с момента перехода на экзогенное питание, личинки бестера в течение первых 3-5 суток могут питаться зоопланктоном, мелкими хирономидами и искусственными кормами. По мере взросления рыба переходит на питание мелкой рыбой и специализированными гранулированными кормами мелкой фракции. Благодаря такой пищевой пластичности к использованию как естественных, так и искусственных кормов, бестер является удобным гибридом для выращивания в контролируемых условиях.

Процесс разведения бестера полностью регулируется человеком с февраля по июнь. Половая зрелость у разных линий наступает по-разному у самцов от – 4-9 лет, а у самок – от 5-14 лет. Половые продукты получают прижизненно для сохранения популяции. Плодовитость зависит от породы гибрида и варьирует от 20 до 500 тысяч икринок.

Бестер – один из самых выгодных гибридов для аквакультуры. Благодаря высокой продуктивности и неприхотливости к условиям среды, он идеально подходит для фермерских хозяйств, нацеленных на стабильный результат.

Из всех представителей семейства осетровых наибольший практический интерес вызывает стерлядь (*Acipenser ruthenus*). Она широко распространена на огромной территории и включает множество популяций, которые отличаются по экологическим условиям и морфологическим признакам.

Историческое начало изучения и развития стерляди начинается в XVIII веке, это подтверждают исследования В.И. Зеленского (1887) [91].

Благодаря многолетним исследованиям этот вид получил особое место в промышленном осетроводстве. Это связано с успешным получением икры и молоди от производителей, которых содержали в тепловодных хозяйствах ГРЭС, что делает вид перспективным с экономической и экологической значимости.

Особыми морфологическими признаками стерляди среди других представителей является удлиненное, веретенообразной формы тело с длинной до 60 см при массе до 1 кг. Наличие – брызгальца, расположенного между глазом и

верхним краем жаберной крышки, выполняющего функции в дыхательной и регуляционной системах. Увеличенное количество жучек от 10 до 71 шт в зависимости от стороны, количество которых с возрастом и увеличением тела уменьшается. В строении плавников стерляди также прослеживаются уникальные черты. В спинном – количество лучей от 32 до 49, а в анальном плавнике варьирует от 16 до 34. Грудные и брюшные плавники крупные с выраженной жировой подушкой у основания, которая выполняет функции стабилизации тела при движении. Эти черты служат таксономическими особенностями, связанными с защитой от хищников и маневренностью в быстро текущих реках, таких как Волга или Урал, то есть в естественной среде обитания.

Рыло стерляди обычно удлинённое, однако встречаются особи с тупой формой. Оно слегка уплощённое и заострённое, с приподнятым кончиком. Голова, жаберные крышки, а также основания грудных плавников и область груди покрыты массивными костными пластинами, которые придают дополнительную жёсткость и защиту. Рот, расположенный на нижней части головы, имеет щелевидную, немного округлую форму, с мясистыми губами и способен выдвигаться вперёд для облегчения сбора пищи со дна. Перед ротовым отверстием находятся четыре цилиндрические усика с бахромчатыми окончаниями, используемые для обнаружения добычи посредством тактильных и химических сигналов [92, 93].

Окрас тела стерляди зависит от условий обитания и может меняться от тёмно-бурого до светлых оттенков. Чаще всего спина у нее имеет тёмно-бурый цвет, а брюшная часть желтоватая или белесая, плавники серые. Такой окрас служит камуфляжем и защитой от хищников [94].

Географическое распространение стерляди охватывает реки, впадающие в Черное, Балтийское, Каспийское и Азовское моря. В речных системах Сибири стерлядь встречается в Оби, Иртыше и Енисее, где ее выделяют в самостоятельный подвид – сибирскую стерлядь (*Acipenser ruthenus marsiglii*). Это указывает на адаптивные различия к среде обитания разных регионов [95, 96].

Стерлядь считается пресноводным организмом, тем не менее в бассейне Волги встречается полупроходная форма, которая в среднем достигает длины 74

см и массы 2,8 кг [97, 98]. Эта форма проводит часть своей жизни на пастбищах Северного Каспия, поднимаясь на нерест вверх по реке. В прошлом эту форму рассматривали как самостоятельный вид – *Acipenser primigenius*, что подтверждает разнообразие систематики данного рода [99, 100].

Излюбленным местом стерляди считают придонные участки речных русел, проточные ямы с песчаным или галечным дном, которые создают оптимальные условия для питания и укрытия. В темное время суток стерлядь может подниматься к поверхности воды брюшком вверх, исследуя мелководные участки и заросли для питания.

Весной, во время паводков, стерлядь осуществляет интенсивные миграции вверх по течению, длительностью около 4-5 недель, пока уровень воды не начнет снижаться. В этот период рыба достигает участков, которые идеально подходят для нереста и летнего обитания, что имеет решающее значение для сохранения вида.

С точки зрения репродуктивных характеристик, половой зрелости самки достигают на 6-7 году жизни с длиной тела более 40 см. Плодовитость варьирует от 11 до 140 тысяч икринок. У самцов половая зрелость наступает раньше – на 4-5 году жизни с длиной тела около 30 см. Нерест проходит, когда вода прогревается свыше 10°C в условиях глубоких участков реки.

Длительность нереста занимает около двух недель – самец находится дольше самок и оплодотворяет икру. Оплодотворенные икринки прилипают к субстрату из-за высокой клейкости, что предотвращает их смывание течением.

Спустя 6-9 дней выклёвываются личинки, которые в первые две недели питаются за счёт желточного мешка, а затем переходят на экзогенное питание. В качестве первого корма выступают мелкие животные организмы. В начале жизни молодь остаётся вблизи мест нереста, прячась за камнями и в углублениях дна для защиты от течения. Позже, мигрируют на илистые участки с достаточным количеством пищи.

Стерлядь растёт достаточно быстро, осенью молодь достигает длины 15-20 см к двум годам 26-28 см, а затем добавляет по 4-5 см в год. С уменьшением уровня

паводковых вод рыба возвращается в русло рек вниз по течению, собираясь в группы на нижних участках водоемов для зимовки [92, 95, 101-104].

В зимовку физиологические процессы у стерляди замедляются, а питание сводится к минимуму, что соответствует состоянию оцепенения, типичному для многих видов рыб в холодное время года [105].

Стерлядь представляет собой важный биологический вид с историческим распространением, уникальными адаптациями к пресной воде и устойчивостью к антропогенным воздействиям, которые дают ей возможность рационально использовать водные ресурсы.

1.3 Факторы внешней среды, оказывающие влияние на организм осетровых рыб

Индустриальная аквакультура в установках замкнутого водоснабжения держится на проверенных инженерных решениях с современными биотехнологиями выращивания гидробионтов [106, 107]. По сути, сюда входят механические и биологические фильтры, системы тонкой очистки, дегазации и аэрации, узлы УФ обеззараживания или озонирования, а еще автоматизированный контроль, где стоят датчики – кислорода, pH, температуры, аммония и нитрита. В такой системе создают и поддерживают условия, при которых гидробионты могут нормально жить, и при этом она специально настроена под выращивание осетровых [108].

В системе поддерживают оптимальные параметры среды – температуру, содержание растворённого кислорода, кислотность и концентрацию азотистых соединений. Ухудшение качества воды критично для осетровых, которые чувствительны к ее колебаниям. На практике это означает поддержание температурного диапазона, близкого к физиологическому оптимуму обычно в пределах 18-23°C для интенсивного выращивания, уровня кислорода не ниже 7-8 мг/л при высокой плотности посадки, а также строгий карантин и санитарные

барьеры. Предложенный режим обеспечивает предсказуемые темпы роста и позволяет планировать как товарное выращивание, так и репродуктивные циклы для получения икры, и молоди. Основная доля энергопотребления приходится на терморегуляцию подпиточной воды; которая составляет около 3-5% от объёма системы, что необходимо для контроля накопления нитратов и растворённой органики.

Одним из главных факторов в УЗВ является поддержание температуры на уровне, оптимальном для роста рыбы. Температурный режим является критическим регулятором продуктивности. С повышением температуры до определённого биологического предела скорость роста большинства видов увеличивается, однако при превышении этого порога, наблюдается резкое падение темпов прироста и нарушение физиологических функций. Небольшие отклонения от допустимых норм вызывают заметные сдвиги в жизнедеятельности гидробионтов и влекут за собой изменения аппетита и пищеварения до ослабления иммунитета и репродуктивных нарушений [109, 110]. В покое температура тела рыб обычно соответствует температуре воды, но при физической активности, фиксируется кратковременное повышение на 0,2-0,3°C [111]. Это важно учитывать при измерениях и разработке режимов кормления. Иногда небольшое повышение температуры относительно оптимума ускоряет метаболизм и улучшает усвояемость корма, сокращая производственный цикл [112]. Несмотря на это имеется ряд физиологических и экологических последствий. Увеличение метаболизма ведёт к большему потреблению кислорода, усиливается экскреция аммонийного азота, повышая долю токсичного аммиака (NH_3), что приводит к увеличению энергетических затрат. Это также активизирует поиск корма и его потребление, ускоряет всасывание питательных веществ, но при этом повышает чувствительность к токсикантам и патогенам, а также стимулирует процессы морфогенеза и полового созревания [113-115]. По сути это означает, что выгода от ускоренного роста может быть нивелирована увеличением расходов на кислородное обеспечение, на очистку воды и на корм: так, у стерляди при температуре выше 24°C отмечали существенное ухудшение эффективности

кормления – рост затрат корма без пропорционального увеличения массы, что отражается в экономической рентабельности [116].

С учетом видоспецифических ограничений для осетровых, верхняя зона сублетальных температур составляет 29-35°C, а переносимый диапазон 0,5-32°C. Для большинства осетровых в УЗВ практический рабочий диапазон нередко составляет 18-24 °C, что обеспечивает баланс между ростом, кормовой конверсией и устойчивостью к стрессорам [117, 118].

Переходя к газовому режиму, отметим, что обеспечение достаточного уровня растворённого кислорода – обязательное условие нормального развития и роста: для нормально развивающихся эмбрионов при 10-15°C требуется примерно 6,9 мг/л, тогда как для нормального роста молоди в диапазоне 18-26°C оптимально около 5,6 мг/л, исходя из практики товарного выращивания [119]. Большинство авторов рекомендуют не допускать снижения концентрации кислорода ниже 5-6 мг/л, так как при низких значениях замедляется рост, повышается гибель гидробионтов, нарушаются метаболические процессы [120]. Для осетровых критические концентрации считаются в пределах 3-5 мг/л, а предельные 1,5-2 мг/л при которых наступает острое кислородное голодание. Следует также учитывать, что потребление кислорода организмом растёт с повышением температуры [118].

Не менее значимыми индикаторами качества воды при индустриальном выращивании осетровых являются уровни растворенной органики, аммонийного азота, нитритов и нитратов.

Даже малые концентрации аммиака и нитритов могут оказывать хроническое воздействие на водные организмы. Например, воздействие аммиака в дозе 0,006 мг/л в течение двух дней приводит к хроническим повреждениям жаберного аппарата у молоди осетровых. Влияние нитритов варьирует в зависимости от возраста и дозировки. Так, трехдневное влияние нитритов в концентрациях 2-4 мг/л не повлияло на выживаемость предличинок севрюги. При дозе 8 мг/л на пятый день наблюдалась задержка в росте, а на десятые сутки интоксикации зафиксирована полная гибель. У старших возрастных групп чувствительность проявляется иначе. у годовиков сибирского осетра со средней массой 172 г средняя летальная

концентрация нитритов за 72 часа составляла 130 мг/л. У ослабленных рыб в печени была зарегистрирована значительно более высокая концентрация нитритов – $46,3 \pm 9,0$ мг/л. Уровень токсичности нитритов помогает регулировать внесение NaCl в оборотную воду УЗВ [121-123].

В конечном счёте необходимо учитывать вклад самих гидробионтов в формирование газо- и азотного режима системы. Максимальная экскреция аммиака приходится на вечер, а минимальная – на полдень у особей осетровых средней массой 200-400 г при температуре 25°C с непрерывным кормлением. У рыбы, которая не получала комбикорм, среднесуточное выделение аммиака снижено на 67,7-79,6 % [124]. Эти ритмы экскреции требуют внимания при проработке графиков кормления, объёмов фильтрации и режимов обмена воды, чтобы минимизировать предельные концентрации.

Вопреки общепринятым нормам, накопленный опыт в современной аквакультуре подтверждает, что рекомендованные пределы по концентрации азотистых соединений иногда оказываются неэффективными для установок замкнутого водоснабжения. Согласно формальным стандартам, вода считается подходящей для разведения осетровых при концентрациях аммонийного азота, нитритов и нитратов не выше 0,5; 0,1 и 1,0 мг/л соответственно [125]. Несмотря на это практическая эксплуатация УЗВ выявила, что порог по нитратам следует воспринимать с осторожностью и при необходимости корректировать с учётом биомассы, плотности посадки и эффективности биофильтрации. При стабильных остальных параметрах многие хозяйства работают при значительно более высоких нитратах без острых последствий, контролируя влияние через регулярную подпитку и высаженные растения.

Помимо азотного режима важны кислотно-щелочное состояние и солёность, которые модифицируют как токсичность метаболитов, так и общую физиологию. Для осетровых переносимый диапазон pH составляет 4,7-9,8 при оптимуме 6,9-8,8 [126]. Что касается минерализации, при товарном выращивании молодь лучше растёт в пресной воде, а показатель солёности не должен превышать 10-12 ‰. В целом личинки осетров переносят до 7 ‰, мальки до 10 ‰, взрослые особи до

18 ‰. Для пресноводной стерляди оптимальные показатели достигаются в пресной воде, где её выживаемость составляет 90% с среднедневным приростом 2-4,2%. С показателем солености до 6 ‰ выживаемость гидробионтов составляет 55% с невысоким темпом роста 1,0-2,7%. При солёности до 3‰ суточные темпы прироста падают до 1,2-2,5%, что сопровождается резким сокращением выживаемости примерно до 32% [118, 127, 128].

УЗВ как технологическая платформа позволяет точно настраивать факторы среды, такие как температура и кислород, которые при соблюдении физиологических норм обеспечивают высокие темпы роста. Основные риски выживаемости и продуктивности гидробионтов связаны с накоплением нитритов. Менее опасными считаются колебания химического потребления кислорода (ХПК) и кратковременные повышения аммонийного азота в небольших диапазонах. Более того pH и соленость воды должны находиться в пределах нормы для гидробионтов, поскольку стерлядь как пресноводный вид демонстрирует лучшие показатели.

Качество воды для разведения осетровых должно соответствовать требованиям, предъявляемым к рыбоводным хозяйствам. При проектировании режимов УЗВ стоит опираться на физиологические данные, производственные наблюдения и адаптивные свойства гидробионтов.

1.4 Современные технологические решения при использовании УЗВ

Интенсивное развитие осетроводства в последние два десятилетия стало ответом на одновременный рост мирового спроса на икру и мясо и на ужесточение ограничений добычи диких осетровых, находящихся под давлением перелова и нарушения местообитаний. Это обусловило ускоренную технологическую модернизацию хозяйств и стремление к полной управляемости производственного цикла от инкубации до товарной продукции [129, 130]. Ключевую роль в этой модернизации сыграли замкнутые установки с оборотным водоснабжением, которые позволили перевести выращивание большинства видов осетровых (прежде

всего сибирского осетра *Acipenser baerii*, русского осетра *A. gueldenstaedtii*, стерляди *A. ruthenus* и гибрида бестера) на режим круглогодичного контроля параметров среды, повышая биобезопасность, предсказуемость роста и эффективность использования воды и энергии [131-133]. Высокая экономическая ценность осетровых продуктов исторически стимулировала внедрение в отрасль внешних для рыбоводства инженерных решений. Таких, как точная кислородная организация и автоматизированное кормление до цифровых систем мониторинга. Но именно в последние годы эти решения начали складываться в целостную архитектуру «точного рыбоводства», где данные сенсоров, алгоритмы управления и биологические протоколы сочетаются для достижения устойчивой рентабельности и стабильного качества [130, 134].

Модификации УЗВ, обеспечивающие устойчивый азотный цикл, газовый баланс и низкую микробную нагрузку, являются фундаментом прогрессивного осетроводства. Передовые технологии включают в себя высокоэффективное механическое удаление взвеси (барабанные фильтры, гидроциклоны), активные биофильтры на подвижной загрузке для нитрификации (MBBR) и узлы денитрификации, уменьшающие нитратную нагрузку при минимальных сбросах, что критически значимо для долгоживущих видов с длительным производственным циклом [131, 135, 136]. Совместно с этим важным аспектом следует считать оптимизацию газового баланса: низконапорные оксигенаторы и кислородные конусы обеспечивают стабильные уровни растворенного кислорода при высокоплотностном содержании, а дегазационные колонны и аэрационные каскады снижают избыток CO₂, препятствуя развитию хронического стресса и потери аппетита [132, 133]. Для контроля микробного фона и предупреждения неприятного вкуса применяются озонирование и УФ-обработка в безопасных контурах. При правильной дозировке они позволяют разрушать растворенные органические вещества и геосмин без вреда для рыбы и полезной биоты биофильтра [131, 137]. Эти инженерные средства в совокупности создают прогнозируемую среду, в которой проявляются биологические преимущества осетровых. Основные из которых – устойчивость к широкому диапазону

температур, толерантность к высокой плотности, спокойное поведение при сохранении темпов роста и конверсии корма на уровне, приемлемом для экономики хозяйства [133, 138].

Цифровизация УЗВ и концепция «точного рыбоводства» расширили инструментарий управляемости. Непрерывный мониторинг растворенного кислорода, температуры, pH, окислительно-восстановительного потенциала, аммония и нитрита дополняется расчетными показателями нагрузки биофильтра и баланса газов, а также данными о потреблении корма и поведении рыбы с компьютерным зрением. Эти данные в реальном времени используются системами управления для корректировки аэрации, оксигенации, скорости оборота воды, работы дозирующих насосов щелочи и подачи корма [132, 134]. Для осетровых, характеризующихся длительным циклом выращивания и высокой стоимостью брака, внедрение аналитики, предупреждающей отклонения (например, рост свободного CO₂ или «узких мест» в нитрификации при холодной воде), имеет прямой экономический эффект, снижая риски потерь и некачественной продукции [130, 131].

Кроме того, системы цифрового отслеживания и электронная сертификация способствуют хозяйствам в соблюдении норм Конвенции по международной торговле вымирающими видами животных и растений, а также в исполнении национальных требований по контролю оборота икры и осетрины. Это повышает прозрачность цепочки поставок и снижает вероятность санкций, что уже рассматривается рынком как часть технологического пакета устойчивого осетроводства [129, 139].

Переход к автоматизированным системам кормления от программируемых дозаторов до систем с обратной связью по активности рыб стал еще одним технологическим драйвером повышения эффективности. Осетровые, как типичные бентофаги, потребляют корм со дна; следовательно, ключевыми факторами остаются размер гранул, скорость утапливания, стабильность и распадаемость гранулы, а также кратность выдачи малых порций, снижающих потери [133, 140]. В новых системах алгоритмы распознавания поведения корректируют порции в

зависимости от активности и температуры, предотвращая как перекорм (источник аммония и органики), так и недокорм (потеря темпа роста) [134]. На уровне рецептуры кормов продолжается снижение доли рыбной муки и масла с замещением на растительные концентраты и альтернативные белки при поддержании сбалансированности по незаменимым аминокислотам и жирнокислотам. Для осетрового перехода, который опирается на научные данные о специфике их азотного и липидного обмена, полученные, в частности, на белом осетре, и на результаты контролируемых испытаний в УЗВ [133, 141]. Современные диеты для осетровых с корректно подобранными комплексами ферментов и функциональных добавок (например, органических кислот) демонстрируют приемлемую конверсию корма и качество тушки, а снижение зависимости от сырья морского происхождения улучшает углеродный след производства [129, 130].

Существенно обновились и биотехнические регламенты ранних стадий. На этапе инкубации оплодотворенной икры и выдерживания личинок усовершенствованы температурные профили, световые и гидродинамические режимы, снижающие аномалии развития, каннибализм и повышающие одновременность начала питания. Значительную роль сыграл реинжиниринг инкубаторов и лотков с учетом особенностей клейкости и кислородных потребностей икры осетровых [133, 140, 142]. В практике массового выращивания личинок был подтвержден эффект от более раннего и плавного перевода с живых кормов на микрогранулы с заданной плотностью и профилем растворения, что ускоряет «выравнивание» стада и сокращает зависимость от зоопланктона. Для уменьшения стресса и потерь целесообразно применение автокормушек, основными преимуществами которых является высокая кратность подачи корма и мягкий световой режим [131, 133]. Использование на критических стадиях нежестких водозаборных устройств и регламентированной скорости потока минимизирует травматизацию гибридов с высокой неоднородностью роста [133, 140].

Вопросы репродукции в промышленных хозяйствах претерпели значительные изменения. Первым существенным аспектом является совершенствование неинвазивных методов отслеживания полового созревания самок, которое прошло путь от ультразвуковой оценки диаметра и однородности ооцитов к малоинвазивному эндоскопированию. Это позволяет точнее планировать стимуляцию, оптимально подбирать временные промежутки для получения икры и уменьшать долю неэффективных манипуляций [133]. Вторым важным фактором выступает приспособление протоколов индукции овуляции к условиям УЗВ и линейным различиям. Использование аналогов гонадолиберина в сочетании с антагонистами дофамина на фоне поддерживающих температурных «ступеней» повышает воспроизводимость результатов в УЗВ [133, 140]. Массовое применение мягких средств обездвиживания, санитарных коридоров, однонаправленного потока и чистых зон в помещениях для репродукции уменьшило бактериальную нагрузку и риски обсеменения икры, усовершенствовав показатели инкубации и качество предличинок [131, 133]. Для выравнивания по времени и расширения генетической базы спариваний в малых стадах и при межвидовых задачах селекции успешно применяется технология криоконсервации молок основных производителей [140, 142]. В пищевом производстве икры укоренились стандарты предотборочного мониторинга качества ооцитов и их дальнейшей обработки, а также практики противопаразитарной и антибактериальной защиты маточного стада, что вместе с инженерными модификациями привело к повышению стабильности качества икры и уменьшению объема брака на этапе обработки [129, 133].

Особое внимание уделяется биологической безопасности и мониторингу физиологического состояния особей. К основным патогенам осетровых относят множество бактериальных и вирусных агентов, среди которых отдельно следует выделить иридовирус белого осетра, впервые зафиксированный в хозяйствах Северной Америки. Это эпителиотропный вирус, способный вызывать массовую гибель молоди [143]. Главный метод борьбы строится на многоступенчатом подходе к профилактике: карантин и тестирование входного материала,

санпропускники и зонирование по уровню чистоты, управление нагрузкой по рыбе и органике в УЗВ, применение УФ и озона для снижения бактериальной нагрузки, контроль плотностей в бассейнах, а также коррекция условий содержания (температура, газовый состав) для ослабления иммунного стресса [131, 132, 137]. Для ряда бактериозов возможно применение антибактериальных препаратов по показаниям, однако, основным решением принято считать раннюю профилактику и использование функциональных кормов, поддерживающих барьерную функцию кишечника. Сдерживающими факторами в реализации системных вакцин является их видоспецифичность и затруднённая логистика, что обосновывает профилактику как наиболее предпочтительный вариант [130, 133].

С экологической и экономической точек зрения инновационная система ведения осетрового хозяйства ориентирована на замыкание циклов ресурсов и снижение биологических рисков. Снижение энергозатрат достигается за счет частотного регулирования насосов и воздуходувок, рекуперации тепла, тепловых насосов, а также оптимизации гидравлики бассейнов и трубопроводов, что весьма заметно при затяжных этапах выращивания и в условиях повышенного кислородного запроса [131, 132]. Обращение со шламом постепенно смещается от утилизации к переработке. С помощью сгущения, анаэробного сбраживания и компостирования уменьшается нагрузка на очистные сооружения и запускается производство энергии и удобрений [135, 136]. Снижение водопотребления благодаря высокоэффективной денитрификации и контролю солесодержания уменьшает экологический след и зависимость от стабильного водозабора, что стало критичным на фоне климатической изменчивости [130, 136]. На рынках с высокой чувствительностью потребителя к качеству и происхождению продуктов расширяется применение цифрового отслеживания, лабораторного подтверждения видовой принадлежности и географического происхождения, а также сертификаций устойчивости, что в сумме формирует для хозяйств дополнительные стимулы вкладываться в технологии чистого производства [129, 139].

Селекционная работа и управление генетическими ресурсами в осетроводстве тоже переживают сдвиг к более формализованным программам.

Хотя фундаментальная генетика осетровых осложнена древними полиплоидными событиями и длительными генерационными интервалами, практики управления инбридингом, ведения племенных книг, использования маркеров для родительского контроля и планирования спариваний уже закрепились в передовых хозяйствах и описаны в профильных руководствах [133, 144]. Для ряда коммерческих линий (например, сибирского осетра) отмечается поступательное улучшение темпов роста и однородности стада, увеличивается доля самок в партиях за счет отбора и неинвазивной диагностики пола в ранние сроки с последующим отдельным выращиванием, что повышает эффективность использования мощностей [133]. Технологии криоконсервации спермы и подбор оптимальных соотношений при оплодотворении позволяют гибко управлять эффективным размером популяции и поддерживать её генетическое разнообразие, а в долгосрочной перспективе создавать криоколлекции для сохранения племенных достижений [140, 142]. Направление дальнейших усовершенствований внедрения генетического менеджмента с данными производственного учета и фенотипированием в УЗВ (рост, конверсия, устойчивость к факторам среды) уже доказывает свою состоятельность для других видов рыб и постепенно проникает в осетроводство [130, 134].

Современные представления о проектировании и эксплуатации бассейнов для осетровых учитывают их донное поведение, склонность к лежанию и потребность в мягкой гидродинамике. Стали стандартом круглые или овальные бассейны с центральным сливом и направляющими струями, обеспечивающими равномерное распределение скорости потока, удаления фекалий и минимизацию зон застоя. Благодаря тёмной окраске стенок и умеренной освещенности снижается стрессовая нагрузка и уменьшается травматизм рыб [132, 133]. Нормативы расчистки донных зон и профилактической обработки поверхности, применение щадящих подсаков и мягких рукавов при сортировке, а также корректные окна кормления, обусловленные температурой и насыщением, являются основополагающей частью технологических карт и напрямую влияют на качество продукции и возможные потери [131, 133]. Нужно обратить внимание, что

взаимосвязь инженерии и этологии вида — это ключ. Попытки механически переносить регламенты лососеводства без адаптации часто приводят к субоптимальным результатам в осетроводстве, что наглядно показано сопоставлениями гидрохимических режимов и поведенческими реакциями в руководствах по УЗВ и профильных монографиях по осетрам [132, 133].

Экономические и логистические аспекты внедрения новых технологий неоднозначны. Высокая капиталоемкость УЗВ и цифровых систем, потребность в квалифицированном персонале и сервисной инфраструктуре, а также дорогая энергия в ряде регионов создают входные барьеры. В то же время удлиненный производственный цикл осетровых, и высокая цена конечного продукта позволяют окупать инвестиции при условии грамотного планирования загрузки мощностей и сбыта продуктовой линейки икра, мясо, субпродукты [129, 130]. Международные обзоры свидетельствуют, что хозяйства, интегрировавшие УЗВ нового поколения с продуманными биотехнологическими регламентами и цифровым контролем, достигают большей предсказуемости выхода икры, снижения коэффициента вариации по массе и росту, а также сокращения трудозатрат на единицу продукции по сравнению с менее технологичными фермами [131, 138]. Важным фактором рисков становятся стандартизированные руководства и учебные материалы, накопившие эмпирические и экспериментальные данные. Объединяя инженерные, физиологические и управленческие аспекты классических мануалов по белому осетру и современные тома по биологии и выращиванию сибирского осетра, формируются практические протоколы [133, 140, 144].

К наиболее прогрессивным направлениям дальнейшего развития относят широкую интеграцию замкнутых азотных контуров с биологической денитрификацией и минимальным сбросом, популяризацию интеллектуальных систем диагностики состояния рыбы по косвенным признакам (динамика движения, распределение по глубине, поведенческие аномалии), контролируемое использование озона и продвинутых материалов фильтрации для отслеживания растворенной органики, а также внедрение тепловых насосов и рекуперации для сокращения углеродного следа [134, 136, 137]. Ключевым критерием успеха,

учитывая долгий период созревания осетровых и ощутимые расходы, принято считать повышение воспроизводства потомства, а не экстремальный темп роста, что напрямую связано с глубиной технологической оснащенности хозяйства и качеством эксплуатации [129, 130]. Основным преимуществом современных технологий выращивания является их способность обеспечить долгосрочную стабильность отрасли, снижая нагрузку на дикие ресурсы и покрывая спрос потребителя в высококачественном, документированном продукте [138, 139].

Обобщая результаты обзора научной литературы по разрабатываемой теме, можно выделить несколько ключевых положений:

- Осетроводство имеет первостепенное значение в рыбохозяйственном комплексе России, обеспечивая экономический рост и сохранение природных популяций.

- Развитие осетровой аквакультуры имеет под собой весомую научную базу, составляющую основу эффективных технологий искусственного воспроизводства, что является требуемым инструментом восстановления их запасов в условиях истощения естественных нерестилищ.

- Ключевое влияние на результативность нереста оказывают преднерестовая подготовка самок и рациональная гормональная стимуляция.

- Для сохранения вариативности разводимых популяций и исключения инбридинга необходимо осуществлять генетический контроль с использованием молекулярно-генетических методов.

- Гибридизация осетровых рыб, особенно бестера, демонстрирует высокий потенциал и адаптивность, благодаря чему гибрид становится важным объектом для товарного выращивания.

- Основными преимуществами стерляди для осетроводства является её раннее половое созревание и экологическая пластичность.

- Для повышения продуктивности при разработке технологий выращивания крайне важно учитывать биологические особенности осетровых.

- В качестве ключевых факторов, влияющих на результаты выращивания осетровой аквакультуры, можно выделить температуру, насыщение кислородом, pH и концентрацию азотистых соединений.

- Установки замкнутого водоснабжения способствуют контролю условий среды, повышая биобезопасность при выращивании осетровых, что увеличивает эффективность производства и качество продукции.

- Дальнейшее развитие отрасли – это грамотный союз достижений науки и современных технологий для долгосрочного устойчивого роста отрасли.

Осетроводство сегодня представляет собой высокотехнологичную сферу деятельности, имеющую важное экономическое, экологическое и ресурсосберегающее значение. Для решения проблем по товарному производству и сохранению осетровых как уникального вида наиболее перспективным является внедрение инновационных биотехнологий, УЗВ, цифрового контроля, генетического мониторинга и современных методов репродукции, что превращает осетроводство из ресурсозатратного производства в современную систему, где экономика и экология не противоречат друг другу.

ГЛАВА 2

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Общая методика работы

Научные исследования были начаты в 2021 году и проведены на базе двух лабораторий. Первая – находится на базе ФГБОУ ВО Луганский ГАУ на кафедре технологии производства и переработки продукции животноводства биолого-технологического факультета. Вторая – в лаборатории гидроэкологии и гидробиологии кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности ФГБОУ ВО «ДонГТУ» г. Алчевск, которые оснащены комплексами действующих мини-установок замкнутого водоснабжения и аквапонной рециркуляционной системой.

Установки данных лабораторий оборудованы: первая включает четыре бассейна диаметром 2 м каждый. Средний уровень воды, не превышает 1 м. Максимальный суточный расход на подмену составляет до 10% от общего объема в сутки. Из бассейнов вода самотеком направляется в механический фильтр, для удаления твердых примесей. Принцип его работы заключается в том, что загрязнения смываются с барабанной сетки с размером ячеек в диапазоне 40-50 мкм., множественными струями воды под давлением, после чего промывные воды отводятся в канализацию. Для данной УЗВ достаточна производительность механической фильтрации на уровне 25-30 м³/ч; при плотности посадки гидробионтов свыше 35-50 кг/м³. Механический фильтр работает автоматически с интервалом в 20 минут и длительностью 2 минуты. Далее вода поступает в сумматор – прямоугольную емкость объемом 2 м³. Из сумматора в биофильтр воду перекачивают два насоса мощностью 0,55кВт который установлен выше уровня бассейнов. В биологическом фильтре очистка осуществляется благодаря бактериям, которые преобразуют аммиак в нитриты, а затем – нитриты в нитраты. При водообмене на уровне 10% в сутки концентрация нитратов в УЗВ не достигнет критических значений. Установленный биофильтр размером 2 метра в диаметре и

высотой 1 метр, с общим объемом 3,14 м³ который заполнен на две трети динамической пластиковой загрузкой, что позволит ему функционировать по принципу «кипящего слоя». Воздуходувка необходима для циркуляции пластиковой загрузки внутри биофильтра для обеспечения бактерий кислородом. Мощность воздуходувки для лабораторной установки 1,5-2 кВт, так как слишком интенсивная барботация может привести к механическому повреждению биофильтра. Также воздуходувка будет одновременно обеспечивать барботацию воздуха в бассейнах УЗВ. На выходе из сумматора установлена дополнительная линия подачи кислорода небольшой производительности – до 5 л/мин. Под давлением, создаваемым насосом в биофильтре, который перекачивает воду из сумматора, и давлением воздуха, подаваемым воздуходувкой для заполнения биофильтра, вода направляется по магистралям в контактную колонну. В лабораторной установке данная колонна имеет высоту 2 м и диаметр 50 см. Внутри колонны вода проходит обработку озоном, что обеспечивает её обеззараживание и химическую очистку. Озонатор с производительностью 10 мг/ч позволяет поддерживать высокий уровень качества воды при проведении опытов с комбикормами для осетровых и лососевых рыб. В случаях, когда рыбы не полностью усваивают такие корма, что часто происходит в ходе экспериментальных исследований, озонирование становится незаменимым для обеспечения оптимальных условий обитания гидробионтов. Из озонатора в бассейны по двум магистралям подается чистая вода, предварительно прошедшая механическую, биологическую, бактериальную и физико-химическую очистку.

Вторая аквапонная рециркуляционная система включает бассейн диаметром 2 м с уровнем воды 1 м. Она оснащена системой очистки оборотной воды, включающей в себя механический фильтр, биофильтр, вермифильтр и гидропонный модуль. Для очистки воды используются две емкости объемом 0,75 м³, оборудованные под биофильтры с плавающей пластиковой загрузкой, керамзитом и биоплато с высшими водными растениями. В гидропонике высажены листья салата, рукола, базилик, шпинат, сельдерей, горох и чечевица. Температура в помещении регулируется при помощи обогревателя УФО (в зимнее время) и

кондиционера (в летнее время). Циркуляция воды осуществляется при помощи двух насосов, аэрация воды – принудительная. Схема аквапонной рециркуляционной системы представлена на рисунке 2.1.

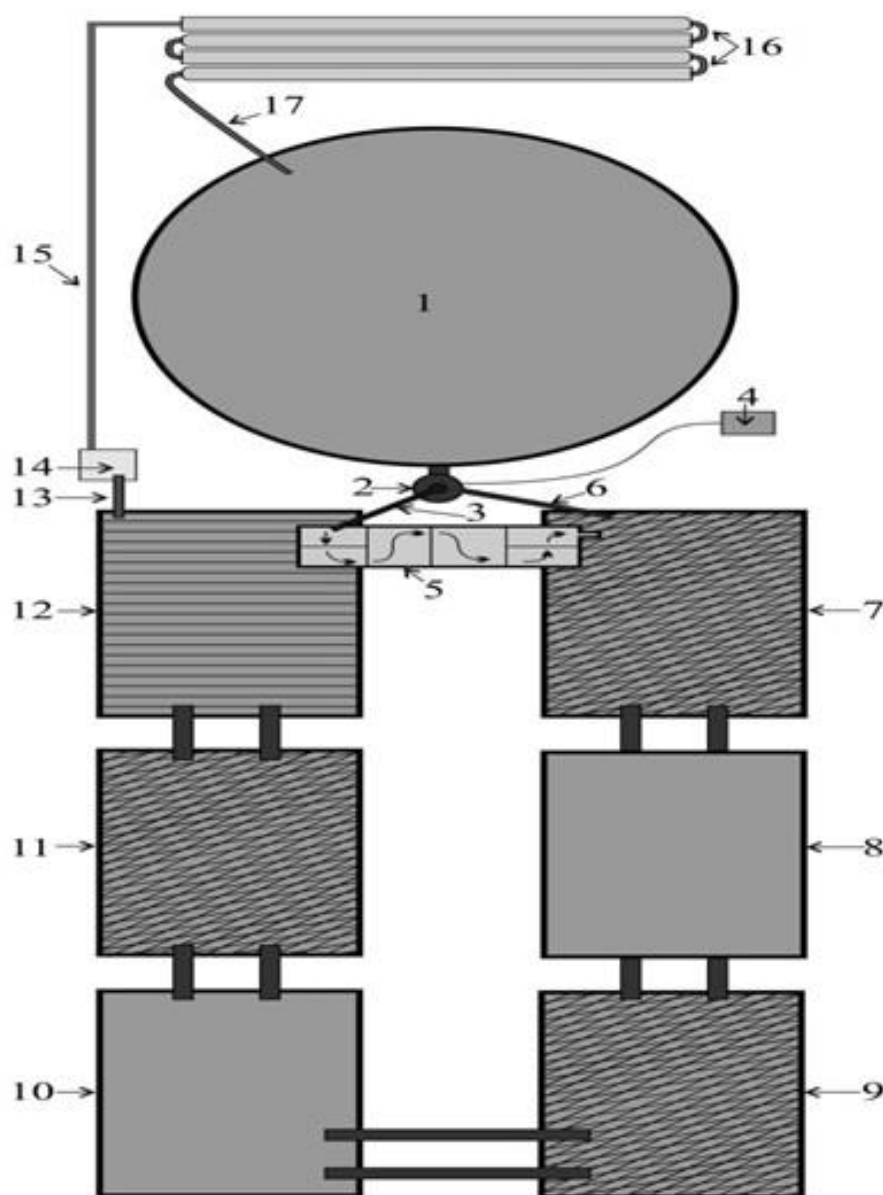


Рисунок 2.1 – Схема аквапонной рециркуляционной системы

1 – бассейн для рыб; 2 – эрлифтный сепаратор; 3 – отводная труба эрлифтного насоса; 4 – воздушный компрессор; 5 – шестисекционный механический фильтр; 6 – сточная труба эрлифтного сепаратора; 7 и 9 – гидропонный модуль с фальш-дном; 8 и 10 – гидропонный модуль DWC; 11 – биоплато с фальш-дном; 12 – биофильтр; 13 – водоотводная труба биофильтра; 14 – вихревой электронасос; 15 – водоподающая труба гидропонного модуля; 16 – четырехъярусный гидропонный модуль NFT; 17 – водоотводная труба гидропонного модуля.

Общая схема исследований представлена на рисунке 2.2.

ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ											
Осетровые рыбы (стерлядь, бестер, РоЛо) (<i>Acipenser ruthenus</i> ; <i>Huso huso</i> × <i>Acipenser ruthenus</i> ; (<i>Acipenser gueldenstaedtii</i> × <i>Acipenser baerii</i> , Brandt, 1869)											
Особенности формирования продуктивных качеств осетровых рыб											
Исследуемые показатели											
Зоотехнические						Биолого-технологические					
Интенсивность роста	Коэффициент упитанности	Выживаемость	Плотность посадки	Коэффициент массонакопления	Индексы тела	Гидрохимические	Морфологические	Гистологические	Физико-биохимические	Морфометрические	Гематологические
1 серия. Сравнительная оценка двух технологий выращивания осетровых в УЗВ – традиционная и с добавлением гидропоники, где высажены листья салата, рукола, базилик, шпинат, сельдерей, горох и чечевица											
2 серия. Технологический прием для оптимального кормления молоди осетровых рыб											
3 серия. Комплексная оценка пригодности осетровых рыб для производства продукции аквакультуры, выращенных в условиях УЗВ											
Экономическая эффективность выращивания осетровых рыб в установках замкнутого цикла водоснабжения с использованием гидропоники											

Рисунок 2.2 – Схема исследований

Исследование было разделено на 3 серии опытов. Работы первой серии опытов проводили на базе ФГБОУ ВО Луганский ГАУ и ФГБОУ ВО «ДонГТУ» на

представителе осетровых – бестер. Был использован корм Bisko [145]. В таблице 2.1 представлена первая серия опытов.

Таблица 2.1 – Первая серия опытов

Гибрид	Бестер (АРС)	Бестер (УЗВ)
Возраст	годовики	годовики
Количество в группе	100	100
Живая масса в начале опыта, кг	134,3	136,0
Живая масса в конце опыта, кг	231,9	206,5
Плотность посадки начало, кг/м ³	42,77	43,31
Плотность посадки конец, кг/м ³	73,85	65,76

В рамках исследования по оптимизации питания осетровых рыб была применена система регулярного кормления с использованием высокопротеинового экструдированного корма, производимого компанией Bisko (производственный тип) который производится на Кубани на импортном оборудовании по европейским стандартам. Использование высококачественного натурального свежего сырья, современных технологий производства и строгий внутренний контроль качества – гарантии замечательного вкуса, натуральности и высокого качества питания рыбы.

Масса предоставляемого корма составляла 2 % от суммарной массы всех рыб в УЗВ, при этом корм задавали четыре раза в сутки с равномерным распределением.

Рацион отличался высокой питательностью и включал разнообразные компоненты, направленные на обеспечение полноценного баланса макро- и микронутриентов, необходимых для роста и здоровья бестера. Основные ингредиенты корма представлены следующим образом: рыбная мука – источник животного белка, необходимые аминокислоты и минералы; пшеничная мука и мясная мука – дополнительные источники белка и углеводов; кукурузный и пшеничный глютен – концентраты растительного белка, способствующие лучшей усвояемости корма; мука кровяная – источник железа и микроэлементов; рыбий жир и растительное масло – поставщики незаменимых жирных кислот и энергии;

дрожжи кормовые – источник витаминов группы В и ферментов; аминокислоты (в том числе L-карнитин) – для улучшения метаболизма и роста; премикс витаминов и минералов – укрепление иммунитета и повышение устойчивости к стрессам; витамин С термостабильный – антиоксидант, повышающий сопротивляемость организма; закрепитель гранул, янтарная кислота, пробиотики и ферменты – улучшают процесс пищеварения и здоровье кишечника.

Использование экструдированного корма фирмы Bisko с богатым аминокислотным профилем, витаминно-минеральным комплексом, включением пробиотиков и ферментов способствует полноценному развитию осетровых рыб, повышает их иммунитет и улучшает пищеварение. Четырехкратная схема кормления позволяет поддерживать стабильный физиологический статус и снижает стрессовые нагрузки. Для обеспечения оптимальных условий роста и физиологического комфорта рыб была разработана следующая схема кормления, представленная в таблице 2.2.

Таблица – 2.2 Схема кормления бестера

Время кормления	Количество корма (% от массы)	Комментарии
08:00	0,5 %	Начальное кормление, пробуждение аппетита
12:00	0,5 %	Поддержание энергетического баланса
16:00	0,5 %	Обеспечение роста и метаболизма
20:00	0,5 %	Завершающее кормление, профилактика стрессов

Подобранный оптимизированный рацион и продуманная схема кормления направлены на максимальное улучшение производственных показателей и устойчивое развитие.

Экспериментальные исследования второй серии опытов выполнены также в аквариальном комплексе Донбасского НИИ экотехнологий в рециркуляционных аквакультурных системах, оснащенных четырехъярусными гидропонными

модулями. Объект исследований – гибрид белуги и стерляди ((*Huso huso* (Linnaeus, 1758) × *Acipenser ruthenus* (Linnaeus, 1758) бестер и гибрид русского и ленского (сибирского) осетров «РоЛо» (*Acipenser gueldenstaedtii* × *Acipenser baerii*, Brandt, 1869) животных» (приложение к приказу Министерства здравоохранения СССР от 12.08.1977 г. № 755). В таблице 2.3 представлена вторая серии опытов.

Таблица 2.3 – Вторая серия опытов (бестер, РоЛо)

Гибрид	I	II	III	IV
Возраст	сеголетки	сеголетки	сеголетки	сеголетки
Количество в группе	150	150	150	150
Живая масса в начале опыта, кг	57,23	57,18	57,19	57,09
Живая масса в конце опыта, кг	114,87	120,18	109,65	115,07
Плотность посадки начало, кг/м ³	18,23	18,21	11,84	18,18
Плотность посадки конец, кг/м ³	36,58	38,27	34,92	36,65

Исследовано влияние различных рецептур кормов (комбикорм Акима и пастообразная кормовая смесь) на рыбоводно-биологические и морфофизиологические показатели двух гибридных форм осетровых (бестер и РоЛо) в условиях эксперимента (60 суток) при кормлении 2 раза в сутки в количестве 3,0 % от массы рыбы. Были сформированы 4 группы: по две для каждого гибрида (контрольная и опытная) – для РоЛо I и II; для бестера III и IV.

Гибриды из I и III групп получали комбикорм, а представители II и IV групп – пастообразную кормосмесь, которая включала следующие компоненты: рыбный фарш из отходов и малоценных видов рыб – 5 %, кольчатые черви (семейство Lumbricidae, калифорнийский червь это гибрид обыкновенного северного червя (Владимирский) с южным чуйским, выращиваемые в лаборатории – 55 %, ряска из

биооплато с высшими водными растениями 10%, жмых подсолнечника – 16 % и биологически активные добавки рыбий жир – 9 %, дрожжи кормовые – 5 %. В таблице 2.4 представлен физико-химический состав комбикормов.

Таблица 2.4 – Физико-химический состав комбикормов

Показатель	Пастообразная кормосмесь	Akima гранулы	Bisko гранулы
Протеин, %	41,00	48,00	42,40
Жир, %	15,00	14,00	14,00
Сырая клетчатка, %	3,30	2,10	2,10
Лизин, %	3,70	2,90	2,85
Метионин, %	1,00	1,25	1,60
Треонин-L, %	-	1,89	-
Треонин	20,16	-	-
Гистидин, %	6,23	1,03	-
Витамин А, МЕ/кг	48333	15000	10000
Витамин Е, мг/кг	677	100	200
Витамин С, мг/кг	1,85	400	1500
Энергетическая ценность, ккал/кг	4342	4466	4540
Обменная энергия, МДж/кг	18,18	18,7	19,01
Стоимость 1 кг, руб.	60,54	343,93	258,7

Изготовление пастообразной массы проводилось ежедневно с расчетом корма на сутки, а также разработана схема кормления, которая представлена в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Схема кормления осетровых

Время кормления	Количество корма (% от массы рыб)	Комментарии
08:00	1,5%	Утреннее кормление
19:00	1,5%	Вечернее кормление

В начале рыбу и *Eisenia foetida* тщательно промывали и нарезами на мелкие кусочки. Затем, через мясорубку прокручивали калифорнийского червя, рыбу и жмых подсолнечный. После этого в смесь добавляли рыбий жир, ряску и кормовые дрожжи, все ингредиенты тщательно перемешивали и пропускали еще раз через мясорубку до получения однородной пастообразной консистенции. Полученную массу помещали в герметичный контейнер и хранили в холодильнике для последующих кормлений. Энергетическая ценность комбикорма составила 4342 ккал/кг и у пастообразной кормосмеси 4466 ккал/кг. Химический состав комбикорма и пастообразной кормосмеси изображен на рисунке 2.3.

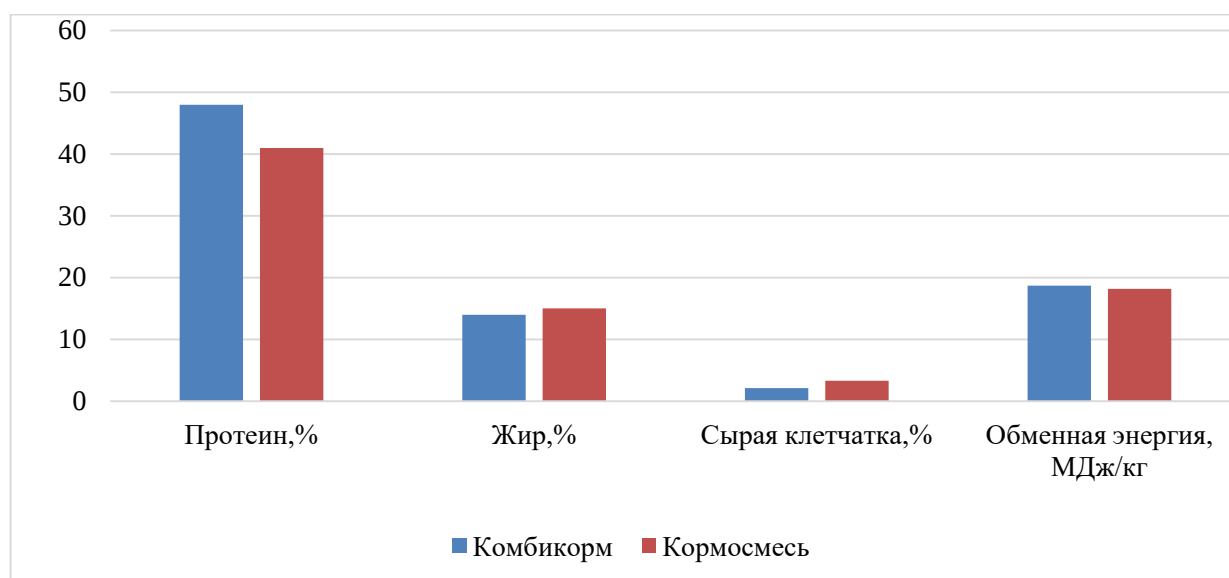


Рисунок 2.3 – Химический состав комбикорма и пастообразной кормосмеси

В ходе эксперимента один раз в неделю в системе частично меняли воду (до 30 % от объема рыбоводного бассейна). Ежедневно контролировали содержание в воде растворенного кислорода, концентрацию аммония и значение pH. Дважды в неделю определяли общую и карбонатную жесткость, содержание нитритов, нитратов, фосфатов и железа. Температура воды поддерживалась на уровне 22°C. Определение указанных показателей выполнено по общепринятым методикам. Экспериментальные исследования выполнены в соответствии с «Правилами проведения работ с использованием экспериментальных животных» (приложение к приказу Министерства здравоохранения СССР от 12.08.1977 г. № 755). Общее

количество корма в сутки составило 3 %, что соответствовало физиологическим требованиям осетровых рыб и способствовало эффективному использованию питательных веществ.

Таким образом, предложенный сбалансированный рацион и двукратное кормление обеспечивают эффективный рост осетровых, снижая кормовой коэффициент и улучшая пищевую ценность корма. Спецификация кормовых ингредиентов и их физико-химические характеристики служат основой для оптимизации технологического процесса аквакультуры осетровых видов.

Третья серия была проведена на базе ФГБОУ ВО «ДонГТУ» г. Алчевск на представителях осетровых, виды рыб: стерлядь и его гибрид – бестер. В таблице 2.6 отражена плотность посадки, живая масса и количество особей в группах на начало и конец опыта.

Таблица 2.6 –Третья серия опытов (стерлядь, бестер)

Вид	Стерлядь	Бестер
Возраст	сеголетки	сеголетки
Количество в группе	150	150
Живая масса в начале опыта, кг	35,85	40,65
Живая масса в конце опыта, кг	46,35	80,77
Плотность посадки начало, кг/м ³	11,42	12,95
Плотность посадки конец, кг/м ³	14,76	25,71

В данном опыте проведена комплексная оценка пригодности осетровых рыб для производства продукции аквакультуры, выращенных в условиях УЗВ на основе морфометрических, гематологических, гистологических и продуктивных показателей осетровых, выращенных на пастообразной кормосмеси из натуральных ингредиентов с кормлением 3 % от массы рыб в АРС в утреннее и вечернее время.

2.2 Методы экспериментальных исследований

В ходе исследования определяли физико-химический состав воды по следующим показателям: температура, растворимый кислород, pH, нитриты, нитраты, окисляемость, углекислота свободная, хлориды, сульфаты, ХПК, биохимическое потребление кислорода (БПК₅). Температуру воды измеряли согласно: Руководящий документ РД 52.24.496-2018 Методика измерений температуры, прозрачности и определение запаха воды. Растворимый кислород по Унифицированные методы исследования качества вод СЭВ. Ч.1. Т.2 М, 1987. Показатель pH – МВВ 081/12-0317-16. Нитраты – ГОСТ 18826-73. Углекислота свободная (Ю.Ю. Лурье, 1984). Окисляемость определяли по методике Унифицированные методы исследования качества вод СЭВ. Ч.1. Т.2 М, 1987. хлориды и сульфаты по ГОСТ 4245-72 и ГОСТ 4389-72. Железо общее согласно методике МВВ 081/12-0175-05, аммонийный азот и нитриты – ГОСТ 4192-82, а также фосфаты, марганец, цинк, свинец, медь и др., которым соответствовали методики ГОСТ 18309-72, ГОСТ 4974-72, ГОСТ 18293-72, ГОСТ 4388-72 [146-156].

Рыбоводные показатели осетровых включали описания интенсивности роста (относительный, абсолютный и среднесуточный приросты), выживаемость (%), коэффициент упитанности (К), вариабельность размеров (коэффициент вариации), которые предназначены для оценки производственных результатов в заданных технологических режимах. Взвешивание рыб проводилось на электронных весах с точностью до 1,0 г. Вычисляли коэффициент упитанности (Т. Fulton) как отношение массы к длине тела рыб (до конца лопасти хвостового плавника), а также рассчитывали индексы тела, характеризующие экстерьер рыбы [157].

Биолого-технологические показатели включали морфометрические показатели: длина всей рыбы (ab), длина до корней средних лучей С (ad), длина туловища (od), длина головы (ao), наибольшая высота тела (qh), наибольший обхват тела, расстояние от конца рыла до средних усиков (1-3), наименьшая высота тела (ik), ширина лба, длина хвостового стебля (fd) определяли в соответствии с руководством по изучению рыб (Правдин И.Ф., 1966) [158].

Индексы внутренних органов (жабры, семенники, печень, селезенка, плавательный пузырь и сердце) определяли, как отношение их веса к массе всей рыбы, выраженное в процентном отношении.

Проведена оценка качества рыбы по органолептическим, физико-химическим показателям. Оценивали органолептические показатели по таким критериям: внешний вид, запах, цвет, наличие наружных повреждений и состояние рыбы согласно ГОСТ 7631-2008 «Рыба, нерыбные объекты и продукция из них. Методы определения органолептических и физических показателей». Для определения физико-химических показателей таких как массовая доля белковых веществ, кальция, фосфора, воды и жира использовали ГОСТ 7636-85 «Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа». Содержание токсических элементов в мясе рыбы: ртуть ГОСТ 26927-86 «Сырье и продукты пищевые. Методы определения ртути», мышьяк ГОСТ 26930-86 «Сырье и продукты пищевые. Метод определения мышьяка», свинец и кадмий М 04-64-2017 «Продукты пищевые и сырье продовольственное. Корма, комбикорма и сырье для их производства. Методика измерений массовой доли кадмия, мышьяка, олова, ртути, свинца, хрома методом атомно-абсорбционной спектроскопии с использованием атомно-абсорбционного спектрометра с электротермической атомизацией модификаций МГА-915, МГА-915М, МГА-915МД, МГА-1000» [159-163].

Аналитическими методами был рассчитан ряд коэффициентов: обводнения, белково-водный и липидно-белковый коэффициент, характеризующий функциональные и технические свойства мышечной ткани исследуемых рыб [164].

Гематологический анализ проводили на пробах, взятых из хвостовой вены прижизненным способом. Провели морфологический анализ крови, в ходе которого определили содержание гемоглобина, а также количество эритроцитов и их специфические показатели (MCV, MCHC), лейкоцитов и их разновидностей в процентном соотношении, а также и количество тромбоцитов, и величину гематокрита. Биохимический анализ крови включал следующие показатели: количество общего белка, альбуминов, глобулинов, мочевины, креатинина, AST,

ALT, глюкозы, кальция и фосфора. Был определен Индекс Кребса, который рассчитывали по формуле: Индекс Кребса = нейтрофилы /лимфоциты. Гематологические исследования были проведены на базе ветеринарной клиники «Поливет» (клинический анализатор Mindray BC-2800vet и биохимический – Mindray BA-88A). Морфологическую картину крови оценивали по мазкам, которые обрабатывали под микроскопом. Мазки фиксировали и окрашивали по Паппенгейму.

Гистологические исследования были проведены на базе лаборатории кафедры гистологии, цитологии и эмбриологии ФГБОУ ВО ЛГМУ им. Свт. Луки Минздрава России. Применили метод, основанный на создании гистологических препаратов, с использованием общепринятой методики, включающей следующие этапы: фиксация материала, промывание от фиксатора, обезвоживание, пропитка парафином, заливка в парафин, резка парафиновых блоков, окрашивание срезов гематоксилин-эозином, фотосъёмка и описание готовых образцов [165]. Для анализа были отобраны образцы срезов селезенки. На каждом срезе в поле зрения определяли толщину капсулы, количество лимфатических узелков, а также толщину стенки и внутренний диаметр центральной артерии лимфатического узелка и рассчитали индекс Керногана с целью определения пропускной способности сосудов селезенки, который представляет собой отношение толщины стенки артерии к ширине просвета сосуда [166].

Микроморфометрическая характеристика печени включала измерение диаметра и площади гепатоцитов и их ядер, а также количество гепатоцита и их ядер на единицу площади. Была посчитана площадь цитоплазмы, как разница между площадью клетки и площадью её ядра. Для определения ядерно-цитоплазматического соотношения вычисляли отношение площади ядра к площади цитоплазмы.

Морфометрическая характеристика ооцитов осетровых включала такие показатели: диаметр ядра и самого ооцита, а также его площадь. Рассчитывали коэффициент зрелости и гонадосоматический индекс (ГСИ). Коэффициент зрелости, представляет собой отношение веса гонад к массе рыбы и ГСИ –

отношение веса гонад к массе рыбы без внутренностей, данные показатели выражены в процентах [167].

Микроскопирование объектов исследования, окрашенных гематоксилин-эозином, осуществляли с помощью светового микроскопа Olympus CX-41 при увеличении окуляра 10х, объективах PlanC N 10^x/0.25 ∞/-/FN22 и PlanC N 40^x/0.65 ∞/0.17/FN22. Микрофотографии получали с помощью цифрового фотоаппарата Olympus SP 500UZ.

Для проверки достоверности результатов, полученных в ходе экспериментов, проводили обработку данных с использованием методов вариационной статистики. В этом процессе определяли средние значения показателей и их ошибки, критерий значимости различий средних значений по группе. Сравнительные характеристики оценивали с использованием критерия значимости Стьюдента. Статистически достоверными считались различия при уровне значимости $p < 0,05$, и $p < 0,01$, что соответствует вероятности ошибки не более 5 и 1% (Плохинский Н. А., 1969) [168].

ГЛАВА 3

РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Сравнительная оценка двух технологий выращивания осетровых в УЗВ – традиционной и с добавлением гидропоники

Важными показателями оборотной воды, с точки зрения рыбоводства, являются: солевой состав; растворённый кислород; pH; аммонийный азот в связи с pH; нитриты и нитраты; БПК₅ и органические загрязнения, а также железо и тяжёлые металлы.

Результаты химического состава воды в установках замкнутого водоснабжения, представлены в таблице 3.1 и 3.2.

Таблица 3.1 – Гидрохимические показатели воды в УЗВ в начале опыта

№	Показатель	УЗВ	АРС	ПДК Портал новости аквакультуры
1	ХПК, мг/дм ³	6,80±0,95	11,25±1,58*	15,0
2	БПК ₅ , мг/дм ³	3,54±0,25	4,12±0,29	2,0
3	Аммоний, мг/дм ³	<0,10	0,13±0,01	0,25
4	Жесткость общая, ммоль/дм	13,30±0,49	17,80±0,49*	6-8
5	pH, мг/дм ³	8,25±0,10	8,15±0,10	7-8
6	Хлориды, мг/дм ³	241±24,1	273±27,3	30
7	Сульфаты, мг/дм ³	258±25,8	552±55,2*	50
8	Гидрокарбонаты, мг/дм ³	275±8,24	299±8,97	-
9	Нитриты, мг/дм ³	<0,003	0,036±0,001	0,1
10	Нитраты, мг/дм ³	98,88±24,72*	41,63±10,41	60
11	Окисляемость, мг/дм ³	3,84±0,42	3,89±0,43	10

Примечание. * p<0,05

Таблица 3.2 – Гидрохимические показатели воды в УЗВ в конце опыта

№	Показатель	УЗВ	АРС	ПДК Портал новости аквакультуры
1	ХПК, мг/дм ³	5,78±0,95	9,56±1,58	15,0
2	БПК ₅ , мг/дм ³	3,01±0,25	3,50±0,29	2,0
3	Аммоний, мг/дм ³	<0,08	0,44±0,11	0,25
4	Жесткость общая, ммоль/дм	11,30±0,49	15,2±2,28	6-8
5	рН, мг/дм ³	8,13±0,10*	7,76±0,05	7-8
6	Хлориды, мг/дм ³	204,85±24,1	232,05±27,3	30
7	Сульфаты, мг/дм ³	219,30±25,8	469,20±55,2*	50
8	Гидрокарбонаты, мг/дм ³	233,75±8,24	254,15±8,97	-
9	Нитриты, мг/дм ³	<0,00255	0,021±0,1	0,1
10	Нитраты, мг/дм ³	94,05±24,72	35,38±10,41	60
11	Окисляемость, мг/дм ³	3,26±0,42	3,31±0,43	10

Примечание. * p<0,05

Физические свойства воды в обеих установках отличались только по значению температуры. Так в УЗВ – 19°C, а в АРС – 17 °C. Прозрачность была ≥ 30 см, цветность ≤ 5 градусов, а запах – 0 баллов.

В результате анализа гидрохимических показателей двух установок УЗВ было выявлено, что соотношение ХПК / БПК₅ было меньшим по значению в УЗВ и составило 1,92, что указывает на более чистую воду. Количество аммония в воде обеих установок было в пределах ПДК. Жесткость воды была высокая и превышала ПДК в УЗВ в 1.6 раз, а в АРС в 2,2 раза. Также можно сказать, что в УЗВ и АРС показатель рН был у верхней границы нормы (7,0-8,0 усл. ед.), проведенный мониторинг позволил своевременно предпринимать меры для его коррекции.

В установках замкнутого водоснабжения для выращивания осетровых рыб показатели содержания сульфатов превышали технологическую норму в 100

мг/дм³ в обеих УЗВ – в 2,6 и 5,5, раз, соответственно. Уровень хлоридов не превышал ПДК. Содержание нитритного азота непостоянно и тесно связано с активностью микроорганизмов, плотностью населения гидробионтов и наличием растительности в водной среде. Нитратный азот, напротив, демонстрирует большую устойчивость и не оказывает существенного отрицательного воздействия на осетровых, хотя его избыток способен снижать кислотность воды, замедляя процесс нитрификации. Сравнивая показатели нитратов и нитритов в установках замкнутого водоснабжения УЗВ и АРС с технологической нормой по выращиванию осетровых рыб, можно отметить, что в УЗВ уровень нитритов был ниже предельно допустимой нормы для осетровых, тогда как уровень нитратов оказался выше на 64%, что превышает рекомендуемые значения. АРС с блоком гидропоники в котором высажены растительные культуры позволил снизить содержание нитритов и нитратов на 1,71 и 1,18 раза на конец эксперимента. Следует отметить, что морфологическое строение корневой системы высаженных растений, а именно: кресс-салат, рукола, базилик, горох и чечевица – не только питают воду кислородом, но и активно поглощают и накапливают в себе нитратные и нитритные соединения. В АРС, несмотря на более высокий уровень нитритов, который не превышал допустимые нормы, уровень нитратов являлся более приемлемым показателем. Таким образом, в АРС наблюдается большее содержание нитритов, но более низкий уровень нитратов по сравнению с УЗВ, что делает АРС, менее подходящей для разведения осетровых рыб по критериям нитритов, но более приемлемой по нитратам. В обеих установках показатель окисляемости был на одном уровне и соответствовал норме.

На следующем этапе работы сравнивали рыбоводные показатели осетровых, вид рыбы: бестер (*Huso huso*×*Acipenser ruthenus*), содержание которых проходило в УЗВ, которые расположены в научно-исследовательской лаборатории аквакультуры АНО «ДОННИИ ЭКОТЕХНОЛОГИЙ» и ФГБОУ ВО Луганский ГАУ. Полученные результаты представлены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Рыбоводные показатели бестера

Параметры	УЗВ	АРС
Масса начальная, г	1360±24,88	1343±53,00
Масса конечная, г	2065±32,16	2319±26,33
Среднесуточный прирост, г	11,75±0,31	16,3±0,61
Абсолютный прирост, г	705±6,09	976±5,93
Относительная скорость роста, %	51,84	72,67
Коэффициент массонакопления, ед.	0,08	0,11
Выживаемость, %	100	100
Продолжительность эксперимента, суток	60	60

Анализ данных, приведенных в таблице 3.3 показал, что рыба, выращенная в аквапонной рециркуляционной системе имеет более высокие показатели, по всем характеристикам, которые в 1,4 раза выше по коэффициенту массонакопления, абсолютному и среднесуточному приросту.

Для более всесторонней оценки влияния гидрохимических показателей воды на качества мяса осетровых, был проведен химический анализ, который охватывал содержание белковых соединений, жиров, воды, а также кальция и фосфора и может выявить ключевые особенности мяса, что важно для потребителей и производителей, стремящихся к высокому качеству конечного продукта. Результаты химического анализа мяса бестера представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Химический состав мяса бестера, %

№ п/п	Показатель	УЗВ	АРС
1	Массовая доля белковых веществ	19,01±0,50	18,75±0,50
2	Массовая доля кальция	0,13±0,20	0,12±0,20
3	Массовая доля фосфора	0,10±0,20	0,10±0,20
4	Массовая доля воды	72,90±0,50	75,90±0,50*
5	Массовая доля жира	7,90±0,50*	5,30±0,50

Примечание. * p<0,05

Анализ химического состава мяса бестера показал, что значительные различия можно выделить по массовой доле воды (3%) – у рыбы, выращенной в АРС и жира (2,6%) – в УЗВ, соответственно. Массовые доли: белковых веществ, кальция, фосфора в обоих образцах достоверно не отличались.

Величина белково-водного коэффициента определяет текстуру и вкусовые качества мяса – у бестера, выращенного в УЗВ данный коэффициент на 5% больше, по сравнению с представителями АРС. Липидно-белковый коэффициент, который показывает взаимодействие между жировыми и белковыми компонентами, также выше в УЗВ в 1,5 раза.

Коэффициент обводнения в АРС на 5% больше, чем у осетровых из УЗВ и демонстрирует уровень увлажненности мяса, что критически важно для сохранения свежести, а также существенно влияет на вкусовые ощущения и пищевую ценность продукта. На рисунке 3.1 представлены коэффициенты: белково-водный, обводнения и липидно-белковый мышечной ткани бестера.

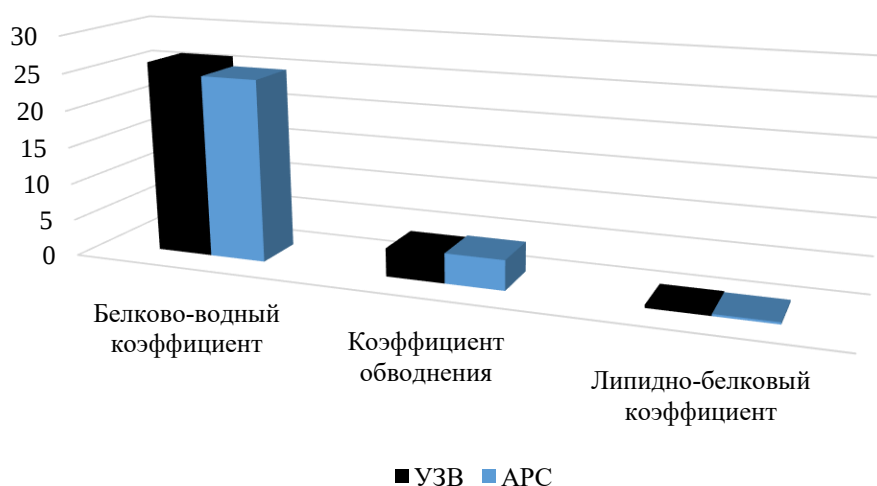


Рисунок 3.1 – Коэффициенты обводнения, липидно-белковый и белково-водный мышечной ткани бестера

Повышенное содержание тяжелых металлов в рыбе представляет значительную угрозу, как для здоровья человека, так и для животных.

Содержание тяжелых металлов в образцах мяса рыб, выращенных в УЗВ и АРС представлено в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Содержание тяжелых металлов в мясе бестера, мг/кг

Тяжелые металлы	УЗВ	АРС	СанПиН 2.3.2.1078–01
Свинец	<0.05	<0.05	2.0
Кадмий	0.00616±0.00101	0.0519±0.00404	0.2
Ртуть	0.08	0.03	1,0
Мышьяк	1.17	0.66	1.0

Сравнивая полученные данные с предельно допустимыми уровнями тяжелых металлов из СанПиН 2.3.2.1078–01 от 2002 года (с изменениями и дополнениями) можно сказать, что содержание свинца, кадмия, ртути, мышьяка в мясе бестера не превышали их значения. Следовало бы отметить, что содержание ртути в 3 раза и мышьяка в 1,8 раз было выше в мышечной ткани бестера, выращивание которого проходило в УЗВ. Ртуть, легко усваивается организмом и вызывает слабость, рвоту и нарушения работы нервной системы, проявляющиеся через судороги и паралич. Отрицательный эффект воздействия мышьяка на здоровье человека проявляется в накоплении этого вещества в таких тканях, как волосы, ногти, кожа, кости и печень.

Установленные различия в физико-химическом составе воды (по ХПК, жесткости и сульфатам), можно рассматривать как фактор, способный оказывать влияние на химические показатели, определяющие пищевую ценность мяса осетровых, выращенных в установках замкнутого водоснабжения. Достоверные отличия выявлены по массовой доле воды и жира в мышечной ткани бестера.

Обеспечение продовольственной безопасности и здоровое питание населения напрямую зависит от уровня развития отрасли рыбоводства, поскольку высокая экологическая пластичность осетровых видов рыб и их гибридов позволяет получать товарную продукцию при использовании широкого спектра технологий – прудовой, садковой, бассейновой, в том числе и в условиях установок с замкнутым циклом водоснабжения. Применение технологии УЗВ, по сравнению с прудовым выращиванием, позволяет в 3 раза сократить продолжительность

сроков получения продукции осетровых рыб, в два раза снизить затраты корма на единицу прироста, более чем в сто раз сократить выростные площади.

В результате исследований учеными выявлена четкая зависимость роста и накопления массы тела бестера от температуры и содержания в воде кислорода. Оптимальными показателями являются температура воды в пределах 20-22 °С и уровень растворенного в воде кислорода 75-85 %. Установки замкнутого водоснабжения дают возможность выращивать осетровых рыб в течение всего года и получать высококачественную продукцию в короткие сроки.

Следует также отметить, что ухудшение качества воды в УЗВ, приводит к патологическим отклонениям в физиологических параметрах рыбы, вызывая вспышки инфекционных и паразитологических заболеваний, ухудшая их рыбоводные характеристики.

Установление корреляционной связи между гидрохимическими показателями воды и биохимическими крови у осетровых рыб позволит перейти от простой констатации фактов к их объяснению и к активному воздействию на них в сторону улучшения.

Биохимические показатели сыворотки крови представлены в таблице 3.6 позволяют исследователю оценить, как протекают обменные процессы, характеризующие – белковый, углеводный, липидный, микроэлементный обмены веществ и на их основе судить об общем состоянии организма. По их результатам также можно проверить, не оказывают ли условия содержания, опасных побочных эффектов на организм рыбы. Следует отметить, что альбумины плазмы крови рыб выполняют функцию резерва пластического и энергетического материалов, и их количество тесно связано с общим содержанием белка. Исследованию щелочной фосфатазы ученые уделяют особое внимание при разработке биохимической системы биоиндикации водных экосистем. Уровень глюкозы, который указывает на интенсивность и направленность углеводного обмена – привлекают внимание исследователей при оценке реакции рыб на стрессовую ситуацию. В качестве тестового показателя, характеризующего способность почек к фильтрации,

рассматривается уровень креатинина. Сравнительный анализ полученных данных позволил установить сходства и отличия исследуемых показателей у бестера.

Таблица 3.6 – Биохимические показатели сыворотки крови бестера

№	Показатель	УЗВ	АРС
1	Общий белок, г/л	19,60±0,10*	16,93±1,03
2	Альбумины, г/л	8,31±0,11*	6,56±0,46
3	Щелочная фосфатаза, Ед/л	112,05±0,34*	95,28±5,51
4	Билирубин, ммоль/л	0,10±0,04	0,42±0,09*
5	Мочевина, ммоль/л	0,95±0,01	0,89±0,04
6	Креатинин, ммоль/л	15,15±0,90	13,06±2,15
7	Глюкоза, ммоль/ла	2,61±0,51	2,66±0,16
8	Натрий, ммоль/л	132,05±1,27	135,55±0,45
9	Калий, ммоль/л	2,18±0,02	2,13±0,03
10	Хлор, ммоль/л	113,81±0,58	115,17±0,23
11	Кальций, ммоль/л	2,07±0,06*	1,87±0,05
12	Фосфор, ммоль/л	3,16±0,04	3,45±0,09*

Примечание: * $p < 0,05$

Анализ данных таблицы 3.6 показал, что по двенадцати изучаемым показателям достоверные отличия получены по содержанию в крови бестера контрольной группы общего белка (15 %), альбуминов в 1,5 раза, щелочной фосфатазы (18 %) и кальция (11%) и по опытной группе – по количеству билирубина в 4,2 раза и фосфора (9%). Анализ коэффициента корреляции между гидрохимическими и биохимическими показателями у бестера контрольной группы показал, что очень сильная связь регистрируется между парами – «щелочная фосфатаза и рН» ($r=0,950$), «щелочная фосфатаза и БПК₅» ($r=0,940$), «билирубин и хлориды» ($r=0,950$), «билирубин и сульфаты» ($r=0,930$), «билирубин и окисляемость» ($r=0,900$), «кальций и нитраты» ($r=0,990$).

Следует отметить, что наибольшее количество высоких положительных связей было зарегистрировано между гидрохимическими показателями и содержанием билирубина в сыворотке крови бестера контрольной группы. Установленный коэффициент корреляции у бестера опытной группы или очень сильная отрицательная связь или согласованные изменения переменных, наблюдались, если увеличение среднего значения одной переменной приводит к уменьшению среднего значения второй переменной и составил: «щелочная фосфатаза и хлориды» ($r=-0,920$), «мочевина и БПК₅» ($r=-0,900$), «натрий и нитраты» ($r=-0,970$), «натрий и жесткость» ($r=-0,900$). Условия содержания бестера, а именно гидрохимические показатели, в условиях УЗВ влияют на биохимические показатели крови, которые определяют состояние белкового обмена у рыб, что подтверждает наличие очень сильной корреляционной связи между изучаемыми показателями. Динамика коэффициента корреляции между гидрохимическими показателями и химическим составом мяса бестера показана в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Динамика коэффициента корреляции между изучаемыми показателями

Показатель	Коэффициент корреляции	
	УЗВ	АРС
Массовая доля воды – рН	+0,010	+0,850
Массовая доля воды – сульфаты	+0,890	+0,790
Массовая доля воды – хлориды	+0,830	+0,830
Массовая доля воды – жесткость	+0,760	+0,800
Массовая доля воды – ХПК	+0,720	+0,750
Массовая доля белковых веществ – нитриты	-0,680	+0,800
Массовая доля жира – рН	-0,500	+0,810
Массовая доля жира – жесткость	-0,650	+0,740
Массовая доля жира – ХПК	-0,890	+0,810
Массовая доля жира – БПК ₅	-0,650	+0,810
Массовая доля жира – сульфаты	-0,660	+0,870
Массовая доля жира – хлориды	-0,840	+0,840

Динамика установленных корреляционных связей у представителей бестера (АРС) показана на рисунке 3.2.

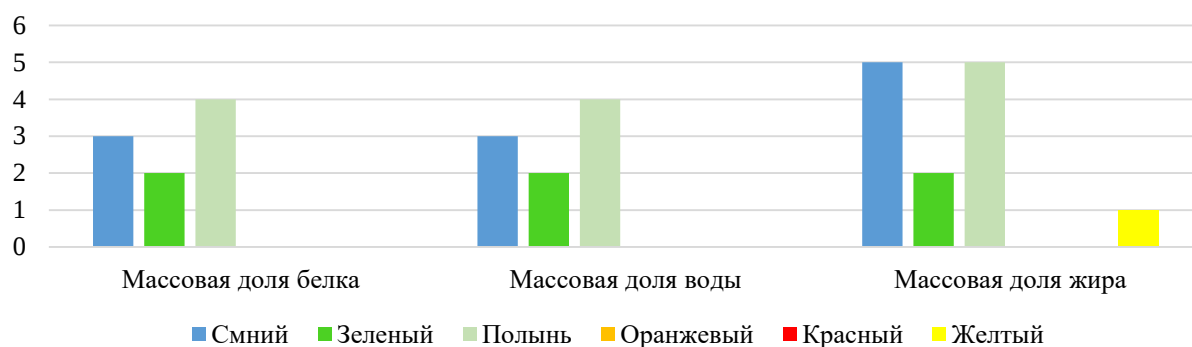


Рисунок 3.2 – Динамика установленных корреляционных связей у представителей бестера (АРС)

Анализ данных, приведенных на рисунке 3.2 показал, что у представителей бестера после содержания в АРС было установлено 13 сильных положительных связей, 6 – очень сильных и 13 – умеренной силы, а также отрицательная корреляционная связь умеренной силы. Всего было установлено 33 значимых корреляционных связей рисунки Б.1 – Б.7.

Динамика установленных корреляционных связей у представителей бестера (УЗВ) показана на рисунке 3.3.

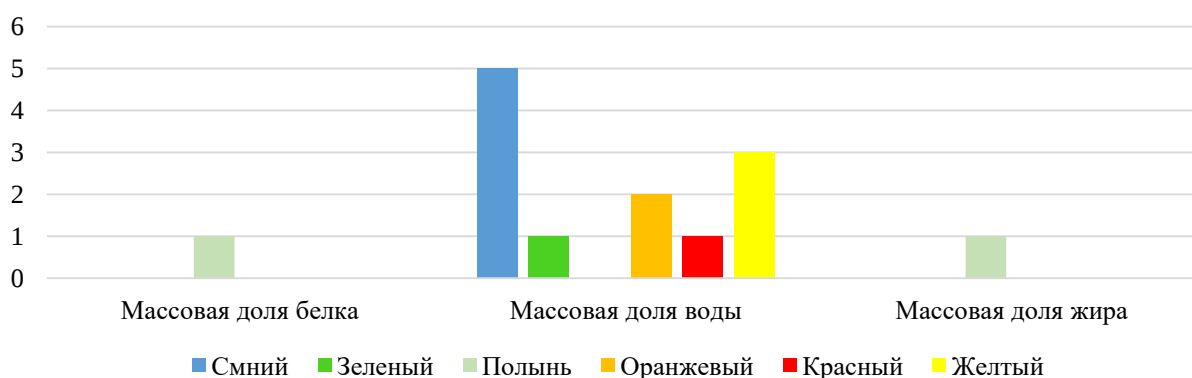


Рисунок 3.3 – Динамика установленных корреляционных связей у представителей бестера в УЗВ.

Можно отметить, что при содержании бестера в аквапонной рециркуляционной системе образуются корреляционные связи большей силы и их

количество в 2 раза больше в сравнении с таковыми при выращивании бестера в традиционной установке замкнутого водоснабжения, что указывает на формирование благоприятной искусственной экосистемы, способствующей интенсивному росту и развитию объектов, включенных в технологический процесс.

3.2 Технологический прием для оптимального кормления молоди осетровых рыб

Рыбоводно-биологические показатели осетровых рыб, выращенных на разнообразных кормах в условиях замкнутого водоснабжения представлены в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Рыбоводно-биологические показатели осетровых рыб, выращенных на различных кормах в условиях замкнутого водоснабжения

Наименование показателя	РоЛо		Бестер	
	I	II	III	IV
Масса начальная, г	381,50±1,55	381,20±1,16	381,29±0,89	380,60±1,10
Масса конечная, г	765,80±3,49	801,20±1,20*	731,00±2,26	767,15±2,22*
Абсолютный прирост массы, г	384,30±3,42	420,00±1,57*	349,71±2,65	386,55±2,66*
Относительный прирост массы, %	100,75±1,04	110,19±0,68*	91,73±0,83	101,58±0,90*
Среднесуточный прирост массы, г	6,41±0,06	7,00±0,03*	5,83±0,04	6,44±0,04*
Среднесуточный прирост массы, %	66,99±0,47	71,04±0,28*	62,88±0,39	67,36±0,40*
Коэффициент массонакопления, ед	0,09	0,10	0,09	0,10
Продолжительность эксперимента, сут.	60	60	60	60

Примечание: * $p < 0,01$

Анализ данных, приведенных в таблице 3.8 показал, что в начале эксперимента масса гибридов была одинаковая. По завершению – установлены достоверные различия, так у представителей РоЛо первой группы живая масса была достоверно выше на 4,80 %, при этом абсолютный прирост на 9,9 %, относительный прирост на 9,02 %, среднесуточный прирост массы на 9,9 % в сравнении со сверстниками из третьей группы. У гибридов второй и четвертой групп установлены следующие различия – по живой массе на 4,4%, по абсолютному приросту – на 8,8%, по относительному приросту – на 8,6% и по среднесуточному приросту на 8,7%. Таким образом, можно сказать, рыбоводные показатели у гибридов осетровых, выращенных на комбикорме ниже, в сравнении с таковыми при использовании пастообразной кормосмеси, что определяет их продуктивные качества.

Проведенные исследования показали, что замена части рыбной муки биомассой червя *Eisenia fetida* в составе пастообразной кормосмеси оказывает положительное влияние на продуктивные качества гибридов осетровых рыб. Достоверное увеличение абсолютного, относительного и среднесуточного приростов массы (на 8,6–9,9 % в зависимости от показателя и гибрида) может быть связано с несколькими факторами. Во-первых, биомасса *Eisenia fetida* содержит легкоусвояемый белок (до 60–70 % в пересчете на сухое вещество), сбалансированный по аминокислотному составу, включая незаменимые – лизин, метионин, треонин. В отличие от рыбной муки, которая при тепловой обработке частично теряет биологическую активность, вермикультура используется в сыром или мягко обработанном виде, что сохраняет нативную структуру белков и ферментов. Во-вторых, в теле червей содержатся биологически активные вещества: ферменты (протеазы, липазы, целлюлазы), витамины группы В, витамин Е, каротиноиды, а также микроэлементы (железо, медь, цинк, селен). Перечисленные компоненты стимулируют пищеварение, улучшают усвоение питательных веществ и повышают неспецифическую резистентность организма рыб. В-третьих, пастообразная консистенция кормосмеси (в отличие от гранулированного комбикорма) лучше соответствует пищевым потребностям осетровых, которые в

природе потребляют корма с высоким содержанием влаги. Мягкая текстура улучшает поедаемость и снижает кормовые потери, что косвенно подтверждается более высоким коэффициентом массонакопления ($U = 0,10$ в опытных группах против $0,09$ в контроле).

Изучение морфологического состава крови гибридов осетровых рыб, помогают исследователям контролировать физиологическое состояние организма рыбы под действием различных факторов, включая и рацион, в состав которого входили калифорнийские черви.

У осетровых рыб кровь имеет выраженный лимфоидный характер. Зернистые лейкоциты представлены миелобластами, промиелоцитами, миелоцитами, метамиелоцитами, палочкоядерными и сегментоядерными гранулоцитами. По способу окраски гранулы подразделяются на нейтрофильные и эозинофильные элементы. Нейтрофилы на конечной стадии развития имеют резко рассеченное красно-фиолетовое ядро, гранулы мелкие слабо выраженного серовато-розового оттенка. Встречаются клетки с вакуолизированной цитоплазмой.

Следует отметить, что под влиянием «агрессивных» факторов в крови увеличивается содержание клеток гранулоцитарного ряда. Анализ данных, приведенных в таблице 3.9 показал, что у представителей бестера содержание лимфоцитов находится в пределах от $61,60\%$ до $68,14\%$, а у РоЛо от $65,80\%$ до $66,60\%$, что подтверждает лимфоцитарный профиль крови у исследуемых рыб. Установлено, что содержание гемоглобина достоверно выше в эритроцитах бестера, в сравнении с представителями РоЛо. По группам I и III разница составила 22% и по группам II и IV – 43% соответственно. Аналогичная закономерность прослеживается и по содержанию эритроцитов – 57% и 78% . Количество лейкоцитов находилось в пределах верхней границы физиологической нормы у гибридов всех групп, что указывает на некоторое напряжение в организме рыб, но без признаков острого воспаления.

Для определения соответствия гематологическим параметрам использовали индекс сдвига лейкоцитов крови, который определяли по формуле:

ИСЛК = (нейтрофилы + эозинофилы + базофилы) / (лимфоциты + моноциты).

Морфологический состав крови гибридов осетровых рыб представлен в таблице 3.9.

Таблица 3.9 – Морфологический состав крови гибридов осетровых рыб

Наименование показателя	РоЛо		Бестер	
	I	II	III	IV
Гемоглобин, г/л	43,00±3,96	42,80±3,02	52,40±0,87	61,20±0.62**
Эритроциты, 10 ¹² /л	0,56±0,02	0,51±0,03	0,88±0,04	0,91±0,08
Лейкоциты, 10 ⁹ /л	42,40±3,26	37,20±1,93	43,42±0,59	40,12±0,87
Тромбоциты, 10 ⁹ /л	117,00±15,62	117,40±6,05	113,00±12,73	112,20±11,79
Лейкоцитарная формула, %				
Палочкоядерные нейтрофилы	1,80±0,73	2,40±0,51	2,20±0,58	2,10±0,33
Сегментоядерные нейтрофилы	24,00±3,61	26,20±2,03	27,40±2,06	26,60±1,44
Эозинофилы	3,80±1,50	2,20±0,37	1,98±0,12	2,04±0,11
Моноциты	3,80±1,16	3,40±1,17	8,48±0,30	7,70±0,07*
Лимфоциты	66,60±3,70	65,80±1,93	68,14±3,81	61,60±3,89
Индекс сдвига лейкоцитов	0,47	0,44	0,41	0,44

Примечание: * p<0,05, ** p<0,01

Индекс сдвига лейкоцитарной формулы у гибридных форм осетров находился в диапазоне от 0,41 до 0,47, что свидетельствует об отсутствии воспалительного процесса и выраженной иммунологической реактивности организма рыбы. В целом характер выявленных морфологических изменений в периферической крови осетровых позволяет считать их следствием компенсаторно-приспособительных реакций организма рыбы на воздействие

внешних факторов, в частности разного состава корма при сохранении одинаковой энергетической ценностью.

Биохимический состав сыворотки крови гибридов осетровых рыб показан в таблице 3.10.

Таблица 3.10 – Биохимический состав крови гибридов осетровых рыб

Показатель	РоЛо		Бестер	
	I	II	III	IV
Общий белок, г/л	33,16±0,77	29,13±1,62	25,78±1,66	35,18±1,94*
Альбумины, г/л	11,38±0,53*	9,24±0,70	10,20±0,58	10,60±0,24
Глобулины, г/л	21,78±0,31	19,89±0,95	14,18±1,83	25,16±1,59*
Соотношение ALB/GLOB	0,52±0,02	0,46±0,02	0,78±0,12	0,42±0,08
АлТ, ед./л	126,84±3,06*	96,76±4,12	95,76±2,37	97,90±1,20
АсТ, ед./л	427,14±38,88	422,40±13,0	303,46±26,59	288,40±22,71
Коэффициент де Ритиса	3,35±0,24	4,41±0,30*	3,19±0,32	2,95±0,22
Щелочная фосфатаза, ед./л	25,96±15,64	26,94±15,67	22,48±1,39	21,12±2,52
Мочевина, ммоль/л	1,12±0,12*	0,77±0,03	2,76±0,09	2,68±0,06
Креатинин, мкмоль/л	21,30±6,22	8,25±0,37	33,72±4,46	30,76±2,13
Общий билирубин, мкмоль/л	0,10±0,07	0,20±0,06	0,17±0,06	0,18±0,04
Глюкоза, ммоль/л	3,01±0,15	3,41±0,31	2,39±0,60	2,24±0,50
Кальций, ммоль/л	2,76±0,09	2,78±0,03	1,90±0,15	1,87±0,13
Фосфор, ммоль/л	4,98±0,32	4,65±0,22	3,29±0,20	3,67±0,20

Примечание: * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$

Выбор биохимических показателей для физиологической оценки гидробионтов разных видов был обусловлен включением высокобелкового

компонента в рацион гибридных видов осетровых. Особое внимание заслуживают аминотрансферазы, которые играют ключевую роль в обмене веществ, объединяя в единое целое белковый, углеводный и жировой обмены, выступая при этом маркерами повреждения клеток, главным образом гепатоцитов.

Анализ данных, представленных в таблице 3.10 показал, что достоверные отличия были получены между гибридами II и IV группами по содержанию общего белка в сыворотке крови и составили 21 %. По количеству альбуминов, которые благодаря своему относительно малому размеру, в большей степени, чем глобулины, мигрируют из кровеносных сосудов и служат резервным источником аминокислот для органов и тканей различия не выявлены. Однако, в крови гибридов четвертой группы отмечен повышенный уровень глобулинов, что указывает на высокий иммунный ответ, снижение – связано, в первую очередь с возникновением иммунодефицитного состояния организма.

Уровень аминотрансфераз в сыворотке крови исследуемых гибридов всех групп был у зафиксирован у верхней границы физиологической нормы, что свидетельствует о целостности мембран гепатоцитов. Учитывая исключительную роль этих ферментов в обмене веществ клетки, их активность выступает в качестве биохимического индикатора физиологического статуса осетровых.

Исследования показали, что использование в кормлении осетровых рыб пастообразной комбикормовой смеси с частичной заменой рыбной муки биомассой червя *Eisenia fetida* благоприятно отразилось на интенсивности роста гибридных форм осетровых рыб.

Проведенный анализ показателей гематологического профиля осетровых не выявил статистически значимых патологических сдвигов. Фактически содержание гемоглобина у гибрида РоЛо находилось на нижней границе физиологической нормы (42-43 г/л при норме 50-80 г/л), что может быть связано с видовыми и возрастными особенностями, а также с условиями содержания в рециркуляционной аквакультурной системе, которые отличаются от прудовых. У бестера уровень гемоглобина и эритроцитов отмечался значительно выше, что свидетельствует о

лучшей кислородтранспортной функции крови у этого гибрида и его более высокой адаптации к замкнутому водоснабжению.

Более высокие показатели глобулинов в сыворотке крови бестера IV группы можно объяснить значительным содержанием биологически активных веществ, что указывает на активацию гуморального иммунитета.

Обращает на себя внимание, повышенный коэффициент де Ритиса (AST/ALT) у гибрида РоЛо на пастообразной смеси (4,41 против 3,35 в контроле). В норме у осетровых этот коэффициент обычно варьирует от 1,5 до 3,5; его увеличение может отражать усиление функциональной нагрузки на печень при повышенном белковом обмене или незначительные адаптивные изменения без признаков цитолиза. Учитывая, что активность АлТ и АсТ не превышала верхних границ референсных значений, то, предположительно, наблюдается метаболическая активация организма, а не развитие патологического состояния. Итак, предложенная кормосмесь обеспечивает не только более высокий рост, но и поддерживает физиологическое состояние рыб на уровне, соответствующем здоровым адаптированным особям.

Органолептическая оценка включает определение качества рыбы при помощи органов чувств – зрительных, вкусовых, обонятельных, осязательных, а иногда и слуховых. Разновидностью органолептического метода являются, в первую очередь, сенсорный и другие методы [169]. Полученные результаты свидетельствуют о наличии различий в степени выраженности отдельных сенсорных признаков исследуемых образцов, что отразилось на итоговой балльной оценке.

Органолептическая оценка отварного мяса осетровых по среднему баллу у бестера выращенного на пастообразной кормосмеси был выше на 0,06 балла, а также образцы имели привлекательный внешний вид, светлую окраску мышечной ткани, плотную и упругую консистенцию, выраженный специфический запах, характерный для осетровых рыб. Вкус мяса был типичным, достаточно насыщенным и гармоничным. Органолептическая оценка отварного мяса

осетровых рыб бестер и РоЛо, выращенных на комбикорме и пастообразной кормосмеси представлены в таблице 3.11.

Таблица 3.11 – Органолептическая оценка отварного мяса осетровых рыб бестер и РоЛо (баллы)

Показатель	Бестер		РоЛо	
	комбикорм	пастообразная кормосмесь	комбикорм	пастообразная кормосмесь
Внешний вид	4,8	4,9	4,9	4,9
Цвет	4,7	4,8	4,7	4,8
Запах	4,9	4,8	4,8	4,7
Вкус	4,7	4,7	4,8	4,9
Консистенция	4,7	4,8	4,7	4,8
Сочность	4,8	4,9	4,8	4,9
Средний балл	4,76	4,82	4,78	4,83

Образцы РоЛо в своей группе также характеризовались высокими органолептическими свойствами, по среднему баллу осетровые, выращенные на пастообразной кормосмеси, получили оценку на 0,05 балла выше, чем на комбикорме. Мясо РоЛо имело более приятный цвет, повышенную сочность и более мягким, гармоничным вкусом при сохранении типичного для осетровых рыб аромата. Оценка бульона осетровых рыб представлена в таблице 3.12

Таблица 3.12 – Органолептическая оценка бульона, полученного при варке осетровых рыб – бестер и РоЛо (баллы)

Показатель	Бестер, баллы		РоЛо, баллы	
	комбикорм	пастообразная кормосмесь	комбикорм	пастообразная кормосмесь
Прозрачность	4,8	4,8	4,8	4,9
Цвет	4,7	4,7	4,7	4,8
Аромат	4,8	4,8	4,8	4,9
Вкус	4,8	4,8	4,8	4,9
Наваристость	4,7	4,9	4,8	4,8
Общее впечатление	4,8	4,8	4,8	4,9
Средний балл	4,77	4,80	4,78	4,87

Из результатов дегустации рыбного бульона бестера, который отличался выраженной наваристостью и более высокой оценкой по среднему баллу – на 0,03 балла у образцов, выращенных на пастообразной кормосмеси. Бульон, полученный при варке РоЛо, характеризовался большей прозрачностью, цветом, ароматом, сбалансированным вкусом и общим органолептическим восприятием.

Для подведения итогов органолептической оценки рыбного филе и бульона был рассчитан средний балл, который представлен на рисунке 3.4.

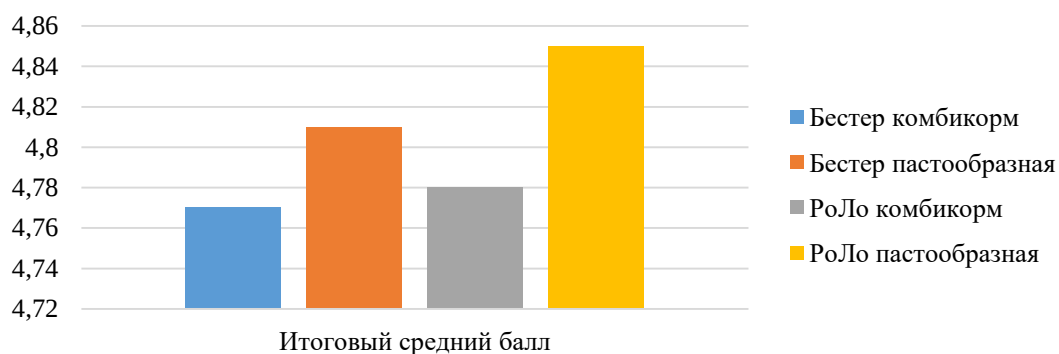


Рисунок 3.4 – Сравнительная органолептическая оценка образцов осетровых рыб

Проведенное исследования установило, что оба образца осетровых рыб характеризовались высокими органолептическими показателями и соответствовали требованиям, предъявляемым к качественной варёной рыбной продукции.

Итоговый средний балл для образцов бестера выращенного на пастообразной кормосмеси составил 4,81 и 4,77 балла на комбикорме, тогда как для образцов РоЛо – 4,85 и 4,78 балла соответственно.

Проведенная оценка качества мяса гибридов осетровых рыб, выращенных на разных кормах, показала, что использование в кормлении гидробионтов пастообразной кормосмеси приводят к улучшению его вкусовых качеств.

В результате 60-суточного экспериментального выращивания гибридов осетровых рыб (бестер и РоЛо) в рециркуляционной аквапонной системе установлено, что использование пастообразной кормосмеси с частичной заменой рыбной муки биомассой червя *Eisenia fetida* позволяет достоверно повысить

основные рыбоводно-биологические показатели: конечная масса рыб увеличилась на 4,4–4,8 %; абсолютный прирост массы – на 8,8–9,9 %; относительный прирост – на 8,6–9,0 %; среднесуточный прирост – на 8,7–9,9 % ($p < 0,01$).

Морфологический и биохимический анализ крови подтвердил, что опытные рационы не вызывают патологических сдвигов. Более высокое содержание гемоглобина и эритроцитов у бестера свидетельствует о лучшей кислородтранспортной функции крови у этого вида. Биохимические показатели крови (общий белок, глобулины, активность трансаминаз) находятся в пределах физиологических норм для осетровых, что подтверждает безопасность и эффективность включения вермикультуры в состав рациона. Необходимо отметить, что у гибридов, получавших пастообразную смесь, отмечена небольшая тенденция к повышению уровня глобулинов и общего белка (у бестера – достоверно), что может свидетельствовать о стимуляции иммунной системы. Индекс сдвига лейкоцитов находился в пределах 0,41–0,47, что характерно для здоровых рыб и указывает на отсутствие воспалительных процессов, а также высокую иммунологическую реактивность рыб.

Сравнительная оценка двух гибридных форм показала, что бестер имеет более высокие гематологические показатели (гемоглобин, эритроциты) и лучше адаптирован к условиям замкнутого водоснабжения при использовании пастообразной кормосмеси, однако оба гибрида положительно реагируют на включение вермикультуры в пищевой рацион.

Таким образом, можно сделать вывод, что пастообразная кормосмесь с высоким содержанием биомассы дождевого червя может быть рекомендована для оптимизации кормления гибридов осетровых в рециркуляционных аквакультурных системах с целью повышения продуктивности и снижения зависимости от импортной рыбной муки.

Эти данные открывают ряд направлений для дальнейшего продолжения работы. Вначале необходимо определить оптимальную долю замещения рыбной муки биомассой *Eisenia fetida* для каждого гибрида, а также изучить влияние различных способов подготовки вермикультуры (живая, замороженная, сушеная)

на продуктивные качества. В дальнейшем целесообразно провести более продолжительные испытания (до 6–12 месяцев) для оценки влияния новых рационов на репродуктивную функцию осетровых, качество половых продуктов и потомства. Кроме того, важно определить, как замена рыбной муки биомассой червей сказывается на химическом составе, вкусовых свойствах и технологических характеристиках мяса гибридов осетровых, т. е. изучить качество рыбной продукции.

Перспективным является изучение состава кишечной микрофлоры рыб при использовании вермикультуры, поскольку черви содержат естественные пробиотические микроорганизмы, способные улучшать пищеварение. Учитывая, что эксперимент проводился в системе с гидропонными модулями, следует оценить влияние разных рационов на продуктивность растений (салат, базилик и др.) и на качество оборотной воды (содержание аммония, нитритов, нитратов, фосфатов).

Ключевым этапом дальнейших исследований станет проведение расчета себестоимости пастообразной кормосмеси по сравнению с импортными комбикормами, и оценка экономической целесообразности ее промышленного внедрения в условиях малых и средних рыбоводных хозяйств.

Разработка технологий культивирования *Eisenia fetida* на органических отходах (пищевые отходы, навоз, солома) позволит создать замкнутый цикл кормопроизводства непосредственно на рыбоводных предприятиях, что соответствует принципам циркулярной экономики.

Учитывая вышеизложенное, необходимо подчеркнуть, что дальнейшие исследования целесообразно направить на совершенствование рецептуры, оценку долгосрочных эффектов и экономическое обоснование использования вермикультуры в кормлении осетровых рыб, выращиваемых в рециркуляционных аквакультурных системах.

3.3 Комплексная оценка пригодности осетровых рыб для производства продукции аквакультуры, выращенных в условиях УЗВ

3.3.1 Оценка состояния среды обитания гидробионтов при выращивании в установке замкнутого водоснабжения

Успешное разведение осетровых рыб в аквакультуре невозможно без постоянного контроля и создания оптимальных условий для их обитания. Качество воды имеет непосредственное влияние на здоровье, рост, продуктивность, а также на безопасность конечного продукта и его питательную ценность.

В таблице 3.13 представлены физико-химические характеристики воды, зафиксированные в ходе научного эксперимента в начале исследования, а также информация о технологических нормах.

Анализ физико-химического состава оборотной воды в УЗВ показал, что одним из важных экологических факторов является температура воды, величина которой, в первую очередь, зависит от вида рыб. Измерения были проведены во время отбора проб. Следует отметить, что оптимальной температурой для роста осетровых является 19-23°C [170]. Температура воды составила 20°C, соответствуя нормам для выращивания осетровых рыб в УЗВ.

Основным жизненно-важным фактором для рыб является содержание растворённого кислорода. Оптимальное содержание кислорода для выращивания осетровых составляет примерно 7-10 мг/дм³ при уровне насыщения около 73-81 %. Минимальное значение насыщения воды кислородом является 4 мг/дм³ [171]. По данным нашего исследования содержание кислорода в установке замкнутого водоснабжения соответствовало норме – 7,11 мг/дм³, при этом гибели гидробионтов зарегистрировано не было. Значение pH за период исследования было оптимальным – 7,15 усл. ед. что соответствовало норме 7,0-8,0 усл. ед.

Промежуточное звено в процессе превращения аммиака представляют нитриты. Количество нитритов в УЗВ составило 1,8 мг/дм³, что в 9 раз превышало технологическую норму.

Таблица 3.13 – Физико-химический состав воды в УЗВ

№ п/п	Показатель	Вода на входе	Воза из УЗВ	Технологические нормы
1	Температура, °С	20-23	20-23	18-24
2	Железо общее, мг/л	0,18	0,14	1
3	Аммонийный азот, мг/л	<0,10	0,44	2 - 4
4	Нитриты, мг/л	<0,003	1,8	до 0,1 – 0,2
5	Нитраты, мг/л	9,52	91,3	<90
6	Хлориды, мг/л	277	347	-
7	Сульфаты, мг/л	465	484	-
8	Кальций, мг/л		281	-
9	рН	7,3	7,15	6,8 – 7,2
10	Жесткость, ммоль/дм ³	17,6	19,40	
11	Взвешенные вещества, мг/л	5,0	11	до 30
12	Окисляемость, мг/л		9,8	-
13	Углекислота, мг/л		22	25
14	Сероводород, мг/л		0,334	-
15	Мышьяк, мг/л		<0,005	-
16	Фосфаты, мг/л	<0,005	10,966	-
17	Марганец, мг/л	0,041	0,086	-
18	Цинк, мг/л		<0,005	-
19	Кадмий, мг/л	<0,001	<0,001	-
20	Никель, мг/л	<0,010	0,203	-
21	Свинец, мг/л	<0,020	<0,020	-
22	Медь, мг/л		<0,002	-
23	Кислород, мг/л	10,38	7,11	4
24	ХПК, мг/л	<5	30,96	-
25	БПК ₅ , мг/л	<3	6,50	-

Увеличение их объема может происходить в момент активации биофильтра и в случае перегрузки системы. Некоторые виды водных обитателей могут

переносить наличие нитритов до отметки в 1-2 мг/дм³, хотя только на кратковременный период, что приводит к замедлению роста рыбы. Отрицательный эффект нитритов увеличивается при низких величинах рН. Нитраты не оказывают заметного негативного влияния на рыбу, но при высокой концентрации (более 170 мг/дм³) могут вызвать нежелательное снижение рН, что замедлит процессы нитрификации [172]. Чтобы снизить количество нитратов, можно увеличить подпитку системы свежей водой. Уровень концентрации аммония в количестве до 10 мг/дм³ не оказывает значительного влияния на состояние рыб, но свободный аммиак уже считается токсичным соединением. С целью предотвращения интоксикаций, его концентрация в воде не должна превышать 0,05 мг/дм³, что соответствует норме.

Уровень жесткости воды играет важную роль, так как влияет на щелочной баланс и предотвращает процессы окисления в воде и образование осадка. Кроме того, жесткость воды оказывает косвенное воздействие на рыб и прочие водные организмы, уменьшая их подверженность токсинам. По нашим данным показатель жесткости составил 19,4 ммоль/дм³. В некоторых случаях, жесткая вода является более предпочтительной, благодаря своей высокой буферной емкости, более стабильному уровню рН, а также снижению токсичности различных солей, включая соли щелочей, щелочноземельные металлы и тяжелые металлы.

Повышенное содержание углекислого газа оказывает негативное воздействие на питание и рост гидробионтов, приводя к снижению выживаемости и темпов роста. В УЗВ основным источником углекислого газа является бактериальное окисление органических веществ и дыхание организмов. Для осетровых критическая концентрация углекислого газа взрослой особи около 80 мг/дм³. Полученные нами данные не превышали допустимую норму и составили 22 мг/дм³. Оптимальная окисляемость, то есть количество кислорода, необходимого для окисления органических веществ в воде, обычно не превышает 8-10 мг/дм³. В УЗВ показатель окисляемости не превышал нормы и соответствовал 9,8 мг/дм³. В таких условиях устанавливается определенное равновесие в

использовании кислорода, и его достаточно, как для окисления органических веществ, так и для дыхания водных животных, в первую очередь рыб.

Хлориды и сульфаты не проявляют выраженного отрицательного воздействия на рыб, предельно допустимая концентрация этих соединений в воде должна не превышать 150 и 200 мг/дм³, что ниже установленных значений в 2,3 и 2,4 раза. Превышение этой концентрации ухудшает зоогигиенические условия в водоеме, снижает у рыб резистентность, как к неблагоприятным условиям среды, так и к возбудителям различных заболеваний. Такие показатели в воде как цинк, кадмий, марганец, мышьяк, были незначительными и соответствовали нормам.

Анализ литературных данных, и характеристика водной среды, полученная на основе физико-химических показателей воды из УЗВ, дают нам основание утверждать, что по большинству из них она соответствовала установленным стандартам, а разработка методов повышения эффективности процессов биологической очистки оборотной воды в установках замкнутого водоснабжения, является актуальной и заслуживает дальнейшего глубокого изучения.

3.3.2 Характеристика корреляционной связи между гидрохимическими показателями и качественными показателями мяса рыбы

Проведенный корреляционный анализ позволил определить наличие сильных как положительных, так и отрицательных связей между гидрохимическими и показателями, определяющими качество мяса рыбы, которые представлены в таблице 3.14.

Анализ данных, приведенных в таблице 3.14 показал, что между «массовой долей белковых веществ» в мясе бестера – очень высокая положительная связь установлена между нитритами и ХПК-5; высокая связь – хлоридами, сульфатами, кальцием; заметная – аммонием, нитратами, жесткостью воды и содержанием фосфатов. Между «массовой долей белка» в мясе стерляди – установлена только заметная связь и нитритами, и ХПК.

Таблица 3.14 – Динамика коэффициента корреляции между изучаемыми показателями

Показатель	Коэффициент корреляции	
	стерлядь	бестер
Массовая доля воды – нитриты	+0,950	+0,970
Массовая доля воды – жесткость	+0,660	+0,540
Массовая доля воды – сульфаты	+0,860	+0,780
Массовая доля воды – хлориды	+0,870	+0,810
Массовая доля воды – фосфаты	+0,740	+0,640
Массовая доля воды – БПК ₅	+0,610	+0,480
Массовая доля воды – ХПК	+0,970	+0,940
Массовая доля воды – кальций	+0,791	+0,486
Массовая доля воды – аммоний	+0,830	+0,810
Массовая доля воды – свободная углекислота	+0,560	+0,437
Массовая доля воды – железо общее	+0,514	+0,370
Массовая доля воды – нитраты	+0,439	+0,582
Массовая доля воды – кислород	+0,670	+0,562
Массовая доля жира – кислород	+0,810	+0,670
Массовая доля жира – фосфаты	+0,750	+0,740
Массовая доля жира – окисляемость	-0,850	-0,660
Массовая доля жира – железо общее	+0,760	+0,500
Массовая доля жира – кальций	+0,530	+0,790
Массовая доля жира – хлориды	+0,270	+0,870
Массовая доля жира – сульфаты	+0,349	+0,855
Массовая доля жира – жесткость	+0,670	+0,650
Массовая доля жира – нитриты	+0,140	+0,960
Массовая доля жира – БПК ₅	+0,720	+0,600
Массовая доля жира – аммоний	+0,600	+0,809
Массовая доля жира – ХПК	+0,231	+0,975

Продолжение таблицы 3.14

Показатель	стерлядь	бестер
Массовая доля жира – нитраты	+0,660	+0,690
Массовая доля жира – свободная углекислота	+0,640	+0,560
Массовая доля белковых веществ – кальций	+0,160	+0,700
Массовая доля белковых веществ – сульфаты	+0,420	+0,800
Массовая доля белковых веществ – хлориды	+0,420	+0,840
Массовая доля белковых веществ – ХПК	+0,540	+0,950
Массовая доля белковых веществ – аммоний	+0,210	+0,650
Массовая доля белковых веществ – нитриты	+0,630	+0,950
Массовая доля белковых веществ – жесткость	-0,030	+0,510
Массовая доля белковых веществ – фосфаты	-0,030	+0,581
Массовая доля белковых веществ – нитраты	-0,010	+0,560

Следует отметить, что большее количество положительных связей (в 4,5 раза), как очень высоких, высоких и заметных установлено по химическому составу мяса бестера, в сравнении с таковыми, полученными при химическом анализе мяса стерляди рисунки Б.8, Б.9.

По содержанию в мясе бестера массовой доли воды – очень высокая положительная связь установлена между нитритами и ХПК; высокая связь – аммонием, хлоридами, сульфатами; заметная – нитратами, жесткостью воды, фосфатами и содержанием кислорода. По содержанию массовой доли воды в мясе стерляди – очень высокая связь с нитритами, и ХПК; высокая – аммонием, хлоридами, сульфатами, кальцием и фосфатами; заметная связь установлена с содержанием железа общего, и жесткостью воды, свободной углекислотой, содержанием кислорода, БПК₅. Таким образом, большее количество положительных связей (в 1,2 раза), как очень высоких, высоких и заметных установлено по содержанию воды в мясе стерляди, в сравнении с таковыми, полученными при химическом анализе мяса бестера рисунки Б.10 – Б.15.

Между содержанием в мясе бестера «массовой доли жира» – очень высокая положительная связь установлена между нитритами и ХПК; высокая связь – аммонием, хлоридами, сульфатами, кальцием и фосфатами; заметная – железом общим, свободной углекислотой, жесткостью воды, содержанием кислорода, нитратами и БПК₅. Заметная отрицательная связь установлена между содержанием в мясе массовой доли жира с окисляемостью воды. Между содержанием в мясе стерляди «массовой доли жира» – высокая положительная связь установлена между железом общим, фосфатами, кислородом и БПК₅; заметная – жесткостью воды и аммонием, кальцием, нитратами, свободной углекислотой. Высокая отрицательная связь установлена только с окисляемостью воды рисунки Б.16 – Б.20.

Динамика, установленных корреляционных связей (I этап) у представителей бестера, представлена на рисунке 3.5.

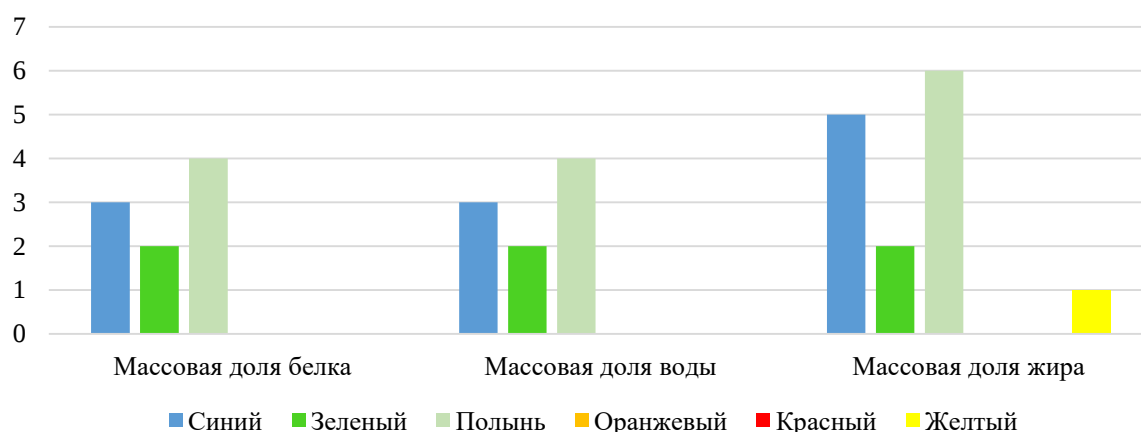
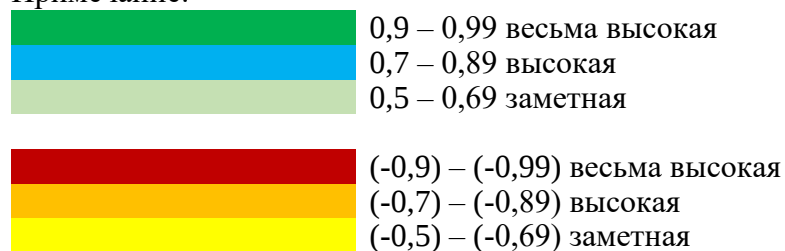


Рисунок 3.5 – Динамика установленных корреляционных связей у представителей бестера (I этап)

Примечание:



Анализ данных, приведенных на рисунке 3.5 показал, что у представителей бестера было установлено 11 сильных положительных связей, 6 очень сильных и

14 связей умеренной силы, а также 1 отрицательная умеренной силы. Всего было установлено 32 значимые корреляционные связи.

Динамика установленных корреляционных связей (I этап) у представителей стерляди показана на рисунке 3.6.

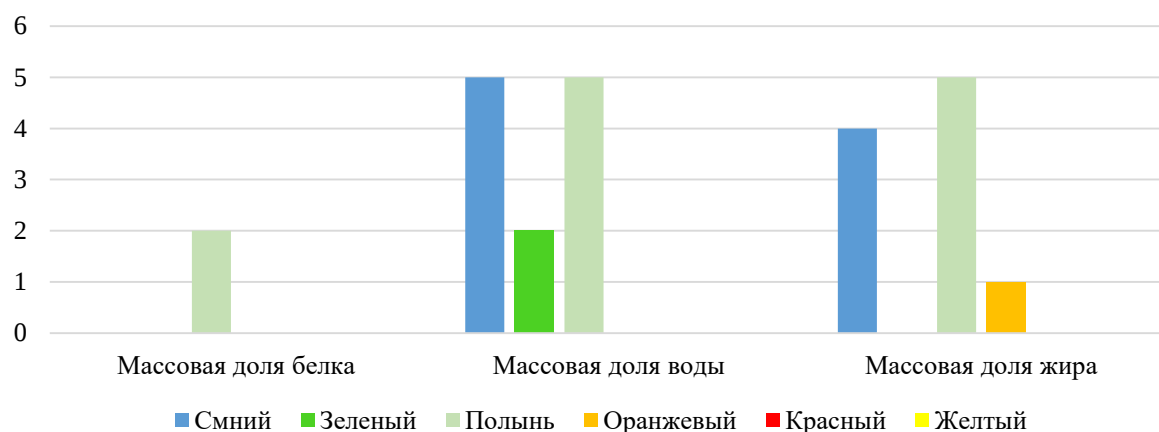


Рисунок 3.6 – Динамика установленных корреляционных связей у представителей стерляди

Анализ данных, приведенных на рисунке 3.6 показал, что у представителей стерляди было установлено 9 сильных положительных связей, 2 очень сильных и 12 – умеренной силы, а также сильная отрицательная корреляционная связь была установлена по одной паре. Всего было установлено 24 значимая корреляционная связь. Можно отметить, что при выращивании бестера в установке замкнутого водоснабжения образуются корреляционные связи большей силы и их количество на 33% больше в сравнении с таковыми при выращивании стерляди, что указывает на большую пластичность и адаптивные качества гибрида в сравнении со стерлядью рисунки Б.21 – Б.25.

У представителей стерляди, которые были выращены в условиях УЗВ было установлено положительных – 9 сильных связей, 2 – очень сильных, 12 – умеренной силы; отрицательных: 1 – сильной связи. Всего – 24 связи сильной, очень сильной и умеренной силы.

3.3.3 Комплексная оценка продуктивных качеств осетровых рыб на основе изучения зоотехнических и биолого-технологических показателей

Рыбоводные показатели осетровых в современной аквакультуре служат системой для описания роста, выживаемости, воспроизводства, технологической эффективности и благополучия рыбы, что позволяет управлять стадиями жизненного цикла от инкубации до получения товарной продукции и икры. К рыбоводным показателям относят прежде всего интенсивность роста, конверсию корма, выживаемость, коэффициент упитанности, вариабельность размеров, продуктивность по биомассе на единицу объема или площади, допустимые плотности посадки и продолжительность технологического цикла до товарной массы.

На уровне производственной системы к рыбоводным показателям относят также плотность посадки и выживаемость партий; в современных УЗВ допустимы высокие плотности, при условии стабильно высокого содержания кислорода, эффективной нитрификации и управления углекислотой, что отражается в показателях продуктивности по биомассе и расходах воды/энергии на кг продукции. В таблице 3.15 представлены результаты, полученные в ходе эксперимента.

Таблица 3.15 – Рыбоводные показатели стерляди и ее гибрида – бестера, n=30

Параметры	стерлядь	бестер
Масса начальная, г	219,0±10,56	271,0±10,59
Масса конечная, г	309,0±15,86	538,5±18,88
Среднесуточный прирост, г	1,5±0,06	4,46±0,05
Абсолютный прирост, г	90,0±1,46	267,5±1,06
Относительная скорость роста, %	34,1	66,1
Коэффициент массонакопления, ед.	0,04	0,08
Выживаемость, %	100	100
Продолжительность эксперимента, суток	60	60

Из анализа таблицы 3.15 видно, что абсолютный и среднесуточный прирост бестера в 2,97 раза превышал данный показатель у стерляди. Коэффициент массонакопления был выше в 2 раза у бестера, соответственно. Данные результаты, напрямую связаны с генетикой бестера. Морфометрические и морфофизиологические показатели осетровых рыб, выращенных в условиях замкнутого водоснабжения приведены в таблице 3.16.

Таблица 3.16 – Морфометрические показатели стерляди и бестера, $M \pm m$, см, $n=30$

Показатель	стерлядь	бестер
Длина всей рыбы (ab)	37,90 $\pm$ 1,17	41,67 $\pm$ 1,93
Длина до корней средних лучей С (ad)	32,00 $\pm$ 1,16	34,87 $\pm$ 1,72
Длина туловища (od)	23,77 $\pm$ 1,03	24,87 $\pm$ 1,25
Длина головы (ao)	7,57 $\pm$ 0,20	8,20 $\pm$ 0,12*
Наибольшая высота тела (qh)	3,68 $\pm$ 0,36	5,41 $\pm$ 0,74*
Наибольший обхват тела	11,37 $\pm$ 1,16	12,40 $\pm$ 0,31
Расстояние от конца рыла до средних усиков	2,20 $\pm$ 0,15	2,07 $\pm$ 0,09
Наименьшая высота тела (ik)	1,03 $\pm$ 0,03	1,15 $\pm$ 0,09
Ширина лба	2,14 $\pm$ 0,09	2,32 $\pm$ 0,04
Длина хвостового стебля (fd)	4,63 $\pm$ 0,33	4,77 $\pm$ 0,17

Примечание: * $p < 0,05$.

Анализируя данные, приведенные в таблице 3.16, можно отметить, что по всем показателям, кроме «расстояния от конца рыла до средних усиков» отмечается тенденция к увеличению у особей бестера в сравнении с представителями стерляди. Так, по показателю длина всей рыбы составило 10 %, а по таким показателям как длинна головы, наибольшая высота тела, наибольший обхват тела на 8 %, 47 % и 9 % соответственно.

Полученные результаты подтверждают, что стерлядь – малорослый вид в семействе осетровых, её максимальная длина от 70 до 90 см, а масса достигает 4 кг [173]. Индексы тела осетровых показаны на рисунке 3.7.

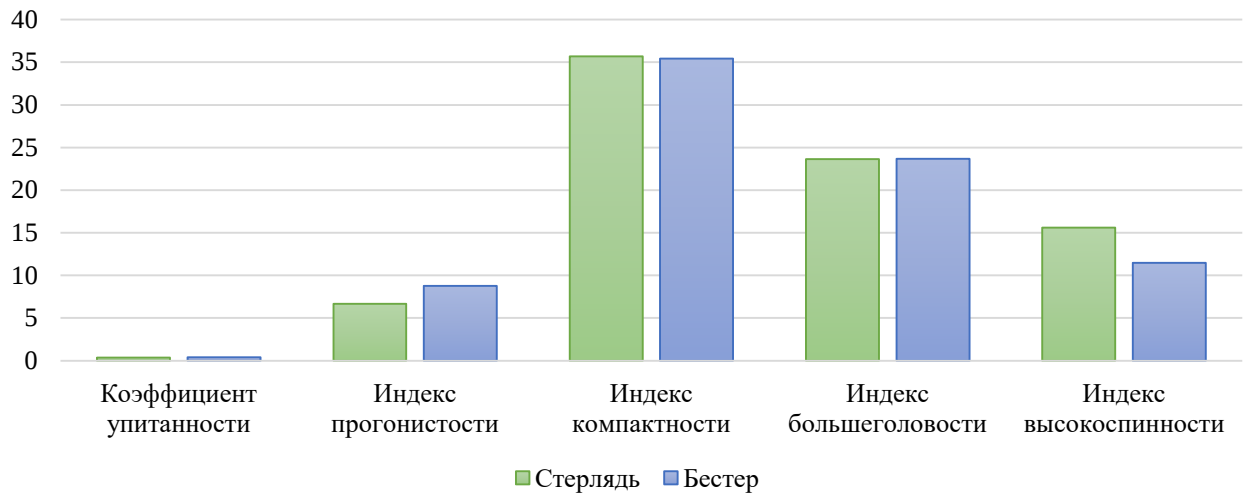


Рисунок 3.7 – Индексы тела осетровых

Незначительные различия установлены по коэффициенту упитанности 0,3 %. Индекс прогонистости стерляди ($6,67 \pm 0,90$) меньше на 2,11 % чем у бестера ($8,78 \pm 0,56$). По индексам компактности и высокоспинности стерлядь лидирует на 0,23 % и 4,16 % соответственно.

Следующим этапом исследования были весовые показатели внутренних органов (рисунки 3.8 и 3.9), а также расчет относительной массы (индексов) внутренних органов.



Рисунок 3.8 – Бестер – печень



Рисунок 3.9 – Стерлядь – селезенка

Для подсчета использовали данные по абсолютной массе тела рыбы и органов из представленной таблицы 3.17.

Таблица 3.17 – Масса внутренних органов стерляди и бестера, $M \pm m$, г, $n=10$

Органы	Стерлядь	Бестер
Масса (с органами)	219,33±34,72	271,33±34,92
Масса (без органов)	192,00±31,64	234,00±30,35
Жабры	6,18±0,51	7,65±0,27*
Семенники	1,44±0,36	2,03±0,89
Печень	2,74±0,41	5,41±0,72*
Селезенка	1,13±0,62	0,49±0,11
Плавательный пузырь	1,32±0,10	2,94±0,42*
Сердце	0,28±0,04	0,43±0,09
Остальные	14,24±0,16	18,38±0,21*

Примечание: * $p < 0,05$.

Анализ данных, приведенных в таблице 3.17 показал, что по массе таких органов как печень, селезенка и плавательный пузырь отмечены наибольшие различия – 97 %, 130 % и 123 % соответственно. При этом только масса селезенки была большей у стерляди в сравнении с таковым показателем у бестера.

Следует отметить, что метод морфофизиологических индикаторов позволяет дать точное представление о функционировании организма, его приспособленности к конкретным условиям существования. Индексы внутренних органов представлены на рисунке 3.10.

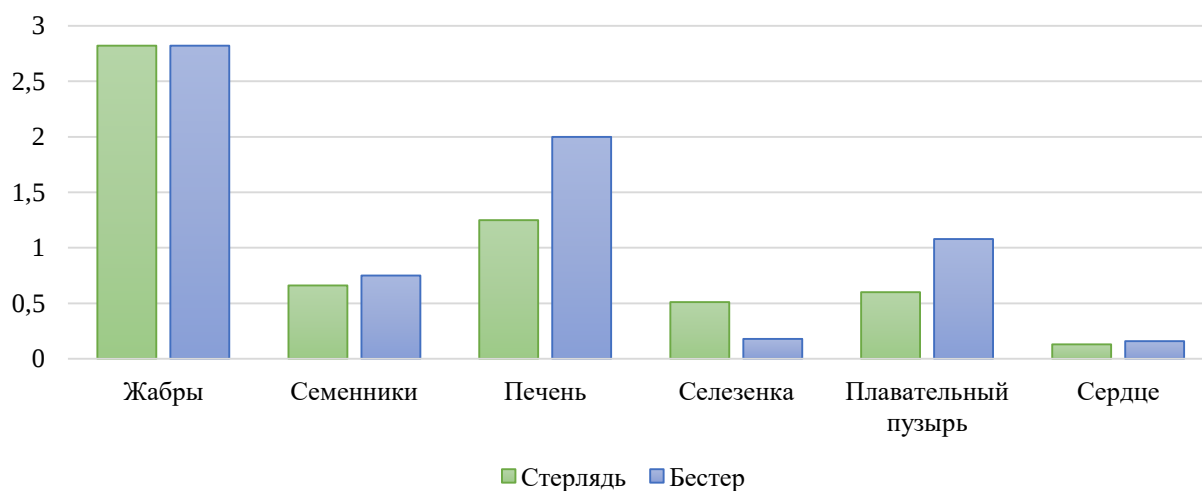


Рисунок 3.10 – Индексы внутренних органов

По данным массы и индексов внутренних органов прослеживается взаимосвязь между массой рыбы и органами. С увеличением массы рыбы увеличиваются и размеры органов.

Такие индексы как кардиосоматический, гепатосоматический, гонадосоматический и индекс селезенки, по мнению ученых, в большей степени отражают экологические особенности жизнедеятельности рыб и в меньшей степени их уровень организации.

Таким образом, при изучении морфологических показателей, характеризующих состояние стерляди (*Acipenser ruthenus*) и бестера (*Huso huso* x *Acipenser ruthenus*) была отмечена их неоднородность. Бестер незначительно превосходит стерлядь по основным пластическим признакам, таким как масса, общая и промысловая длина, длина головы, обхват тела и высота тела, а также по индексам прогонистости, большеголовости и коэффициенту упитанности, также по весовым показателям и индексам внутренних органов. Стерлядь в свою очередь имеет выше индексы компактности и высокоспинности.

В результате исследования выявлены различия по морфологическим показателям, которые следует рассматривать как видовые специфические отличия стерляди и бестера.

По органолептическим показателям осетровые рыбы, выращиваемые в УЗВ, соответствовали нормам ГОСТ 7631-2008. Внешний вид рыбы был безупречен: она обладает чистой поверхностью и естественным окрасом, покрытым тонким слоем слизи. Отсутствовали какие-либо внешние признаки заболеваний. Аромат рыбы идентичен запаху живого осетрового, без присутствия посторонних запахов. Глаза прозрачные, светлые, без повреждений. Важным критерием является цвет жабр – они были красными и без механических повреждений.

Выращиваемые осетровые проявляли признаки жизнедеятельности с естественными движениями тела. Органолептические показатели осетровых в полной мере соответствовали требованиям ГОСТ 7631-2008.

Для более полной оценки качества мяса осетровых был выполнен физико-химический анализ на наличие белковых веществ, жира, воды, кальция и фосфора,

которые выращивались в УЗВ с нормой кормления 3 % от общей массы рыбы 2 раза в день.

Белки, содержащиеся в мясе рыб, обладают рядом уникальных свойств. Они содержат все незаменимые аминокислоты в пропорциях, которые идеально подходят для организма человека и играют ключевую роль в поддержании его здоровья.

Небелковые соединения, такие как экстрактивные вещества, играют важную роль в формировании вкуса и аромата рыбы. Однако, при неправильном хранении, эти вещества могут быть подвержены нежелательным изменениям, что может негативно сказаться на вкусе и качестве рыбы. Поэтому очень важно соблюдать правила хранения рыбы, чтобы сохранить ее свежесть и вкус. Уровень белка в мясе рыбы может колебаться от 15 % до 20 %, что делает его ценным источником. Стерлядь и бестер имели следующие показатели – 15,26 % и 15 %, соответственно. Образец мяса бестера незначительно отличался по количеству белка – на 0,26 %, и на 3,83 % было меньше жира с показателями 12,27 % и 16,1 %, что обусловлено различиями в видах рыб и их индивидуальными физиологическими особенностями. Данные физико-химического состава мяса осетровых представлены в таблице 3.18.

Таблица 3.18 – Физико-химический состав мяса исследуемых осетровых, %

Показатель	Стерлядь	Бестер
Массовая доля белковых веществ	15,26±0,5	15,00±0,5
Массовая доля кальция	0,14±0,2	0,14±0,2
Массовая доля фосфора	0,10±0,2	0,10±0,2
Массовая доля воды	72,50±0,5	69,3±0,5
Массовая доля жира	12,27±0,5	16,1±0,5

Содержание воды в мясе стерляди было 72,5 % и на 3,2 % выше, чем в мясе бестера с показателем 69,3 %, что может сказываться на структуре, консистенции

и конечном выходе продукции после прохождения всех этапов технологической обработки. Погрешность испытаний для этих параметров составила 0,5 %.

Содержание минеральных веществ в теле рыбы не превышало 3 %, включая такие элементы как фосфор, кальций и др. Массовая доля кальция и фосфора была идентичная для осетровых с показателями 0,14 % и 0,1 %, соответственно с погрешностью испытаний 0,2 %.

Рассчитанные нами коэффициенты: белково-водный, обводнения, липидно-белковый мяса осетровых представлены на рисунке 3.11.

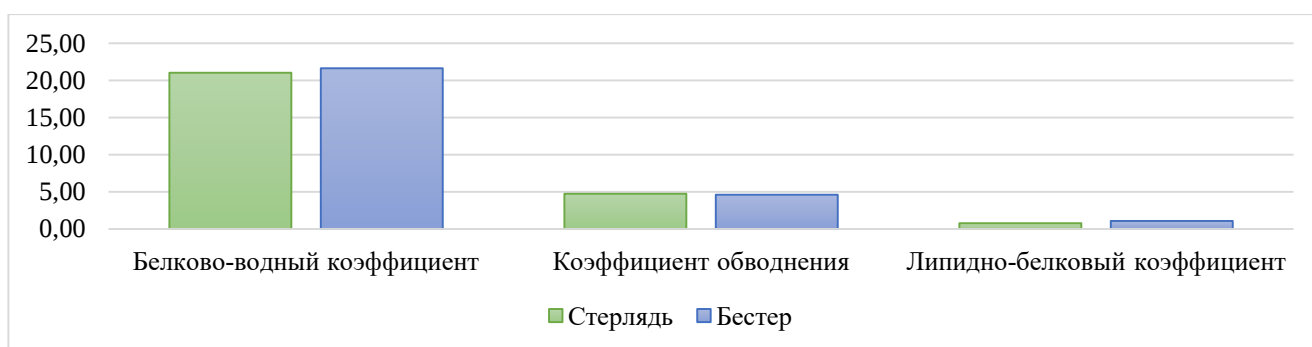


Рисунок 3.11 – Коэффициенты мяса осетровых рыб

Показатели белково-водного коэффициента составили 21,04 % у стерляди и 21,64 % у бестера, что характеризовало мясо стерляди как более плотное и суховатое. Коэффициент-обводнения в мясе стерляди был незначительно больше – на 0,13 % чем у бестера и свидетельствует о несущественно большем содержании воды и меньшем белка. Показатель липидно-белкового коэффициента бестера больше на 0,27% чем у стерляди и возможно говорит о более нежной консистенции мышечной ткани.

Результаты исследования показали, что органолептические и физико-химические показатели мяса осетровых соответствовали нормам, что дает возможность использовать рыбу, выращенную в установке замкнутого водоснабжения для производства пищевой продукции, которая является безопасной для употребления в пищу.

Общее количество крови у рыб варьирует от 1,1 до 7,3 %. Она имеет ярко-красный цвет, специфический запах рыбьего жира, маслянистую консистенцию,

солоноватый вкус. Основная функция крови – транспортная, которая включает доставку кислорода, питательных веществ и отработанных шлаков, а также гормонов. Кровь рыб делится на циркулирующую, протекающую по сосудам, и депонируемую, исключенную из кругооборота.

Морфологические показатели крови рыбы, семейства осетровых (стерлядь, бестер) представлены в таблице 3.19.

Таблица 3.19 – Морфологические показатели крови рыбы семейства осетровых

Вид	Гемоглобин, г/л	Эритроциты, $10^{12}/л$	Лейкоциты, $10^9/л$	Гематокрит, %
Стерлядь	$58,67 \pm 9,43$	$0,36 \pm 0,02^*$	$55,53 \pm 6,86$	$3,5 \pm 0,67$
Бестер	$39,33 \pm 2,69$	$0,26 \pm 0,08$	$76,83 \pm 10,80$	$4,8 \pm 0,55$

Примечание: * $p < 0,05$

Анализ данных, приведенных в таблице 3.19 показал, что достоверные различия установлены только по количеству эритроцитов. Так у стерляди их было на 39 % больше в сравнении с бестером. Как отмечает Е.В. Сухаренко, у разных видов рыб имеются сильно выраженные различия в морфологии клеток крови и содержится много молодых форм клеток. У взрослых рыб форма эритроцитов эллиптическая, у молоди – округлая и присутствует полиморфизм рисунок 3.12.

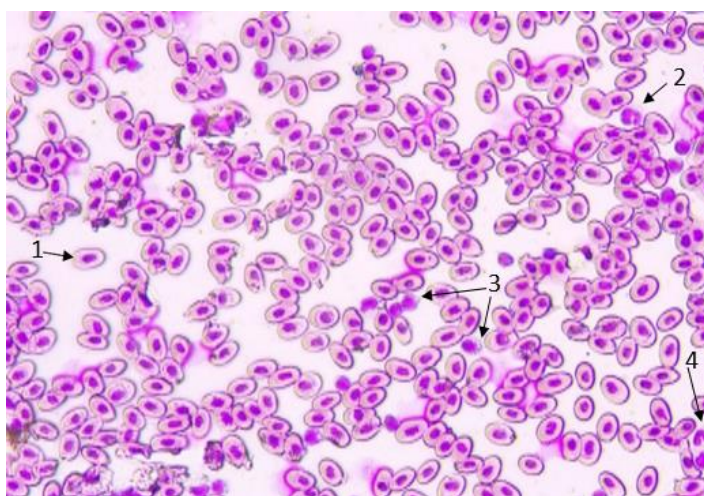


Рисунок 3.12 – Кровь осетровых рыб: Окрас: азур II – эозин. Увеличение $\times 100$

1 – эритроциты, 2, 4 – гранулярный лейкоцит (нейтрофил),
3 – агранулярный лейкоцит (лимфоцит)

Лейкоциты крови рыб представляют собой группу клеток с большим разнообразием линейных размеров и различной структурой ядра. Лимфоциты являются самой большой группой лейкоцитов рыб (до 95%) и обеспечивают реакции гуморального и клеточного иммунитета. Также наблюдается большое морфологическое разнообразие и высокая изменчивость тромбоцитов.

Одной из особенностей крови рыб является то, что лейкоцитарная формула у них в зависимости от физиологического состояния может меняться, поэтому не всегда в крови обнаруживаются все свойственные данному виду гранулоциты.

Лейкоцитарная формула крови рыбы семейства осетровых показана в таблице 3.20.

Таблица 3.20 – Лейкоцитарная формула крови рыбы семейства осетровых, %

Вид	Нейтрофилы	Эозинофилы	Моноциты	Лимфоциты	Тромбоциты
Стерлядь	29,27±4,97	2,23±0,05*	7,60±0,72	60,9±5,41	121,33±21,4
Бестер	21,83± 4,21	0,63± 0,05	8,60±0,38	68,93±4,61	116,0 ±6,02

Примечание: * $p < 0,05$

Анализ данных, приведенных в таблице 3.20 показал, что достоверных отличий по количеству в крови осетровых лейкоцитов не установлено, кроме эозинофилов. Представители самой малочисленной их группы — базофилы, в мазке крови не определялись. Из всех лейкоцитов самыми многочисленными были лимфоциты, что свидетельствует о лимфоцитарном профиле крови у осетровых. По количеству тромбоцитов разница составила 5,33 %.

Эритроцитарные индексы, такие как средний объем эритроцита (MCV), средняя концентрация гемоглобина в эритроците (MCHC), предложенные в 1929 году М. Wintrobe и которые качественно характеризуют клетки, а не их количество, показаны на рисунке 3.13.

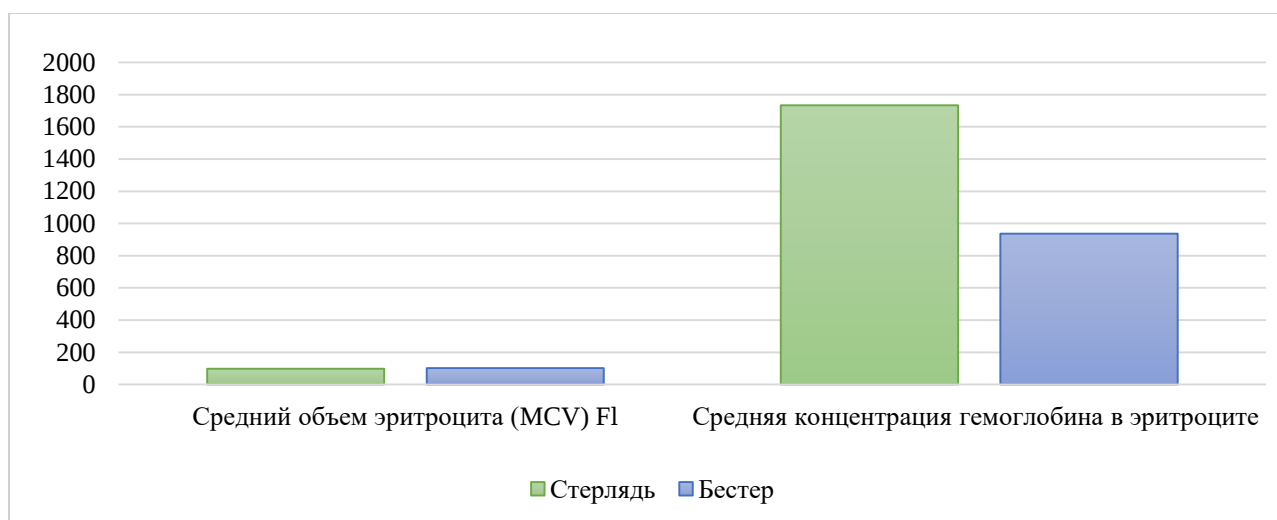


Рисунок 3.13 – Эритроцитарные индексы рыбы семейства осетровых

Следует отметить, что достоверных отличий по такому показателю как средний объем эритроцита у представителей осетровых не установлено. При этом средняя концентрация гемоглобина в одном эритроците была большей у стерляди почти в 2 раза. Снижение данного показателя у бестера, возможно указывает на ответную реакцию рыбы на низкие гидрохимические показатели воды в установке замкнутого водоснабжения. Индекс Кребса отражает дисбаланс между различными звеньями иммунитета. У представителей стерляди (0,5) данный показатель был в 1,5 раза выше в сравнении со сверстниками бестера (0,3). Морфологические показатели крови у стерляди и бестера были в пределах физиологической нормы, что согласуется с литературными данными [174, 175]. Биохимический анализ крови осетровых представлен в таблице 3.21.

Анализ данных, приведенных в таблице 3.21 показал, что большинство показателей были в границах физиологической нормы. При этом достоверные различия регистрировались по содержанию альбуминов и следует отметить, что их количество было небольшим, в сравнении с литературными данными Коэффициент де Ритиса был также у нижней границы нормы [174, 175].

Морфологические и биохимические показатели у представителей осетровых находились в границах референтных значений, что указывает на хорошие адаптационные способности рыбы, выращенной в условиях аквакультуры.

Таблица 3.21 – Биохимический анализ крови рыб семейства осетровых

№	Показатель	Стерлядь	Бестер
1	Общий белок, г/л	25,73±1,45	22,7±1,84
2	Альбумин, г/л	11±0,45	8,67±0,26*
3	Глобулин, г/л	14,73±1,9	14,03±1,78
4	A/G	0,77±0,14	0,60±0,08
5	АЛТ, U/l	97,2±1,83	94,8±2,97
6	АСТ, U/l	268,8±20,68	326,57±28,28
7	Мочевина, Ммоль/л	2,9±0,08	2,63±0,03*
8	Креатинин, Мкмоль/л	32,6±2,47	37,95±7,62
9	Глюкоза, Ммоль/л	3,37±1,01	2,45±0,62
10	Кальций, Ммоль/л	1,64±0,05	2,1±0,11
11	Фосфор, Ммоль/л	3,44±0,33	3,39±0,13

Примечание: * $p < 0,05$

Следует отметить, что у представителей стерляди количество эритроцитов, средняя концентрация гемоглобина в одном эритроците были более высокими в сравнении с бестером, что на наш взгляд свидетельствует о разной адаптивной способности рыбы к условиям содержания в воде с низким насыщением кислорода. У молодых особей осетра селезёнка расположена в изгибах кишечника перед спиральным клапаном. Она покрыта соединительнотканной капсулой, толщина которой составляет примерно 5-6 микрометров. В некоторых местах капсула плавно переходит в соединительнотканый слой серозной оболочки. По нашим данным, толщина капсулы селезенки у стерляди составила $5,65 \pm 0,22$ мкм, у бестера $5,91 \pm 0,21$ мкм, соответственно, достоверных различий у разных видов рыб не установлено. От капсулы внутрь селезёнки отходят перегородки – трабекулы из рыхлой волокнистой неоформленной соединительной ткани и содержащие гладкие миоциты. Паренхима органа представлена красной и белой пульпой, которые различаются составом гемопоэтической ткани. Капилляры, заполненные клетками крови, пронизывают паренхиму селезёнки (рисунки 3.14 и 3.15).

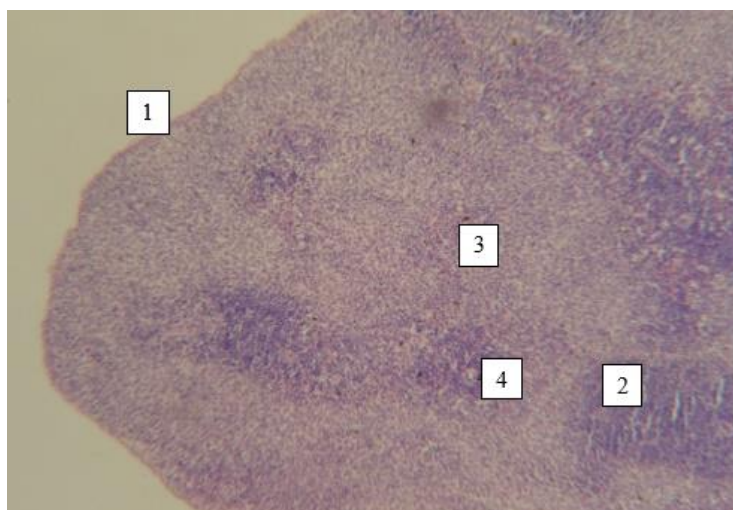


Рисунок 3.14 – Селезенка бестера. Окрас: гематоксилин-эозин. Увеличение $\times 100$.

1 – капсула, 2 – белая пульпа, 3 – красная пульпа, 4 – артерия

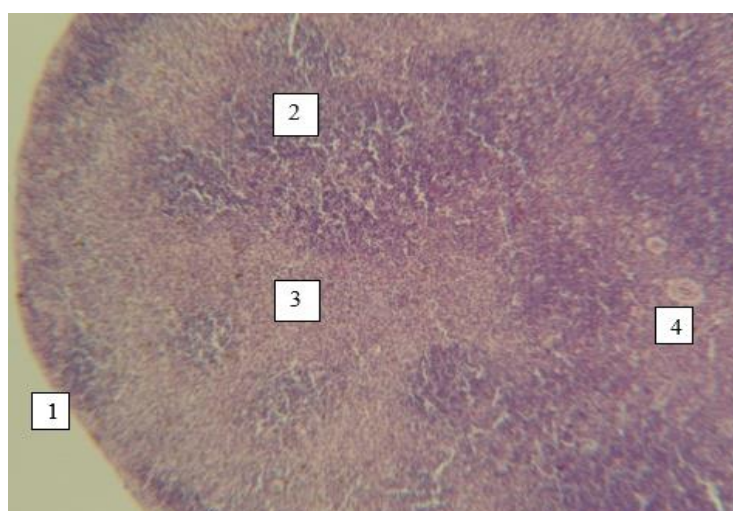


Рисунок 3.15 – Селезенка стерляди. Окрас: гематоксилин-эозин. Увеличение $\times 100$.

1 – капсула, 2 – белая пульпа, 3 – красная пульпа, 4 – артерия

В белой пульпе видны скопления лимфоидной ткани, которые формируют лимфатические узелки селезенки. В периферической зоне белой пульпы находится наибольшее количество стромальных ретикулярных клеток. Хорошо просматриваются центральные артерии лимфатических узелков.

По данным ученых красная пульпа занимает около 45 % объёма селезёнки и состоит из ретикулярной ткани, в которой свободно располагаются клеточные элементы крови и макрофаги, распределенные хаотично по всему ее объёму.

При изучении гистологических препаратов было посчитано количество лимфатических узелков на площади всего среза селезенки. Среднее количество лимфатических узелков у стерляди составило $14,94 \pm 0,85$ и $17,21 \pm 0,75$ у бестера, что выявило достоверное различие между группами по данному морфометрическому показателю.

Для определения пропускной способности центральной артерии лимфоидных узелков селезенки были определены ее морфометрические параметры, представленные в таблице 3.22.

Таблица 3.22 – Морфометрические параметры центральной артерии лимфатического узелка селезенки осетровых, $M \pm m$, $n=10$

Показатель	Стерлядь	Бестер
Толщина стенки, мкм		
Внутренний диаметр, мкм		

Примечание: $p < 0,05$

Анализируя данные, показанные в таблице 3.22, можно отметить, что достоверных различий в строении центральной артерии у представителей осетровых не установлено.

Индекс Керногана (рисунок 3.16) у стерляди на 15 % был выше, чем у бестера, что указывает на высокую пропускную способность микроциркуляторного русла у первых.

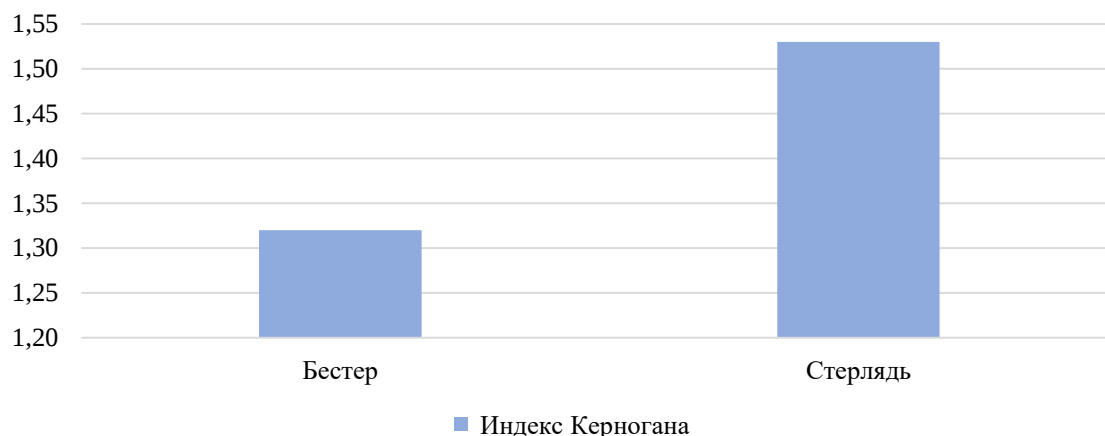


Рисунок 3.16 – Индекс Керногана у представителей осетровых

Гистологическая характеристика селезенки осетровых, выращенных в установке замкнутого водоснабжения, свидетельствует о том, что у бестера, полученного в результате скрещивания белуги и стерляди, селезенка содержит большее количество лимфатических узелков, что указывает на высокую активность иммунной системы у данных представителей осетровых. При этом стоит отметить, более высокую пропускную способность микроциркуляторного русла у стерляди.

У осетровых половые органы находятся в тесном морфологическом контакте с мочевыделительными органами. В большинстве случаев они представлены парными удлинёнными яичниками, окрашенными в бледно-розовый или сероватый цвет, имеют плотную консистенцию и обладают прозрачной стромой рисунок 3.17.

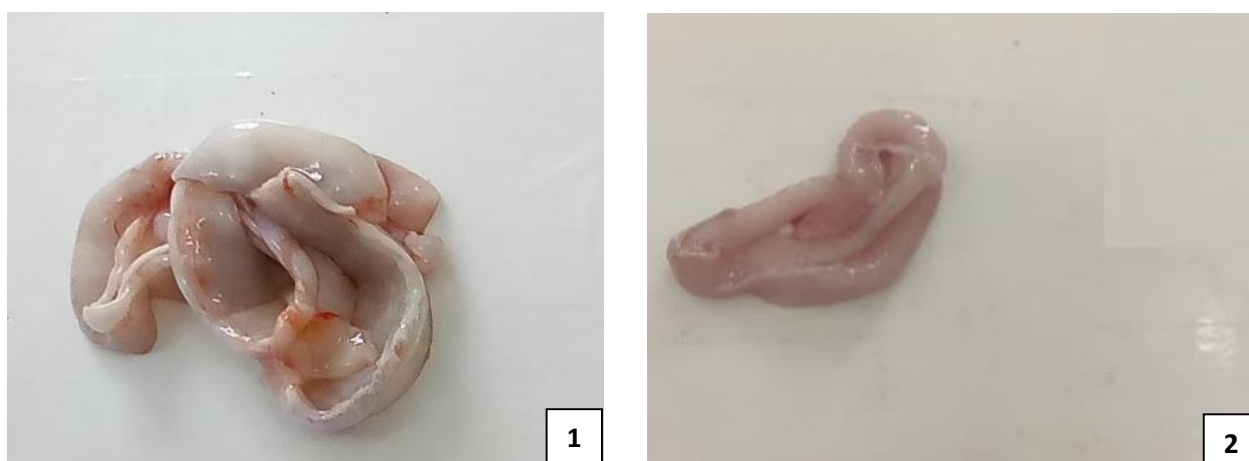


Рисунок 3.17 – Гонады осетровых: 1- бестера, 2- стерляди

Линейно-массовые измерения гонад осетровых представлены в таблице 3.23.

Таблица 3.23 – Линейно-массовые показатели гонад осетровых, $M \pm m$,

Показатель	Стерлядь	Бестер
Масса гонад, г	$1,43 \pm 0,36$	$2,36 \pm 0,64$
Средняя длина гонад, см	$6,03 \pm 0,26$	$7,97 \pm 0,39$

Примечание: * $p < 0,05$

Микроморфометрические параметры яичника представлены в таблице 3.24.

Таблица 3.24 – Микроморфометрические параметры яичника осетровых

Осетровые	Параметры		
	диаметр ооцита, мкм	площадь всего ооцита, мкм ²	диаметр ядра, мкм
Стерлядь	279,884±14,812	49196,850±327,500	127,12±1,790
Бестер	169,442±3,640	24518,450±900,128	125,83±4,970

Примечание: * $p < 0,05$

Ооциты находятся в периоде протоплазматического роста. На этой стадии развития все жировые включения располагаются на периферии цитоплазмы ооцита, который окружён капсулой. Средний диаметр ооцитов в фазе однослойного фолликула составляет 169,44±3,640 мкм для бестера и 279,89±14,812 мкм для стерляди. Паренхима органа содержит фолликулы, жировую и рыхлую волокнистую соединительную ткани и сосуды.

Диаметр ядра ооцита у бестера составил 125,83±4,97 мкм и 127,12±1,79 мкм у стерляди. Промежутки между фолликулами содержат много жировых включений, что дает основание обозначить эту стадию зрелости как «вторая жировая». Протоплазматический рост ооцитов продолжается и асинхронность сглаживается при переходе к вителлогенезу. У осетровых наблюдается феномен резорбции: более ранние, единично созревшие ооциты подвергаются обратному развитию и лизируются организмом. Эта особенность обусловлена стратегией синхронного созревания ооцитов, которая обеспечивает высокую плодовитость рыбы за счет одновременного высвобождения большого количества зрелых яйцеклеток во время нереста. В период созревания гонад половая система рыб претерпевает динамические изменения. По мере приближения к следующему нересту, половые железы рыб увеличиваются в объеме и массе. Одним из ключевых показателей степени зрелости половых продуктов является вес гонад. Г.В. Никольский (1939) предложил использовать коэффициент зрелости, который позволяет оценить уровень развития половой системы рыбы в момент исследования. На рисунках 3.18 и 3.19 представлены ооциты осетровых.

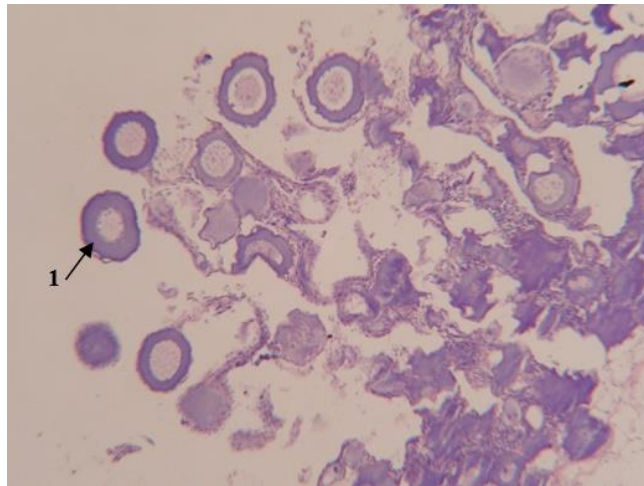


Рисунок 3.18 – Яичник бестера. Окраска: гематоксилин-эозин. Увеличение $\times 100$.

1 – ооцит протоплазматического роста

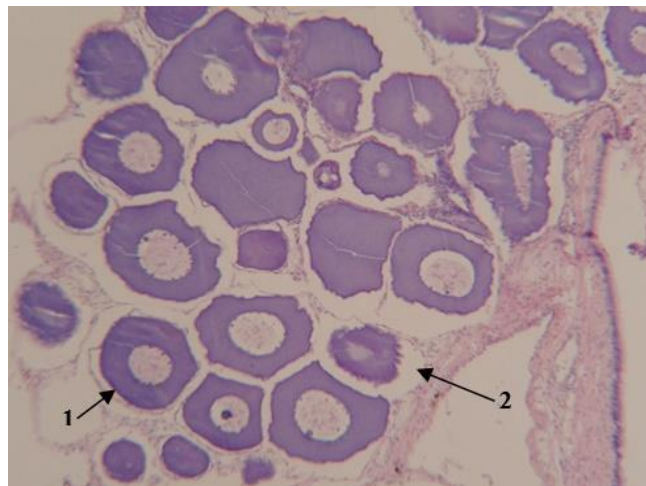


Рисунок 3.19 – Яичник стерляди. Окраска: гематоксилин-эозин. Увеличение $\times 100$.

1 – ооцит протоплазматического роста, 2 – жировая ткань

Для более точного анализа использовали ГСИ который учитывает чистую массу рыбы без внутренних органов [176]. Коэффициент зрелости и гонадо-соматический индекс представлены на рисунке 3.20.

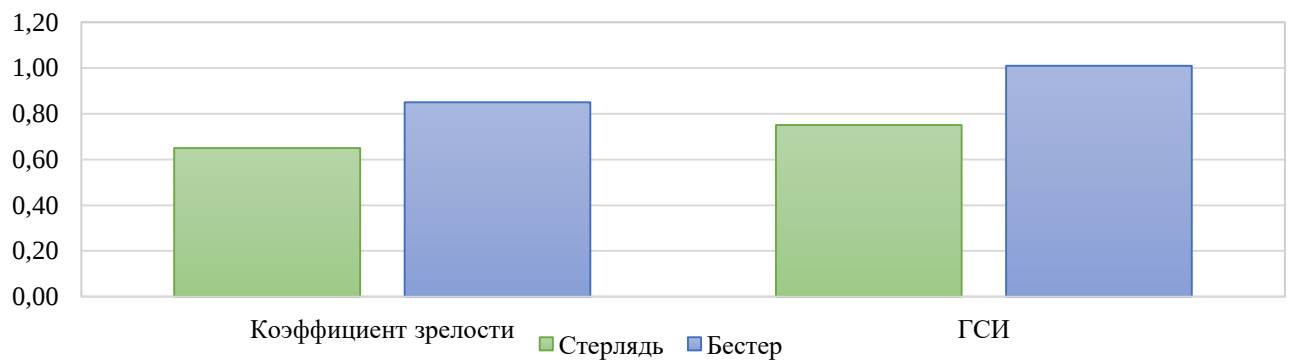


Рисунок 3.20 – Коэффициент и индекс зрелости половой системы осетровых, %

Анализируя диаграмму можно отметить, что коэффициент зрелости и ГСИ бестера больше в 1,2 раза чем у стерляди, наиболее вероятно это связано с генетическими особенностями данного вида.

Изучение гонад осетровых, выращенных в установках замкнутого водоснабжения, показало, что у бестера быстрее происходит созревание половой системы в сравнении со стерлядью.

Показатели массы рыбы и ее печени показаны на диаграмме рисунок 3.21.

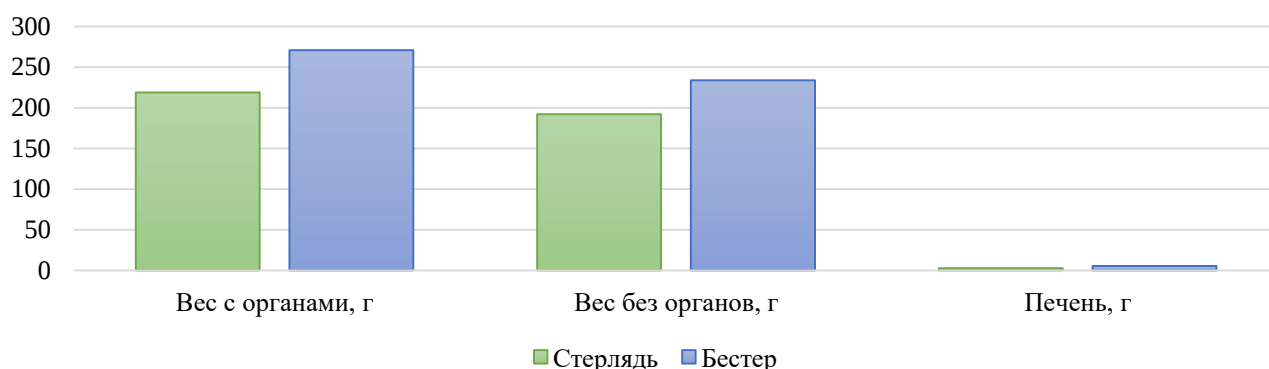


Рисунок 3.21 – Показатели массы тела и печени осетровых

Анализ данных, представленных на диаграмме, позволил выделить заметную тенденцию к увеличению всех показателей у особей бестера – по массе с органами в 1,24 раза; по весу без органов в 1,21 раза и по массе печени в 2 раза, по сравнению с представителями стерляди, что указывает на более эффективное усвоение питательных веществ и генетические особенности данного вида, полученного Н.И. Николукиным и Н.А. Тимофеевой в Тепловском рыбопитомнике Саратовской области в результате искусственного скрещивания самки белуги с самцом стерляди (*Huso huso* × *Acipenser ruthenus*).

Гепатосоматический индекс, который отражает экологические характеристики жизни рыб, а также в меньшей мере их организационный уровень, был выше у бестера (2,31) в 1,6 раз по сравнению с таковым у стерляди (1,43), что может свидетельствовать о более активных физиологических процессах и лучшей приспособленности к среде обитания гидробионтов.

У осетровых рыб печень начинает формироваться в личиночном периоде на 35-й стадии развития, представляя собой выпячивание вентральной стенки первичной кишки, которое называется печеночным дивертикулом. На десятый день активного питания в печени наблюдается экстравазкулярное кроветворение, которое характеризуется образованием кровяных клеток вне сосудистой системы. Интенсивность этого процесса постепенно уменьшается по мере дальнейшего развития и формирования печени.

Проведенный гистологический анализ гепатоцитов осетровых рыб, а именно бестера и стерляди рисунки 3.22, 3.23, показал, что паренхима органа образована узкими балками, сформированными отходящими от центральной вены радиальными тяжами гепатоцитов, цитоплазма которых умеренно ацидофильная и содержит мелкие вакуоли. Ядра гепатоцитов округлые, с отчетливо различимыми глыбками хроматина.

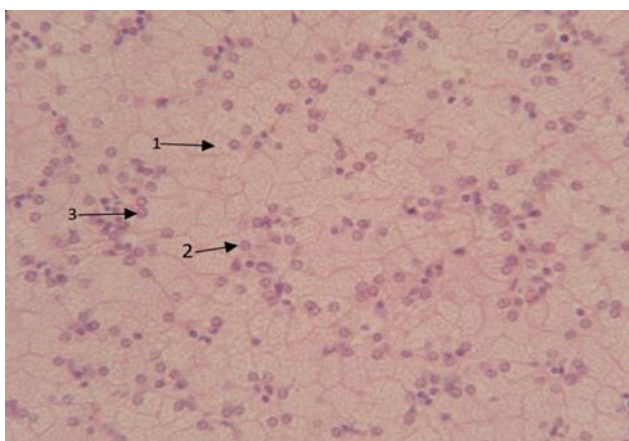


Рисунок 3.22 – Печень бестера.

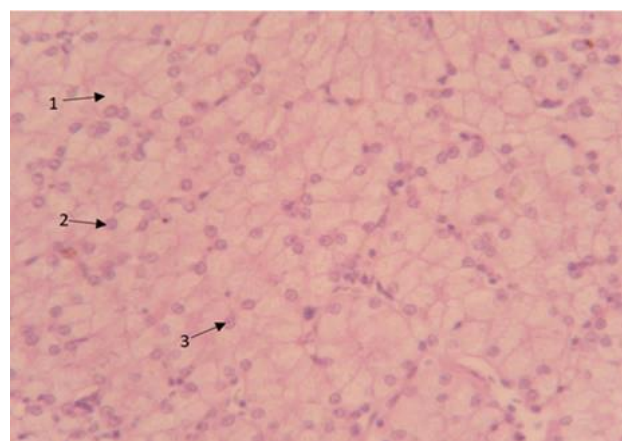


Рисунок 3.23 – Печень стерляди.

Окраска: гематоксилин-эозин. Увеличение $\times 400$.

1 – гепатоциты, 2 – ядро, 3 – ядрышко

Диаметр гепатоцитов бестера составил $27,68 \pm 0,96$ мкм и достоверно был больше, чем аналогичный показатель стерляди – $21,91 \pm 1,04$ мкм, что может быть связано с его формой и особенностями метаболизма. Диаметр ядер гепатоцитов бестера составил $8,42 \pm 0,23$ мкм, в то время как у стерляди он равен $8,79 \pm 0,26$ мкм, достоверных отличий не было установлено. Хотя разница в диаметре ядер не столь

значительна, она может свидетельствовать о различиях в генетической активности и потребностях в синтезе белков между этими видами.

Площадь гепатоцитов бестера составила $683,33 \pm 57,28$ мкм², а у стерляди, данный показатель был равен $758,68 \pm 61,99$ мкм², что может быть связано с особенностями адаптации к различным условиям среды и специфическими метаболическими процессами в гепатоцитах печени у гибридов. Площадь ядер гепатоцитов бестера составила $67,56 \pm 3,43$ мкм², а у стерляди – $81,39 \pm 2,60$ мкм². Достоверные отличия по площади ядер могут указывать на более активные метаболические процессы, требующие интенсивного синтеза РНК и белков в гепатоцитах стерляди. По количеству гепатоцитов и их ядер на единицу площади, достоверных различий не установлено. Так, у бестера количество гепатоцитов составило $123,33 \pm 3,11$ и ядер $114,83 \pm 4,13$ шт/мм², а у стерляди $123,83 \pm 6,41$ и $117,50 \pm 7,69$ шт/мм², соответственно. Значение ядерно-цитоплазматического отношения по гепатоцитам печени у бестера равно $0,12 \pm 0,01$, а у стерляди этот показатель составил $0,13 \pm 0,01$. Это соотношение отражает баланс между ядерным и цитоплазматическим содержанием клеток и может служить индикатором клеточной активности и функционального состояния, где высокое ядерно-цитоплазматическое отношение может указывать на активные процессы деления и метаболизма. Проведенные исследования выявили достоверные морфометрические отличия в гепатоцитах бестера и стерляди, а именно диаметр клетки бестера больше на 26,33 %, но уступает стерляди по площади ядер на 20,47 % что указывает на особенности их адаптации к искусственно созданным условиям среды и метаболическим потребностям организма.

Это исследование акцентирует важность контроля созданных условий в аквакультуре, особенно в контексте разведения осетровых рыб в установках замкнутого водоснабжения.

Увеличение массы бестера по сравнению со стерлядью, как показал проведенный анализ, свидетельствует о более эффективном усвоении рыбой питательных веществ и также может коррелировать с генетическими особенностями, проявившимися в результате скрещивания, что открывает новые

горизонты для селекционной работы в области аквакультуры. Установленный высокий гепатосоматический индекс у бестера указывает на более активные физиологические процессы и подтверждает тот факт, что бестер лучше адаптирован к условиям высокоплотного разведения.

Гистологический анализ печени показал, что паренхима органа у обоих видов формируется на ранних стадиях развития, однако различия в морфометрии гепатоцитов могут указывать на различные метаболические потребности и связаны с активностью протекания иммунного ответа и детоксикационных процессов, происходящих в печени. Ядерно-цитоплазматическое отношение, которое было немного ниже у бестера, возможно, указывает на менее активные процессы деления клеток. Понимание этих различий поможет и ученым, и практикам в разработке более эффективных методов управления условиями аквакультуры и будет способствовать улучшению здоровья рыбы.

В заключение, результаты представленной научной работы, подчеркивают значимость продолжения данных исследований, направленных на оптимизацию условий разведения осетровых рыб в УЗВ. Углубленное понимание морфофизиологических и биохимических процессов, происходящих в печени рыбы, направлено в первую очередь на разработку более эффективных методов выращивания гидробионтов, что в конечном итоге приведет к улучшению продовольственной безопасности и устойчивому развитию сектора аквакультуры в Луганской Народной Республике.

Проведенные исследования выявили достоверные морфометрические отличия в гепатоцитах бестера и стерляди, что указывает на особенности их адаптации к искусственно созданным условиям среды и метаболическими потребностями организма.

Результаты исследований, которые представлены в данной главе, были опубликованы в следующих работах [177-191].

3.4 Экономическая эффективность выращивания осетровых рыб в установках замкнутого водоснабжения

На втором этапе были сравнены две установки замкнутого водоснабжения, аквапонная рециркуляционная система и установка замкнутого водоснабжения с товарной массой – 231,9 кг и 206,5 кг. Расчеты производились на основе абсолютного прироста осетровых. Данные затрат на выращивание осетровых в установках замкнутого водоснабжения представлены в таблице 3.25.

Таблица 3.25 – Затраты на выращивание бестера в APC и УЗВ с расчетом на абсолютный прирост

Показатель	УЗВ	APC
Кормовой коэффициент	1,35	1,24
Затраты корма, кг	95,2	121,0
Стоимость кормов, тыс. руб.	24 752	31 460
Электроэнергия, тыс. руб.	3 442	4 859
Отопление, руб.	646,42	894,9
Персонал, тыс. руб.	24 000	24 000
Водопровод и канализация, тыс. руб.	2 473	3 423
Себестоимость товарной рыбы, тыс. руб.	55 314	64 637

Из данных таблицы 3.25 можно сделать вывод, что затраты на корм при выращивании осетровых в УЗВ меньше на 27,1%, что связано с абсолютным приростом, который больше на 38,44% в аквапонике, при этом затраты на электроэнергию в APC больше на 41,17%, что связано с фитолампами для выращивания растений в гидропонике. Остальные коммунальные услуги и персонал сопоставимы.

Экономическая эффективность выращивания бестера в APC и УЗВ с расчетом на абсолютный прирост представлена в таблице 3.26.

Таблица 3.26 – Экономическая эффективность выращивания бестера в УЗВ с расчетом на абсолютный прирост

Показатель	УЗВ	АРС
Общая товарная масса, кг	206,5	231,9
Абсолютный прирост массы, кг	70,5	97,6
Цена реализации товарной рыбы, руб./кг	1 100	1 100
Доход от реализации рыбы, тыс. руб.	77 550	107 360
Прибыль от реализации рыбы, тыс. руб.	22 236	42 723
Рентабельность производства рыбы, %	40,2	66,1

Примечание: цены 2025 г.

Выращивание бестера в обоих вариантах выглядит рентабельным: выручка существенно превышает издержки, прибыль положительная, рентабельность высокая 66,1% и 40,2 %. Несмотря на одинаковую реализацию рыбы по 1 100 рублей за килограмм отмечается более высокий экономический эффект при выращивании осетровых в аквапонной рециркуляционной системе.

Важно учесть, что в представленных расчетах не была отражена продукция гидропонного блока, получаемая в аквапонной системе, что формирует дополнительный источник выручки, который способен частично компенсировать повышенные затраты на электроэнергию и улучшить общие экономические показатели АРС. Кроме того, гидропоника позволяет более эффективно использовать питательные вещества, содержащиеся в воде после выращивания рыбы, снижая потери ресурсов и повышая общую биологическую и экономическую отдачу системы. Следовательно, при включении в расчет стоимости произведенной растительной продукции, а также возможной экономии на удобрениях и водопотреблении, реальная экономическая эффективность аквапонной рециркуляционной системы может быть выше, чем показано в проведенном анализе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе решена актуальная научная задача – изучены особенности формирования продуктивных качеств осетровых рыб в условиях различных технологий замкнутого водоснабжения, в основу которых положена комплексная оценка зоотехнических и биолого-технологических особенностей гидробионтов, которые могут быть улучшены за счет своевременной корректировки условий их кормления и содержания.

1. Рыба, выращенная в аквапонной рециркуляционной системе, имеет более высокие рыбоводные показатели, которые в 1,4 раза выше: по коэффициенту массонакопления, абсолютному и среднесуточному приростам. Регистрируются корреляционные связи между гидрохимическими и гематологическими показателями – большей силы и их количество в 2 раза выше в сравнении с таковыми при выращивании бестера в традиционной установке замкнутого водоснабжения. В АРС с блоком гидропоники в котором высажены растительные культуры снижено содержание нитритов и нитратов в 1,71 и 1,18 раза в ходе эксперимента. Следует отметить, что морфологическое строение корневой системы высаженных растений, а именно: кресс-салат, рукола, базилик, горох и чечевица – не только питают воду кислородом, но и активно поглощают и накапливают в себе нитратные и нитритные соединения.

2. Использование пастообразной кормосмеси с частичной заменой рыбной муки биомассой червя *Eisenia fetida* позволяет достоверно повысить основные рыбоводно-биологические показатели: конечная масса рыб увеличилась на 4,4-4,8 %; абсолютный прирост массы – на 8,8-9,9 %; относительный прирост – на 8,6-9,0 %; среднесуточный прирост – на 8,7-9,9 %. Морфологический и биохимический анализ крови подтвердил, что предложенные рационы не вызывают патологических сдвигов у гибридов. Более высокое содержание гемоглобина и эритроцитов у бестера свидетельствует о лучшей кислородтранспортной функции крови у этого вида. Биохимические показатели крови находятся в пределах

физиологических норм для осетровых, что подтверждает безопасность и эффективность включения вермикультуры в состав рациона.

3. Органолептические показатели осетровых, выращенных в УЗВ на пастообразной кормосмеси, соответствовали требованиям ГОСТ 7631-2008. Физико-химический состав мяса характеризовался следующими значениями: массовая доля – белка, была в пределах 15 %; жира – в диапазоне от 12 % до 16 % и воды – от 69 % до 73 %.

4. Комплексная оценка пригодности осетровых рыб для производства продукции аквакультуры, выращенных в условиях УЗВ проведенная на основе морфометрических, гематологических, гистологических и продуктивных показателей свидетельствует о том, что бестер обладает выраженным эффектом гетерозиса, проявляющимся в более интенсивном росте, эффективном усвоении питательных веществ пастообразной кормосмеси, более активной иммунной системе и ускоренном созревании половых клеток. Более высокие показатели кислородтранспортной функции крови и метаболической активности гепатоцитов присущи стерляди. Полученные данные обосновывают перспективность использования бестера как объекта индустриальной аквакультуры в УЗВ при кормлении пастообразной кормосмесью из натуральных ингредиентов.

5. Морфологические и биохимические показатели крови осетровых находились в пределах физиологической нормы. При этом у представителей стерляди отмечалось достоверно большее количество эритроцитов (на 38,5%), средняя концентрация гемоглобина в эритроците также была в 2 раза выше, индекс Кребса – в 1,7 раза, соответственно. По биохимическим показателям достоверные различия установлены по содержанию альбуминов и мочевины на 26,9% и 10,3% соответственно, что свидетельствует о различной адаптивной способности к условиям содержания.

6. Гистологическая характеристика селезенки показала, что среднее количество лимфатических узелков было больше у гибрида, при этом у стерляди центральная артерия лимфатического узелка обладала более высокой пропускной способностью микроциркуляторного русла. Гистоморфометрия печени

установила, что гепатоциты печени стерляди имели круглую форму (полигональную) и ядра большей площади. Для гепатоцитов бестера была характерна овальная форма и ядра меньшей площади. Выявленные различия указывают на более активные процессы транскрипции и синтеза белков у стерляди.

7. Корреляционный анализ выявил наличие значимых связей между гидрохимическими параметрами воды и качественными показателями мяса осетровых. Очень высокие положительные связи установлены между массовой долей воды в мясе и содержанием нитритов, а также ХПК у обоих видов. При содержании бестера в аквапонной рециркуляционной системе количество значимых корреляционных связей увеличилось в 2 раза по сравнению с УЗВ, что свидетельствует о формировании более благоприятной искусственной экосистемы.

8. Выращивание бестера в условиях УЗВ является рентабельным: выручка существенно превышает издержки, прибыль положительная, рентабельность высокая от 40,2 до 66,1%, при этом более высокий экономический эффект отмечается при выращивании гидробионтов в аквапонной рециркуляционной системе.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

1. Для увеличения производства рыбной продукции высокого качества предлагаем разводить представителей осетровых, обладающий достаточными адаптивными качествами в искусственно созданных условиях с применением аквапоники (листья салата, рукола, базилик, шпинат, сельдерей, горох и чечевица). Технология позволяет проявить высокий генетический потенциал и хорошие продуктивные качества, благоприятно влияющие на обеспечение населения республики экологически чистой продукцией рыбоводства.

2. Предложенный сбалансированный рацион обеспечивает эффективный рост осетровых, снижая кормовой коэффициент и улучшая пищевую ценность корма. Пастообразная кормосмесь включает следующие компоненты: рыбный фарш из отходов и малоценных видов рыб – 5 %, калифорнийские черви – 55 %, ряска из биоплато с высшими водными растениями – 10 %, жмых подсолнечника – 16 % и биологически активные добавки: рыбий жир – 9 %, дрожжи кормовые – 5 %.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Дальнейшая научная работа будет ориентирована на усовершенствование способов выращивания гидробионтов в контролируемых условиях замкнутого водоснабжения с учетом специфических требований к производству рыбной продукции по органическим принципам.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

АРС – аквапонная рециркуляционная система

БПК – биохимическое потребление кислорода

ВНИИПРХ – Филиал по пресноводному рыбному хозяйству ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»

ВНИРО – Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии

ГСИ – гонадосоматический индекс

КрасНИРХ – Краснодарский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства

УЗВ – установка замкнутого водоснабжения

ФАО – Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединённых Наций

ХПК – химическое потребление кислорода

ЦНИОРХ – Центральный научно-исследовательский институт осетрового хозяйства

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ветеринарно-санитарная оценка качества и безопасности товарной стерляди, выращенной с использованием рециркуляционных технологий / В. И. Егорова, В. В. Наумова, Д. А. Кирьянов [и др.] // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. – 2018. – № 4. – С. 111–116.
2. Гидрохимические условия выращивания австралийского красноклешневого рака (*Cherax quadricarinatus*) в Астраханской области / О. В. Пятикопова, Б. М. Анкешева, Р. Р. Тангатарова [и др.] // Водные биоресурсы и среда обитания. – 2022. – Т. 5, № 3. – С. 32–47.
3. Евдокимов, А. П. Исследование изменения уровня кислотности воды в установках замкнутого водоснабжения / А. П. Евдокимов, Р. А. Евдокимов, А. А. Черняев // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2022. – № 2 (66). – С. 480–490.
4. Химический анализ воды из бассейнов УЗВ с разными видами рыб / А. Г. Полянки, И. Д. Волобуев, Е. С. Кузьмина [и др.] // Молодежная наука - развитию агропромышленного комплекса: Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Курск, 03–04 декабря 2020 г. Ч. 2. – Курск: Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И.И. Иванова, 2020. – С. 221–224.
5. Гуркина, О. А. Выращивание ленского осетра до массы 1 кг в условиях установки замкнутого водоснабжения / О. А. Гуркина, П. А. Грищенко, Е. В. Пономарева // Современные способы повышения продуктивных качеств сельскохозяйственных животных, птицы и рыбы в свете импортозамещения и обеспечения продовольственной безопасности страны : материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 85-летию со дня рождения доктора сельскохозяйственных наук, почетного работника ВПО РФ,

профессора кафедры «Кормление, зоогигиена и аквакультура» СГАУ им. Н. И. Вавилова А. П. Коробова. – Саратов : Научная книга, 2015. – С. 25–28.

6. Матишов, Г. Г. Выращивание осетровых рыб в условиях замкнутого водоснабжения / Г. Г. Матишов, Е. Н. Пономарева, П. А. Балыкин // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северозападной части Тихого океана. – 2008. – Вып. 11. – С. 47–56.

7. Басонов, О. А. Морфометрические показатели ремонтно-маточного стада русского и сибирского осетра в условиях УЗВ / О. А. Басонов, А. В. Судакова // Состояние и пути развития аквакультуры в Российской Федерации : материалы V Национальной научно-практической конференции. – Калининград : Амирит, 2020. – С. 34–37.

8. Влияние искусственной экосистемы на репродуктивные качества осетровых рыб в аквакультуре / А. А. Корчунов, М. Н. Сорокина, В. А. Григорьев [и др.] // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2017. – Т. 19, № 5-2. – С. 327–333.

9. Основы осетроводства в условиях замкнутого водообеспечения для фермерских хозяйств / Г. Г. Матишов, Д. Г. Матишов, Е. Н. Пономарёва [и др.]. – Ростов н/Д: Изд-во ЮНЦ РАН, 2008. – 112 с.

10. Рекомендации по повышению продуктивности маточных стад осетровых рыб за счет управления созреванием самок в промышленных условиях (на примере сибирского осетра и стерляди) / Е. А. Мельченков, В. А. Илясова, А. В. Мышкин [и др.]. – М.: Корал-Принт, 2020. – 32 с.

11. Сухаренко, Е. В. Физиология рыб / Е. В. Сухаренко, В. И. Максимов. – М. : ООО НПО «Сельскохозяйственные технологии», 2021. – 156 с.

12. Борисова, С. Д. Особенности гидрохимического режима установок замкнутого цикла водообеспечения по выращиванию осетровых видов рыб / С. Д. Борисова, В. В. Ильина // Инновационные технологии в производстве и переработке сельскохозяйственной продукции : сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции, Махачкала, 18

февраля 2021 года. – Махачкала : Дагестанский государственный аграрный университет им. М. М. Джембулатова, 2021. – С. 376–383.

13. Туменов, А. Н. Морфометрические и рыбоводные параметры роста молоди осетровых рыб Каспийской популяции в условиях регулируемых систем / А. Н. Туменов, Б. Т. Сариев, А. М. Джунусов // Наука и образование. – 2021. – № 3 (64). – С. 65–72.

14. Басонов, О. А. Химический состав и пищевая ценность мяса осетровых рыб разных генотипов при промышленном производстве / О. А. Басонов, А. В. Судакова // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2022. – № 2 (58). – С. 178–184.

15. Оценка морфофизиологических показателей производителей осетровых рыб / А. Б. Ахмеджанова, С. В. Пономарев, Ю. В. Федоровых [и др.] // Рыбоводство и рыбное хозяйство. – 2022. – Т. 16, № 9 (200). – С. 599–612.

16. Рыбоводно-биологические показатели бестера «бурцевской» породы 5 поколения селекции при выращивании в индустриальной аквакультуре / А. С. Сафронов, О. П. Филиппова, И. В. Яхонтова [и др.] // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси. – 2023. – № 39. – С. 279–291.

17. Ситахметова, Г. К. Оценка морфологических признаков сибирского осетра на ранних этапах онтогенеза / Г. К. Ситахметова // Вестник науки Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина. – 2024. – № 3 (122). – С. 37–45.

18. Сергеева, Ю. В. Рыбоводно-биологические результаты выращивания молоди белуги в условиях Астраханской области / Ю. В. Сергеева, О. А. Алимутлаева, Р. Р. Алимутлаев // Наука и практика – 2024 : всероссийская междисциплинарная научная конференция, Астрахань, 18–23 ноября 2024 года. – Астрахань : Астраханский государственный технический университет, 2024. – С. 262–265.

19. Айткалиева, А. А. Особенности биохимических показателей белкового обмена пятилеток сибирского осетра ремонтных групп в условиях регулируемого температурного режима / А. А. Айткалиева, А. Р. Лозовский, А. И. Ниматов // Инновационное развитие современной науки : новые подходы и актуальные

исследования (шифр – МКИРСН) : сборник материалов XI международной научно-практической конференции, Москва, 09 декабря 2024 года. – Москва : Центр развития образования и науки, 2024. – С. 78–84.

20. Физиологическое состояние стерляди в условиях садковых и бассейновых хозяйств / А. А. Бахарева, О. Д. Сергазиева, Т. Л. Калита [и др.] // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. – 2024. – № 2. – С. 57–64.

21. Насунова, В. М. Оценка гидрохимических показателей водной среды в период выращивания молоди русского осетра / В. М. Насунова // 75-я международная студенческая научно-техническая конференция, посвящённая 95-летию АИРХ-АТИРПИХ-АГТУ : материалы конференции, Астрахань, 14–19 апреля 2025 года. – Астрахань : Астраханский государственный технический университет, 2025. – С. 1000–1002.

22. Выращивание осетровых видов рыб в условиях УЗВ / М. А. Маммаев, М. К. Мирзаханов, Б. И. Шихшабекова [и др.] // Современный взгляд на развитие рыбопромышленного комплекса : II всероссийская научно-практическая конференция (в рамках реализации программы «Приоритет – 2030»), Махачкала, 16 апреля 2025 года. – Махачкала : ИП «Магомедалиев С. А.», 2025. – С. 74–82.

23. Биохимическая картина крови осетров при скармливании комплексов производных β -циклодекстринов / И. В. Поддубная, О. Н. Руднева, О. А. Гуркина [и др.] // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2025. – № 117. – С. 286–292.

24. Сравнительная оценка функционального состояния молоди гибрида стерлядь $\times$ белуга / Ю. А. Лапухин, С. В. Пономарев, М. Н. Сорокина // Вестник АГТУ. – 2008. – № 3 (44). – С. 14–17.

25. Басонов, О. А. Сравнительная характеристика гематологических показателей осетровых разных генотипов, выращенных в условиях замкнутого водоснабжения / О. А. Басонов, А. В. Судакова // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2022. – № 4 (96). – С. 330–332.

26. Особенности роста различных гибридных форм осетровых видов рыб / Е. Н. Пономарева, А. В. Ковалева, М. В. Коваленко [и др.] // Наука юга России. – 2019. – Т. 15, № 3. – С. 81–88.

27. Газимагомедова, И. К. Перспективы искусственного выращивания гибрида русского и ленского осетров в условиях Дагестана / И. К. Газимагомедова, Ф. М. Маглмаев // Вестник Дагестанского государственного университета. Серия 1. Естественные науки. – 2022. – Т. 37, № 2. – С. 96–101.

28. Конькова, А. В. Сравнение гематологических показателей особей русского осетра с нормальной и пониженной массой тела / А. В. Конькова, С. С. Астафьева, А. О. Королев // Вызовы современности и стратегии развития общества в условиях новой реальности : сборник материалов XXIII международной научно-практической конференции, Москва, 19 января 2024 года. – Москва : Общество с ограниченной ответственностью «Издательство АЛЕФ», 2024. – С. 173–179.

29. Егорова, В. И. Динамика интегральных гематологических индексов рыб при хронической интоксикации / В. И. Егорова, И. В. Волкова // Рыбное хозяйство. – 2024. – № 1. – С. 81–87.

30. Йаздани Садати, М. А. Рост и морфофизиологическая характеристика ленского осетра (*Acipenser baerii* В.) в зависимости от массы тела / М. А. Йаздани Садати, В. А. Власов // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2006. – № 4. – С. 94–99.

31. Распопов, В. М. Морфофизиологические особенности популяции русского осетра Волго-Каспийского бассейна / В. М. Распопов, Ю. В. Сергеева // Вестник АГТУ. Серия: Рыбное хозяйство. – 2016. – № 4. – С. 116–121.

32. Состояние мирового рыболовства и аквакультуры – 2022 : на пути к «голубой» трансформации [Электронный ресурс]. – Рим : ФАО, 2022. – URL: <https://doi.org/10.4060/cc0463ru> (дата обращения: 06.09.2024).

33. Рубан, Г. И. О состоянии осетровых в России / Г. И. Рубан, Р. И. Ходоревская, В. Н. Кошелев // Астраханский вестник экологического образования. – 2015. – № 1 (31). – С. 42–50.

34. Труба, А. С. Тенденции трансформации отрасли пресноводной аквакультуры в России: экономический аспект / А. С. Труба, М. А. Труба, Е. Б. Акимов // Вопросы рыболовства. – 2025. – № 2 (26). – С. 177–190.
35. Беляева, А. А. Тяжелые металлы в органах и тканях рыб реки Белой / А. А. Беляева, Н. Г. Кутлин // Современные проблемы науки и образования [Электронный ресурс]. – 2017. – № 6. – URL: <https://science-education.ru/article/view?id=27245> (дата обращения: 15.10.2024).
36. Попова, Н. В. Экологическая безопасность и пищевая ценность промысловых сиговых рыб Якутии / Н. В. Попова, А. Ф. Абрамов // Вестник ИРГСХА. – 2019. – № 93. – С. 86–94.
37. Agbugui, M. Heavy Metals in Fish: Bioaccumulation and Health / M. Agbugui, G. Abe // British Journal of Earth Sciences Research. – 2022. – P. 47–66.
38. Shaltout, F. A. Public Health Hazards of Heavy Metal Contaminants in Fish Meals / F. A. Shaltout // J Nurs Care Repo. – 2024. – Vol. 5, № 1. – P. 1–6.
39. Изменение морфометрических показателей рыб под воздействием тяжелых металлов в водоемах республики Башкортостан / А. Ю. Матвеева, Э. Н. Яппарова, А. А. Садыков [и др.] // Рыбное хозяйство. – 2019. – № 1. – С. 120–125.
40. Способы совершенствования практической реализации технологии совмещенного рециркулятивного рыбоводства и интенсивного растениеводства / Е. М. Евграфова, А. Н. Неваленный, Л. Ю. Лагуткина [и др.] // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. – 2021. – № 4. – С. 105–114.
41. Шомуродзода, Б. Д. Технология выращивания ценных осетровых рыб в условиях замкнутого водоснабжения / Б. Д. Шомуродзода, В. Ф. Позднякова // Актуальные вопросы развития науки и технологий : сборник статей молодых учёных 73-й студенческой научной конференции, Караваево, 07 апреля 2022 года. – Караваево : Костромская государственная сельскохозяйственная академия, 2022. – С. 194–201.

42. Илюшина, П. С. Морфометрическая изменчивость молоди русского осетра при интенсивном способе выращивания в прудах малой площади / П. С. Илюшина, Л. С. Логинов // Рыбное хозяйство. – 2024. – № 6. – С. 70–76.

43. Жолдасбаев, А. М. Интенсивный метод выращивания карпа в установках замкнутого водоснабжения // Мировая наука. – 2020. – № 10 (43). – С. 26–29.

44. Разводят форель и осетра: в ЛНР можно купить свежую рыбу, выращенную местными фермерами [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.lugansk.kp.ru/daily/27659/5047764/> (дата обращения: 25.05.2025).

45. Баранникова, И. А. Состояние и основные задачи осетроводства в современный период / И. А. Баранникова // Биологические основы осетрового хозяйства в водоемах СССР. – М. : Наука, 1979. – С. 49–59.

46. Современное состояние и перспективы искусственного разведения редких, исчезающих видов рыб для сохранения биоразнообразия и восстановления численности в естественных водоемах Иле-Балкашского бассейна / М. А. Жапарова, С. Ж. Асылбекова, Д. К. Жаркенов [и др.] // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. – 2019. – № 3. – С. 17–30.

47. Космачев, Н. А. Анализ рыбоперерабатывающей промышленности России / Н. А. Космачев // Современные аспекты экономики. – 2018. – № 2 (246). – С. 5–9.

48. Яковлев, С. В. Прошлое, настоящее и будущее проходных рыб Нижней Волги / С. В. Яковлев // Здоровье и экология. – 2014. – № 8 (138). – С. 6–7.

49. Опыт выращивания осетровых рыб в условиях замкнутой системы водообеспечения для фермерских хозяйств / Г. Г. Матишов, Д. Г. Матишов, Е. Н. Пономарева [и др.]. – Ростов н/Д : Изд-во ЮНЦ РАН, 2006. – 72 с.

50. Федорова, В. С. Экономическая эффективность выращивания осетровых рыб в малогабаритных установках замкнутого водоснабжения / В. С. Федорова, С. С. Швыдченко // Экологический вестник Донбасса. – 2021. – № 3. – С. 5–15.

51. Богачев, А. И. Состояние отечественного сектора аквакультуры / А. И. Богачев // Вестник сельского развития и социальной политики. – 2018. – № 1 (17). – С. 23–25.
52. Федеральное государственное бюджетное учреждение «Главное бассейновое управление по рыболовству и сохранению водных биологических ресурсов» : официальный сайт. – Москва. – URL: <https://glavrybvod.ru/aboutus/> (дата обращения: 10.03.2025).
53. Нижневолжский филиал ФГБУ «Главрыбвод» выпустил рекордный объем стерляди [Электронный ресурс]. – URL: <https://glavrybvod.ru/novosti-fgbu/nizhnevolzhskij-filial-fgbu-glavrybvod-vypustil-rekordnyj-obem-sterlyadi/> (дата обращения: 10.03.2025).
54. Корнилова, Т. И. Проблемы сохранения популяции ленского осетра / Т. И. Корнилова // Наука и техника в Якутии. – 2017. – № 2 (33). – С. 34–37.
55. Zhao, S. Application of machine learning in intelligent fish aquaculture: A review / S. Zhao [et al.] // Aquaculture. – 2021. – Vol. 540. – P. 99–115.
56. Басонов, О. А. Зоогигиенические условия содержания и кормления осетровых в промышленных условиях / О. А. Басонов, Т. П. Станковская, А. В. Судакова // Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии. – 2021. – № 3 (31). – С. 24–28.
57. Государственная поддержка развития элементов инфраструктуры рыбохозяйственного комплекса на федеральном уровне / К. И. Алексеев, А. С. Ланкин, Э. А. Новоселов [и др.] // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. – 2020. – № 7 (64). – С. 50–80.
58. Ихтиологический мониторинг за состоянием запасов осетровых рыб в Каспийском море / Р. П. Ходоревская, Е. В. Красиков, Г. Ф. Довгопол [и др.] // Экосистемы Прикаспия XXI века : материалы международной научной конференции. – Элиста ; Астрахань, 1998. – С. 67–71.
59. Шашкова, И. Г. Развитие товарной аквакультуры / И. Г. Шашкова, Л. В. Романова // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2017. – № 2 (34). – С. 115–121.

60. Державин, А. Н. Методы получения зрелой икры осетровых и лососевых рыб // Труды совещаний ихтиологической комиссии АН СССР. Вып. 1. – С. 266–290.
61. Гербильский, Н. Л. Метод гипофизарных инъекций и его роль в рыбоводстве // Гормональная стимуляция полового цикла рыб в связи с задачами воспроизводства рыбных запасов : труды ВНИРО. – Л. : Наука, 1975.
62. Чебанов, М. С. Руководство по разведению и выращиванию осетровых рыб / М. С. Чебанов, Е. В. Галич, Ю. Н. Чмырь. – Москва, 2004. – 148 с.
63. Бурцев, И. А. Рекомендации по повышению эффективности искусственного воспроизводства осетровых видов рыб / И. А. Бурцев // Труды ВНИРО. – 2015. – № 153. – С. 165–174.
64. Основные этапы становления искусственного воспроизводства водных биологических ресурсов в России / З. М. Сергиева, И. В. Бурлаченко, А. И. Николаев [и др.] // Труды ВНИРО. – 2015. – № 153. – С. 3–25.
65. Малютин, В. С. К истории рыбоводного освоения сибирского осетра *Acipenser baerii* реки Лена для целей акклиматизации и товарного выращивания / В. С. Малютин, Г. И. Рубан // Вопросы ихтиологии. – 2009. – № 49 (3). – С. 389–395.
66. Маслов, П. А. Инструкция по искусственному разведению осетровых рыб (для сотрудников рыбоводной организации Волго-Каспийского района) / П. А. Маслов. – Астрахань : Астраханская ихтиологическая лаборатория при Обл. Волго-Каспийском упр. рыбными и тюленьими промыслами, 1919. – 21 с.
67. Применение молекулярно-генетических исследований в аквакультуре осетровых рыб / Н. В. Козлова, Н. Н. Базелюк, Д. Р. Файзулина [и др.] // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. – 2013. – № 3. – С. 113–117.
68. Оптимизация процесса криоконсервации спермы осетровых рыб при использовании различных сред / Е. Н. Пономарева, М. М. Богатырева, Н. А. Антонова [и др.] // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2009. – № 11 (1–2). – С. 132–134.

69. Митин, С. Г. О работе Комитета Совета Федерации по аграрно-продовольственной политике и природопользованию по совершенствованию законодательства в области рыболовства и аквакультуры / С. Г. Митин // Аналитический вестник. – 2019. – № 16 (730). – С. 15–22.

70. Yukgehnaish, K. Gut microbiota metagenomics in aquaculture: factors influencing gut microbiome and its physiological role in fish / K. Yukgehnaish [et al.] // Reviews in Aquaculture. – 2020. – Vol. 12, № 3. – P. 1903–1927.

71. Никоноров, С. И. Аквакультура. Формирование современной научно-правовой базы в Российской Федерации / С. И. Никоноров. – М. : Экономика и информатика, 2006. – 216 с.

72. Остроумова, И. Н. Биологические основы кормления рыб / И. Н. Остроумова. – Санкт-Петербург, 2001. – 372 с.

73. Пономарёв, С. В. Осетроводство на интенсивной основе / С. В. Пономарёв, Д. И. Иванов. – М. : Колос, 2009. – 312 с.

74. Алымов, Ю. В. Морфофизиологическая оценка молоди русского осетра, выращенной на различных видах комбинированных кормов / Ю. В. Алымов // Рыбоводство и рыбное хозяйство. – 2013. – № 7. – С. 51–59.

75. Алымов, Ю. В. Результаты выращивания молоди русского осетра на кормах разных производителей / Ю. В. Алымов, А. А. Кокоза, О. Н. Загребина // Рыбоводство и рыбное хозяйство. – 2015. – № 1–2. – С. 61–65.

76. Шмальгаузен, О. И. Развитие пищеварительной системы осетровых / О. И. Шмальгаузен // Морфо-экологические исследования развития рыб. – М. : Изд-во АН СССР, 1968. – С. 40–70.

77. Coutant, C. C. A riparian habitat hypothesis for successful reproduction of white sturgeon / C. C. Coutant // Reviews in Fisheries Science. – 2004. – Vol. 12, № 1. – P. 23–73.

78. Gebhardt, R. Der Stor / R. Gebhardt. – Kallmunz : Verlag Lassleben, 1997. – P. 13–27.

79. Pavlov, D. S. On the types of spawning migrations in sturgeon fishes (Acipenseriformes) of the world fauna / D. S. Pavlov, G. I. Ruban // *Journal of Ichthyology*. – 2002. – Vol. 41. – P. 225–236.

80. Николукин, Н. И. Гибридизация белуги со стерлядью / Н. И. Николукин, Н. А. Тимофеева // *ДАН СССР*. – 1953. – № 5. – С. 899–902.

81. Николукин, Н. И. Скрещивание белуги со стерлядью и выращивание гибридной молоди / Н. И. Николукин, Н. А. Тимофеева // *Труды Саратовского отделения ВНИРО*. – 1954. – Т. 3.

82. Николукин, Н. И. Инструкция по разведению и товарному выращиванию гибридов белуги со стерлядью / Н. И. Николушкин, И. А. Бурцев. М. : ОНТИ ВНИРО, 1969. – 52 с.

83. Крылова, В. Д. Биотехнология товарного выращивания бестера и ленского осетра в трёхлетнем цикле / В. Д. Крылова // *ВНИЭРХ. Серия : воспроизводство и пастбищное выращивание гидробионтов*. – 2003. – Вып. 2. – 42 с.

84. Бурцев, И. А. Кормление тюлькой гибридов осетровых / И. А. Бурцев // *Рыболовство и рыбоводство*. – 1966. – № 6.

85. Бурцев, И. А. Получение потомства от межродового гибрида белуги со стерлядью / И. А. Бурцев // *Генетика, селекция и гибридизация рыб*. – 1969. – С. 232–242.

86. Бурцев, И. А. К определению оптимальных размерно-весовых стандартов заводской молоди осетровых для воспроизводства / И. А. Бурцев // *Тепловодная аквакультура и биологическая продуктивность водоёмов аридного климата*. – Астрахань, 2007. – С. 298–302.

87. Николукин, Н. И. Отдалённая гибридизация осетровых и костистых рыб / Н. И. Николукин. – М. : Пищевая промышленность, 1972. – 335 с.

88. Богерук, А. К. Породы и одомашненные формы осетровых рыб (Acipenseridae) / А. К. Богерук. – М. : Столичная типография, 2008. – 152 с.

89. Серебрякова, Е. В. Кариология второго поколения гибрида белуги со стерлядью / Е. В. Серебрякова // *Труды ВНИРО*. – 1970. – Т. 76. – С. 225–230.

90. Арефьев, В. А. Цитогенетический аспект разнокачественности производителей возвратного гибрида бестера и белуги / В. А. Арефьев // Биологические основы индустриального осетроводства: сборник научных трудов. – М. : ВНИРО, 1991. – С. 134–150.
91. Зеленский, В. В. История развития стерляди (*Acipenser ruthenus*) / В. В. Зеленский // Труды общества естествоиспытателей при Казанском университете. – 1887. – Т. 7, № 3. – С. 1–226.
92. Атлас пресноводных рыб / под ред. Ю. С. Решетникова. – М. : Наука, 2002. – Т. 1. – С. 46–47.
93. Волосников, Г. И. Обзор данных по биологии стерляди *Acipenser ruthenus* (Linnaeus, 1758) / Г. И. Волосников // Нефтегазовые технологии и экологическая безопасность. – 2017. – № 2 (64). – С. 67–72.
94. Гершанович, А. Д. Экология и физиология молоди осетровых / А. Д. Гершанович, В. А. Пегасов, М. И. Шатуновский ; под ред. М. И. Шатуновского. – М. : Агропромиздат, 1987. – 214 с.
95. Атлас родной природы. Рыбы наших вод. – М. : Эгмонт Россия, 2002. – 64 с.
96. Третьякова, Т. В. Анализ размерно-возрастной структуры стерляди нижнего течения реки Иртыш в аспекте сохранения её запасов / Т. В. Третьякова // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 11. – С. 1306–1310.
97. Мильштейн, В. В. Осетроводство / В. В. Мильштейн. – М. : Лёгкая и пищевая промышленность, 1982. – 152 с.
98. Калмыков, В. А. Миграции, распределение, структура популяции и запасы стерляди (*Acipenser ruthenus* L.) Нижней Волги : автореферат дис. ... канд. биол. наук / В. А. Калмыков. – М., 2005. – 24 с.
99. Берг, Л. С. Рыбы пресных вод СССР и сопредельных стран / Л. С. Берг. – М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1948. – Ч. 1. – 466 с.
100. Журавлев, В. Б. К вопросу о таксономическом статусе стерляди *Acipenser ruthenus* реки Оби / В. Б. Журавлев // Известия Алтайского государственного университета. – 2000. – № 3. – С. 77–88.

101. Тищенко, Н. Н. Стерлядь *Acipenser ruthenus* / Н. Н. Тищенко, И. В. Ткачева // Проблемы и тенденции инновационного развития агропромышленного комплекса и аграрного образования России : материалы Международной научно-практической конференции. – Донской государственный аграрный университет, 2012. – С. 233–235.
102. Михайлов, М. М. Сравнительная морфология разных видов осетров / М. М. Михайлов, Н. И. Женихова // Молодёжь и наука. – 2016. – № 12. – С. 13.
103. Галушак, С. С. К биологии иртышской стерляди (*Acipenser ruthenus* L.) / С. С. Галушак, О. И. Кириченко, Е. В. Куликов // *Selevinia*. – 2003. – С. 138–144.
104. Амстиславский, А. З. О морфологической и экологической изменчивости стерляди бассейна р. Оби / А. З. Амстиславский // Труды Института экологии растений и животных УНЦ АН СССР. – 1976. – Вып. 99. – С. 51–59.
105. Справочные материалы по росту рыб / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Федеральное агентство по рыболовству, Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский НИИ рыбного хозяйства и океанографии» (ВНИРО) ; [сост. д.б.н. А. А. Яржомбек]. – Москва : Изд-во ВНИРО, 2005. – 78 с.
106. Замкнутые системы – основное направление развития водного хозяйства промышленных предприятий / В. И. Аксёнов [и др.] // Водное хозяйство России : проблемы, технологии, управление. – 2011. – № 2. – С. 93–101.
107. Казарникова, А. В. Система замкнутого водоснабжения для выращивания осетровых рыб / А. В. Казарникова // Ветеринария. – 2006. – № 10. – С. 42–44.
108. Черняев, А. А. Перспективы развития рыбоводства в Поволжье / А. А. Черняев, Н. В. Черношвец // АПК : экономика, управление. – 2014. – № 11. – С. 3–9.
109. Бретт, Д. Факторы среды и рост рыб / Д. Бретт // Биоэнергетика и рост рыб. – М. : Лёгкая и пищевая промышленность, 1983. – С. 275–345.
110. Мина, М. В. Рост животных / М. В. Мина, Г. А. Клевезаль. – М. : Наука, 1976. – 286 с.

111. Анисимова, И. М. Ихтиология / И. М. Анисимова, В. В. Лавровский. – М. : Высшая школа, 1983. – 255 с.
112. Stickney, R. R. Principles of Warmwater Aquaculture / R. R. Stickney. – New York : John Wiley & Sons, 1979. – 375 p.
113. Hegedus, C. The influence some physical-chemical traits of water on aquatic organism / C. Hegedus // Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. – 2005. – Ser. : Zootehn. & biotehnol., Vol. 61. – P. 390.
114. Чмилевский, Д. А. Влияние пониженной температуры на оогенез тилляпии *Oreochromis mossambicus* / Д. А. Чмилевский // Вопросы ихтиологии. – 1994. – Т. 34, № 5. – С. 675–680.
115. Коцарь, Н. И. Влияние температуры на общий обмен у карпов / Н. И. Коцарь // Тезисы докладов 6-й Всесоюзной конференции по экологии, физиологии и биохимии рыб. – Вильнюс, 1985. – С. 100–101.
116. Киселёв, А. Ю. Биологические основы и технологические принципы разведения и выращивания объектов аквакультуры в установках с замкнутым циклом водообеспечения : автореферат дис. ... д-ра биол. наук : 03.00.10 / А. Ю. Киселёв. – М., 1999. – 62 с.
117. Голованов, В. К. Температурный оптимум и температурные границы жизнедеятельности осетровых видов рыб / В. К. Голованов // Аквакультура осетровых рыб : достижения и перспективы развития : материалы 4-й Международной научно-практической конференции. – М. : ВНИРО, 2006. – С. 21–24.
118. Справочник по физиологии рыб / под ред. А. А. Яржомбека. – М. : Агропромиздат, 1986. – 192 с.
119. Кляшторин, Л. Б. Водное дыхание и кислородные потребности рыб / Л. Б. Кляшторин. – М., 1982. – 168 с.
120. Технология выращивания товарного осетра в установках с замкнутым циклом водообеспечения / А. Ю. Киселёв, В. А. Слепнёв, В. И. Филатов [и др.]. – Москва, 1995. – 19 с.

121. Исаева, Л. Н. Некоторые аспекты повышения эффективности искусственного разведения осетровых на Дону / Л. Н. Исаева, Л. Т. Горбачёва, Е. В. Горбенко // Тезисы докладов Международной конференции «Осетровые на рубеже XXI века». – Астрахань : КаспНИРХ, 2000. – С. 247–248.

122. Черкесова, Д. Н. Биохимическая индикация состояния рыб в условиях нитритного стресса / Д. Н. Черкесова, А. Б. Шахназарова, А. Р. Исуев // Международная научная конференция «Новые технологии в защите биоразнообразия в водных экосистемах». – М., 2002. – С. 191.

123. Acute exposure of Siberian sturgeon (*Acipenser baeri* Brandt) yearlings to nitrite: median-lethal concentration (LC50) determination, haematological changes and nitrite accumulation in selected tissues / M. Huertas, E. Gisbert, A. Rodriguez [et al.] // *Aquatic Toxicology*. – 2002. – Vol. 57, № 4. – P. 257–266.

124. Szczepkowski, M. Comparison of oxygen consumption and ammonia excretion by Siberian sturgeon (*Acipenser baeri* Brandt) and its hybrid with green sturgeon (*Acipenser medirostris* Ayres) / M. Szczepkowski, B. Szczepkowska, R. Kolman // *Arch. Ryb. Pol.* – 2000. – Vol. 8, № 2. – P. 205–212.

125. Иванов, А. П. Рыбоводство в естественных водоёмах / А. П. Иванов. – М., 1988. – 367 с.

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

127. Козлов, В. И. Товарное осетроводство / В. И. Козлов, Л. С. Абрамович. – М., 1986. – 117 с.

128. Хрусталеv, Е. И. Адаптационные возможности молоди стерляди при выращивании в различных рыбоводных системах / Е. И. Хрусталеv, М. С. Величко // Аквакультура осетровых рыб: достижения и перспективы развития : материалы 4-й Международной научно-практической конференции. – М. : ВНИРО, 2006. – С. 173–176.

129. Bronzi, P. Present and future sturgeon and caviar production and marketing: a global market overview / P. Bronzi, H. Rosenthal // *Journal of Applied Ichthyology*. – 2014. – Vol. 30, № 6. – P. 1536–1546.
130. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2024*. – Rome : FAO, 2024.
131. New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: a review / C. I. Martins, M. Eding, E. H. Verdegem [et al.] // *Aquacultural Engineering*. – 2010. – Vol. 43, № 3. – P. 83–93.
132. *Recirculating Aquaculture* / M. B. Timmons, J. M. Ebeling. – 3rd ed. – Cayuga Aqua Ventures, 2013.
133. *The Siberian Sturgeon (Acipenser baerii)*. Vol. 2, Farming / P. Williot, G. Nonnotte, M. Chebanov [et al.]. – Springer, 2019.
134. Precision fish farming: a new framework to improve production in aquaculture / M. Fore, K. Frank, T. Norton [et al.] // *Biosystems Engineering*. – 2018. – P. 176–193.
135. Solids management and removal for intensive land-based aquaculture production systems / S. J. Cripps, A. Bergheim // *Aquacultural Engineering*. – 2000. – Vol. 22, № 1–2. – P. 33–56.
136. Waste treatment in recirculating aquaculture systems / J. Van Rijn // *Aquacultural Engineering*. – 2013. – Vol. 53. – P. 49–56.
137. Review of ozone processes in recirculating aquaculture systems / S. T. Summerfelt, J. N. Hochheimer // *Aquacultural Engineering*. – 1997. – Vol. 17, № 3. – P. 173–190.
138. Global sturgeon aquaculture production: an overview / P. Bronzi, H. Rosenthal, J. Gessner // *Journal of Applied Ichthyology*. – 2011. – Vol. 27, № 2. – P. 169–175.
139. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2022*. – Rome : FAO, 2022.
140. *Hatchery Manual for the White Sturgeon Acipenser transmontanus with Application to Other North American Acipenseridae* / F. S. Conte, S. I. Doroshov, P. B. Lutes [et al.]. – University of California Cooperative Extension, 1988.

141. Hung, S. S. Responses of white sturgeon (*Acipenser transmontanus*) to purified diets: growth, metabolic rates and energy budget / S. S. Hung, P. B. Lutes, A. A. Shqueir // *Aquaculture*. – 1987. – Vol. 62, № 3–4. – P. 307–316.
142. Dettlaff, V. A. Sturgeon Fishes: Developmental Biology and Aquaculture / V. A. Dettlaff, A. S. Ginsburg, O. I. Schmalhausen. – Springer, 1993.
143. Hedrick, R. P. An iridovirus infection of the white sturgeon *Acipenser transmontanus* / R. P. Hedrick, J. M. Groff, T. S. McDowell // *Diseases of Aquatic Organisms*. – 1990. – Vol. 8. – P. 85–92.
144. Williot, P. The Siberian Sturgeon (*Acipenser baerii*). Vol. 1, Biology / P. Williot, G. Nonnotte, M. Chebanov. – Springer, 2018.
145. Качественные и натуральные корма для стабильного роста! : официальный сайт. – Станица Брюховецкая. – URL: <https://микс-лайн.рф/catalog/rybovodstvo/osetrovye/> (дата обращения: 28.06.2024).
146. РД 52.24.496-2018. Методика измерений температуры, прозрачности и определение запаха воды. – Утв. Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды 06.06.2018.
147. Лурье, Ю. Ю. Аналитическая химия промышленных сточных вод / Ю. Ю. Лурье. – М. : Химия, 1984. – 447 с.
148. Унифицированные методы исследования качества вод / СЭВ, Совещание руководителей водохозяйственных органов стран-членов СЭВ. – Ч. 1 : Методы химического анализа вод. – Т. 2 : Методы атомно-абсорбционной спектрофотометрии.
149. ГОСТ 18826-73. Вода питьевая. Методы определения содержания нитратов. – 1974. – 6 с.
150. ГОСТ 4245-72. Вода питьевая. Методы определения содержания хлоридов. – 1974. – 6 с.
151. ГОСТ 4389-72. Вода питьевая. Методы определения содержания сульфатов. – 1974. – 9 с.
152. ГОСТ 4192-82. Вода питьевая. Методы определения минеральных азотсодержащих веществ. – 1983. – 7 с.

153. ГОСТ 18309-72. Вода питьевая. Метод определения содержания полифосфатов. – 1974. – 5 с.

154. ГОСТ 4974-72. Вода питьевая. Методы определения содержания марганца. – 1974. – 6 с.

155. ГОСТ 18293-72. Вода питьевая. Методы определения содержания свинца, цинка, серебра. – 1974. – 16 с.

156. ГОСТ 4388-72. Вода питьевая. Методы определения массовой концентрации меди. – 1974. – 8 с.

157. Волкова, А. Ю. Методы рыбохозяйственных исследований: учебное пособие для обучающихся по направлению подготовки бакалавриата и магистратуры «Водные биоресурсы и аквакультура» / А. Ю. Волкова. – Петрозаводск : ПетрГУ, 2021. – 80 с.

158. Правдин, И. Ф. Руководство по изучению рыб / И. Ф. Правдин. – М. : Пищевая промышленность, 1966. – 376 с.

159. ГОСТ 7631-2008. Рыба, нерыбные объекты и продукция из них. Методы определения органолептических и физических показателей. – 2011. – 16 с.

160. ГОСТ 7636-85. Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа. – 1986. – 121 с.

161. ГОСТ 26927-86. Сырьё и продукты пищевые. Методы определения ртути. – 2010. – 14 с.

162. ГОСТ 26930-86. Сырьё и продукты пищевые. Метод определения мышьяка. – 2010. – 8 с.

163. М 04-64-2017. Продукты пищевые и сырьё продовольственное. Корма, комбикорма и сырьё для их производства. Методика измерений массовой доли кадмия, мышьяка, олова, ртути, свинца, хрома методом атомно-абсорбционной спектроскопии с использованием атомно-абсорбционного спектрометра с электротермической атомизацией модификаций МГА-915, МГА-915М, МГА-915МД, МГА-1000. – 2017. – 2 с.

164. Богданов, В. Д. Функционально-технологические свойства дальневосточной краснопёрки и кефали-лобана / В. Д. Богданов, Ф. Б. Волотка // Известия ТИНРО. – 2013. – № 173. – С. 280–292.
165. Гистология для ихтиологов: опыт и советы / Е. В. Микодина, М. А. Седова, Д. А. Чмилевский [и др.]. – М. : Изд-во ВНИРО, 2009. – 112 с.
166. Волков, В. П. Новый алгоритм морфометрической оценки функциональной иммуноморфологии селезёнки / В. П. Волков // Universum : медицина и фармакология. – 2015. – № 18. – С. 5–6.
167. Макеева, А. П. Эмбриология рыб / А. П. Макеева. – М. : Изд-во МГУ, 1992. – 216 с.
168. Плохинский, Н. А. Руководство по биометрии для зоотехников / Н. А. Плохинский. – М. : Колос, 1969. – 256 с.
169. Битюковская, О. Е. Контроль качества и безопасности рыбы и рыбной продукции / О. Е. Битюковская, Н. Ф. Мазалова, О. В. Яковлев. – Керчь, 2022. – 276 с.
170. Голованов, В. К. Температурный оптимум и верхняя температурная граница жизнедеятельности осетровых видов рыб / В. К. Голованов, И. Л. Голованова // Вестник АГТУ. Серия: Рыбное хозяйство. – 2015. – № 3. – С. 110–118.
171. Чебанов, М. С. Руководство по разведению и выращиванию осетровых рыб / М. С. Чебанов, Е. В. Галич, Ю. Н. Чмырь. – Москва, 2004. – 148 с.
172. Привезенцев, Ю. А. Рыбоводство / Ю. А. Привезенцев, В. А. Власов. – М. : Мир, 2004. – 456 с.
173. Чебанов, Н. А. Руководство по искусственному воспроизводству осетровых рыб / Н. А. Чебанов, Е. В. Галич. – Краснодар : АзНИИРХ, 2011.
174. Максимов, Е. А. Биохимические показатели крови осетровых рыб при выращивании в различных бассейнах / Е. А. Максимов, Д. А. Юрин // Сборник научных трудов КНЦЗВ. – 2019. – Т. 8, № 2. – С. 202–207.
175. Биохимические показатели крови гибрида русского и сибирского осетра при использовании комплекса хитозан- β -циклодекстрин с левофлоксацином /

И. В. Поддубная, О. Н. Руднева, О. Н. Гуркина // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии имени В. Р. Филиппова. – 2023. – № 1 (70). – С. 42–50.

176. Плотников, Г. К. Основы ихтиологии. Сборник классических методов ихтиологических исследований для использования в аквакультуре / Г. К. Плотников, Т. Ю. Пескова, А. Шкуте [и др.]. – Даугавпилс : Академическое издательство Даугавпилсского университета «Сауле», 2018. – 253 с.

177. Кравченко, А. С. Оценка физико-химических показателей воды в установке замкнутого водоснабжения / А. С. Кравченко, И. А. Ладыш // Аграрная наука в обеспечении продовольственной безопасности и развитии сельских территорий : сборник материалов V международной научно-практической конференции, Луганск, 25 января – 08 февраля 2024 года. – Луганск : Луганский государственный аграрный университет им. К. Е. Ворошилова, 2024. – С. 62–64.

178. Ладыш, И. А. Представители семейства осетровых — хорошо адаптированные к условиям выращивания в установках замкнутого водоснабжения / И. А. Ладыш, А. С. Кравченко // Аграрная наука в обеспечении продовольственной безопасности и развитии сельских территорий : сборник материалов IV международной научно-практической конференции, Луганск, 17 января – 08 февраля 2023 года. – Луганск : Луганский государственный аграрный университет им. К. Е. Ворошилова, 2023. – С. 230–232.

179. Кравченко, А. С. Оценка физико-химических показателей воды и мяса осетровых, выращенных в установке замкнутого водоснабжения / А. С. Кравченко, И. А. Ладыш, И. А. Дубовик // Актуальные проблемы биоразнообразия и природопользования : сборник трудов по материалам III Национальной научно-практической конференции, Керчь, 14–15 мая 2024 года. – Керчь : ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», 2024. – С. 189–197.

180. Кравченко, А. С. Характеристика морфометрических и морфофизиологических показателей осетровых, выращенных в условиях замкнутого водоснабжения / А. С. Кравченко, И. А. Ладыш // Научный вестник

Луганского государственного аграрного университета. – 2023. – № 3–4 (20–21). – С. 41–46.

181. Кравченко, А. С. Рыбоводно-биологические показатели осетровых, выращенных в условиях УЗВ / А. С. Кравченко, И. А. Ладыш // Интеграция образования, науки и практики в АПК: проблемы и перспективы : сборник материалов III международной научно-практической конференции, Луганск, 23–24 ноября 2023 года. – Луганск : Луганский государственный аграрный университет им. К. Е. Ворошилова, 2023. – С. 197–198.

182. Кравченко, А. С. Динамика гидрохимических показателей воды в УЗВ, как фактор, определяющий пищевую ценность мяса бестера / А. С. Кравченко, И. А. Ладыш // Пермский аграрный вестник. – 2025. – № 4 (52). – С. 98–103.

183. Ладыш, И. А. Гематологические показатели осетровых рыб, выращенных в условиях аквакультуры / И. А. Ладыш, А. С. Кравченко, В. Н. Бублик // Вестник аграрной науки. – 2024. – № 6 (111). – С. 69–74.

184. Гистологическая характеристика селезёнки осетровых, выращенных в установке замкнутого водоснабжения / А. С. Кравченко, И. А. Ладыш, С. А. Кащенко, В. И. Лузин // Морфологический альманах имени В. Г. Ковешникова. – 2023. – Т. 21, № 3. – С. 47–51.

185. Кравченко, А. С. Гистологическая характеристика белой пульпы селезёнки осетровых рыб, выращенных в условиях аквакультуры / А. С. Кравченко // Морфологический альманах имени В. Г. Ковешникова. – 2025. – Т. 23, № 2. – С. 74–76.

186. Кравченко, А. С. Морфологическая характеристика гонад осетровых, выращенных в установках замкнутого водоснабжения / А. С. Кравченко, И. А. Ладыш, С. А. Кащенко // Морфологический альманах имени В. Г. Ковешникова. – 2023. – Т. 21, № 4. – С. 37–42.

187. Кравченко, А. С. Сравнительная характеристика половых желез осетровых рыб, выращиваемых в установках замкнутого водоснабжения / А. С. Кравченко // Innovations and Tendencies of State-of-Art Science : proceedings of

the LI International Multidisciplinary Conference. – Rotterdam : Mijnbestseller Nederland, 2025. – С. 29–32.

188. Кравченко, А. С. Особенности гистологического строения печени осетровых в искусственно созданных условиях выращивания в установках замкнутого водоснабжения / А. С. Кравченко, И. А. Ладыш // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2025. – № 3 (71). – С. 190–196.

189. Кравченко, А. С. Сравнительная характеристика печени представителей осетровых, выращенных в установках замкнутого водоснабжения / А. С. Кравченко, И. А. Ладыш // Аграрная наука в обеспечении продовольственной безопасности и развитии сельских территорий : сборник материалов VI международной научно-практической конференции, Луганск, 21 января – 06 февраля 2025 года. – Луганск : ФГБОУ ВО «Луганский государственный аграрный университет имени К. Е. Ворошилова», 2025. – С. 93–94.

190. Кравченко, А. С. Влияние гидрохимических на биохимические показатели крови у осетровых / А. С. Кравченко // Актуальные вопросы развития научных исследований в АПК : теоретический и практический взгляд : материалы II Всероссийской научно-практической конференции, посвящённой 185-летию ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет», Персиановский, 23 сентября 2025 года. – Персиановский : Донской государственный аграрный университет, 2025. – С. 184–189.

191. Кравченко, А. С. Органолептическая оценка качества мяса гибридов осетровых рыб, выращенных на разных кормах / А. С. Кравченко // Научный вестник Луганского государственного аграрного университета. – Луганск: ФГБОУ ВО ЛГАУ. – 2026. - № 1 – 2. – С. 69 – 72.

ПРИЛОЖЕНИЯ

«УТВЕРЖДАЮ»



Первый проректор ФГБОУ ВО
Луганский ГАУ

С. И. Гнатюк С. И. Гнатюк

06 2026 г.

АКТ

о внедрении в учебный процесс результатов исследований по теме диссертационной работы А.С. Кравченко – соискателя ученой степени кафедры экологии и природопользования факультета пищевых технологий ФГБОУ ВО Луганского ГАУ

Основные результаты научно-квалификационной работы на тему «Изучение особенностей формирования продуктивных качеств осетровых рыб в условиях различных технологий» оформлены в виде реферативного материала, который используется в лекционном курсе и при проведении практических занятий по дисциплинам бакалавриата: «Морфология животных», «Зоогигиена», «Биология», «Зоология» а также при написании курсовых и выпускных квалификационных работ по направлению подготовки «Зоотехния» на биолого-технологическом факультете ФГБОУ ВО Луганский ГАУ.

Акт обсужден и одобрен на заседании кафедры биологии животных (протокол №12 от 25 июня 2026 г.).

Заведующий кафедрой
кандидат биологических наук
доцент



А.А. Кретов

Секретарь кафедры

Т.В. Новиченко



Подпись *Кретов А.А.*
Новиченко Т.В.
Подтверждаю: *Висоцкая С.С.*
Нач. отдела кадров
« 25 » 2026 г.



«УТВЕРЖДАЮ»

Первый проректор ФГБОУ ВО ЛГАУ

С. И. Гнатюк

05 2026 г.

АКТ

о внедрении в учебный процесс результатов исследований по теме диссертационной работы А.С. Кравченко – соискателя ученой степени кандидата наук кафедры экологии и природопользования факультета пищевых технологий ФГБОУ ВО Луганского ГАУ

Соискателем ученой степени кандидата наук – А.С. Кравченко, под руководством доктора сельскохозяйственных наук, профессора И.А. Ладыш в период с 2021 по 2025 годы была подготовлена диссертационная работа на тему «Изучение особенностей формирования продуктивных качеств осетровых рыб в условиях различных технологий» в рамках научной тематики кафедры «Пути повышения эффективности использования природно-ресурсного и научно-технического потенциала в обеспечении экологической безопасности и развитии народно-хозяйственного комплекса региона», № Госрегистрации в ЕГИСУ НИОКТР 124062500032-1.

Основные результаты научно-исследовательской работы оформлены в виде практических рекомендаций, которые используются в лекционном курсе и при проведении практических занятий по дисциплинам бакалавриата: «Учение о гидросфере», «Организм и среда», «Современные экологические проблемы», а также при написании курсовых и выпускных квалификационных работ по направлению подготовки «Экология и природопользование» на факультете пищевых технологий ФГБОУ ВО Луганский ГАУ.

Акт обсужден и одобрен на заседании кафедры экологии и природопользования (протокол №11 от 18 мая 2026 г.).

Заведующий кафедрой,
профессор

И.А. Ладыш

Секретарь кафедры

Л.Л. Корсун



Подпись: Ладыш И.А.
Корсун Л.Л.
Подтверждаю: Власовская С.С.
Мач. отдела кадров
« 19 » 2026 г.



«Утверждено»

Проректор по научной работе
ФГБОУ ВО Луганский ГАУ

А.В. Худолей

«5» июня 2026 г.



«Согласовано»

Руководитель КФХ «Нептун»

Д.В. Шарипов

«5» июня 2026 г.

АКТ

о внедрении завершенных научных разработок
в сельскохозяйственное производство

1. Наименование НИР: «Изучение особенностей формирования продуктивных качеств осетровых рыб в условиях различных технологий».
2. Наименование организации, которая рекомендует внедрение научно-исследовательской работы и ее разработчик: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Луганский государственный аграрный университет» имени К.Е. Ворошилова, соискатель учёной степени кандидата наук Кравченко Александр Сергеевич.
3. Сущность внедряемой разработки. Предложена и апробирована эффективная технология выращивания осетровых в условиях УВЗ на предприятии Луганской Народной Республики, адаптированная к выращиванию осетровых рыб для получения рыбной продукции высокого качества с рентабельностью 40-66% на основе новых факториальных алгоритмов для выбора технологических схем выращивания рыбы с использованием аквапоники в условиях замкнутого водообеспечения.
4. Наименование хозяйства и его юридический адрес. Крестьянское фермерское хозяйство «Нептун», 291015, Луганская Народная Республика, г.о. город Луганск, г. Луганск, квартал Степной, д.7, кв.17.
5. Руководитель НИР от организации разработчика. И.А. Ладыш – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой экологии и природопользования ФГБОУ ВО Луганский ГАУ.
6. Экономический эффект от внедрения. Получение дополнительной прибыли более 40%.
7. Ответственные за внедрение.

Руководитель КФХ «Нептун»

Д.В. Шарипов

Доктор сельскохозяйственных наук,
профессор

И.А. Ладыш

Соискатель ученой степени
кандидата наук

А.С. Кравченко

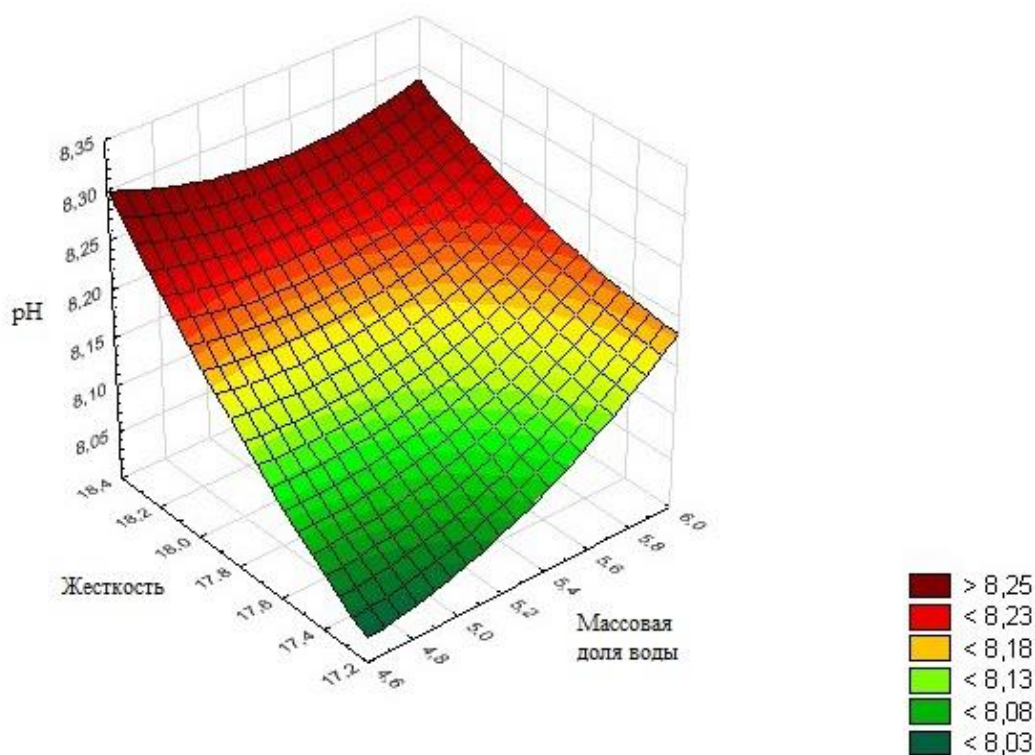


Рисунок 1 – Корреляционная взаимосвязь между массовой долей воды бестера и содержанием в воде рН и жесткости.

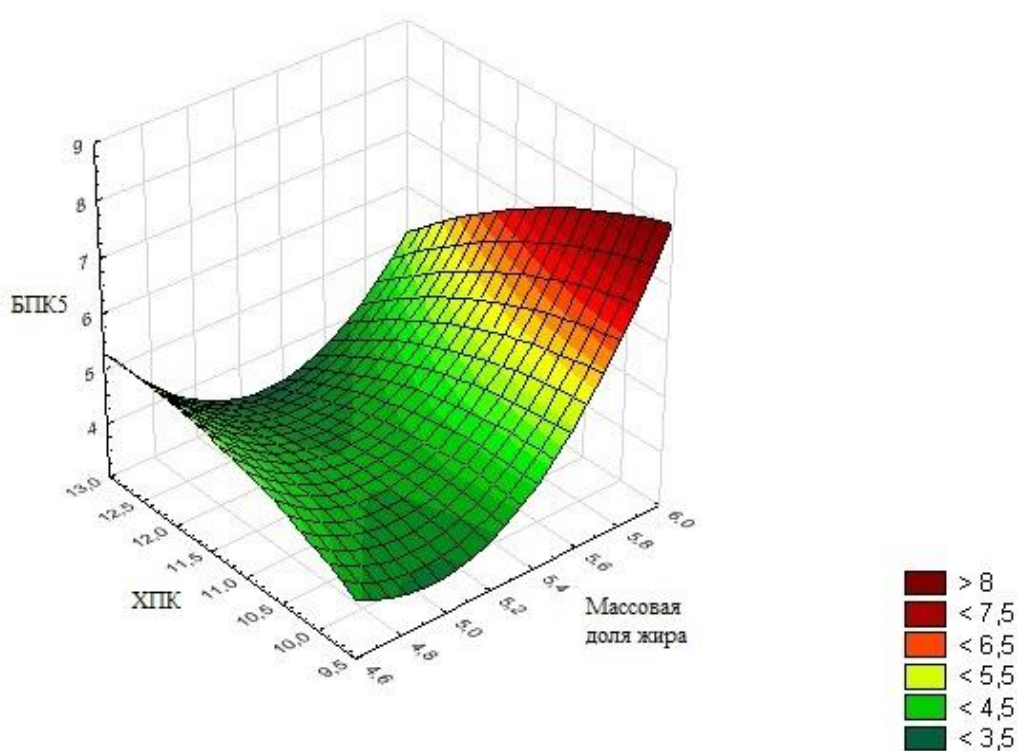


Рисунок 2 – Корреляционная взаимосвязь между массовой долей жира бестера и показаниями в воде BPK₅ и ХПК.

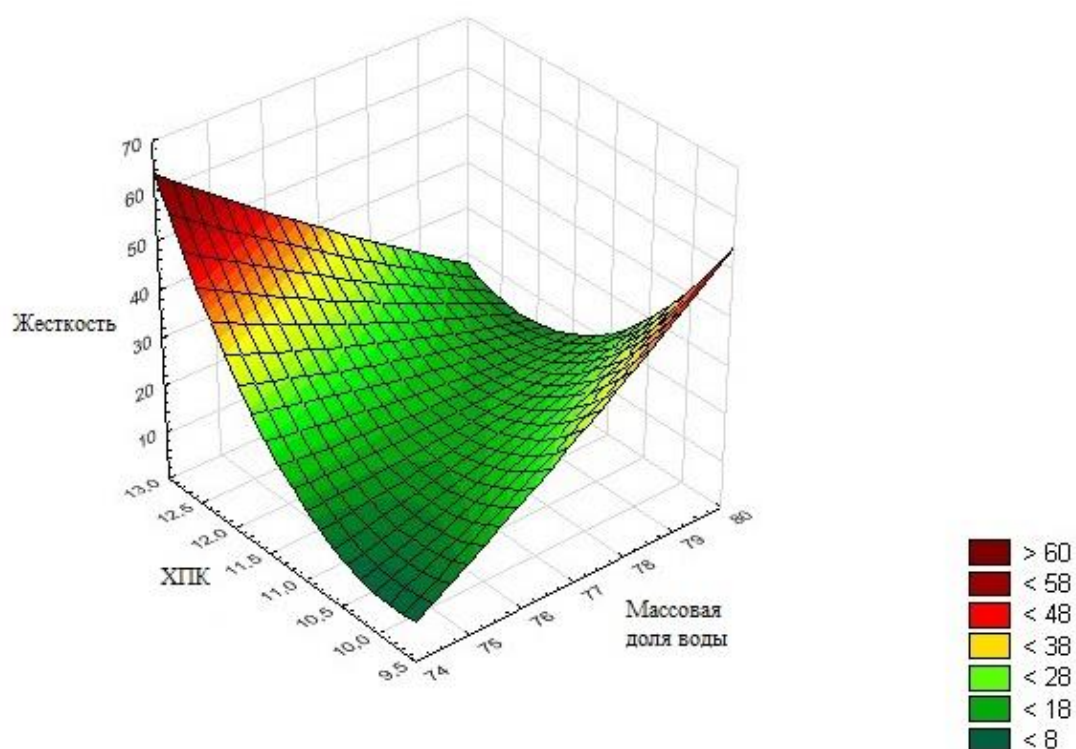


Рисунок 3 – Корреляционная взаимосвязь между массовой долей воды бестера и содержанием в воде ХПК и жесткости.

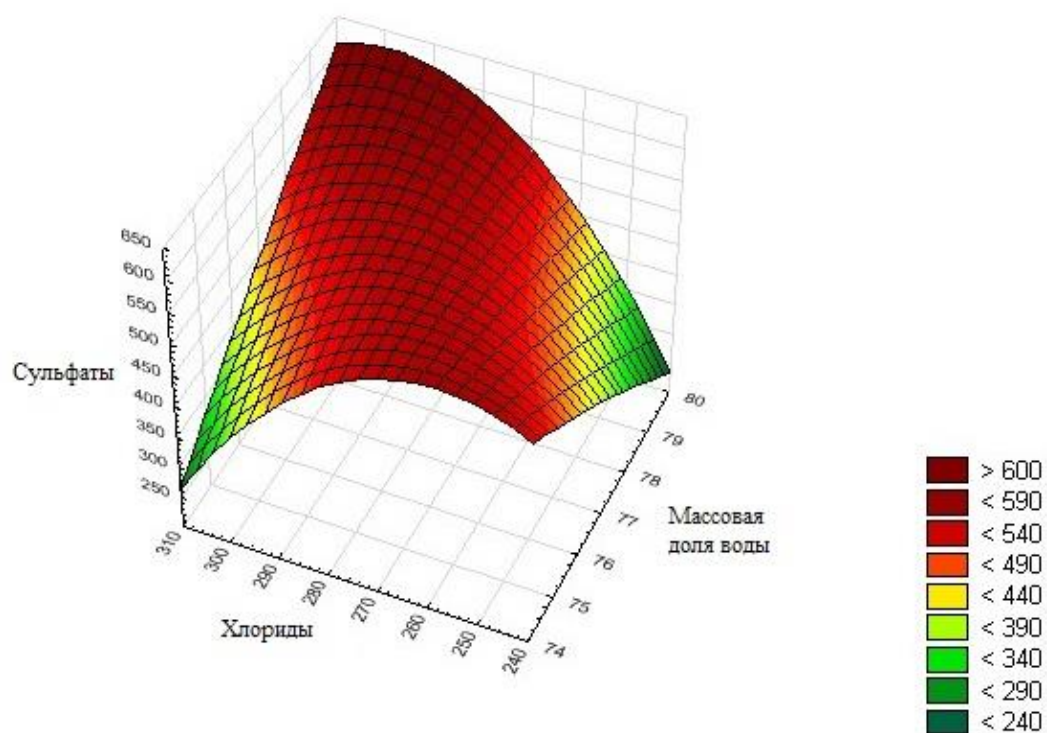


Рисунок 4 – Корреляционная взаимосвязь между массовой долей воды бестера и содержанием в воде хлоридов и сульфатов.

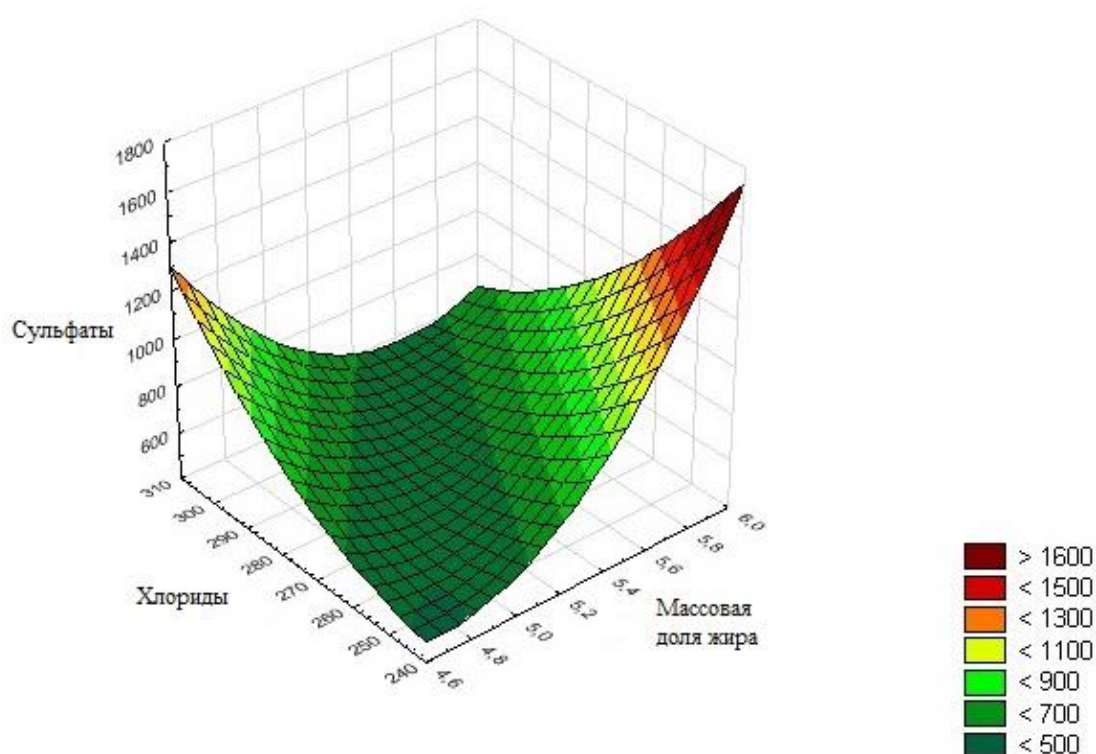


Рисунок 5 – Корреляционная взаимосвязь между массовой долей жира бестера и содержанием в воде хлоридов и сульфатов.

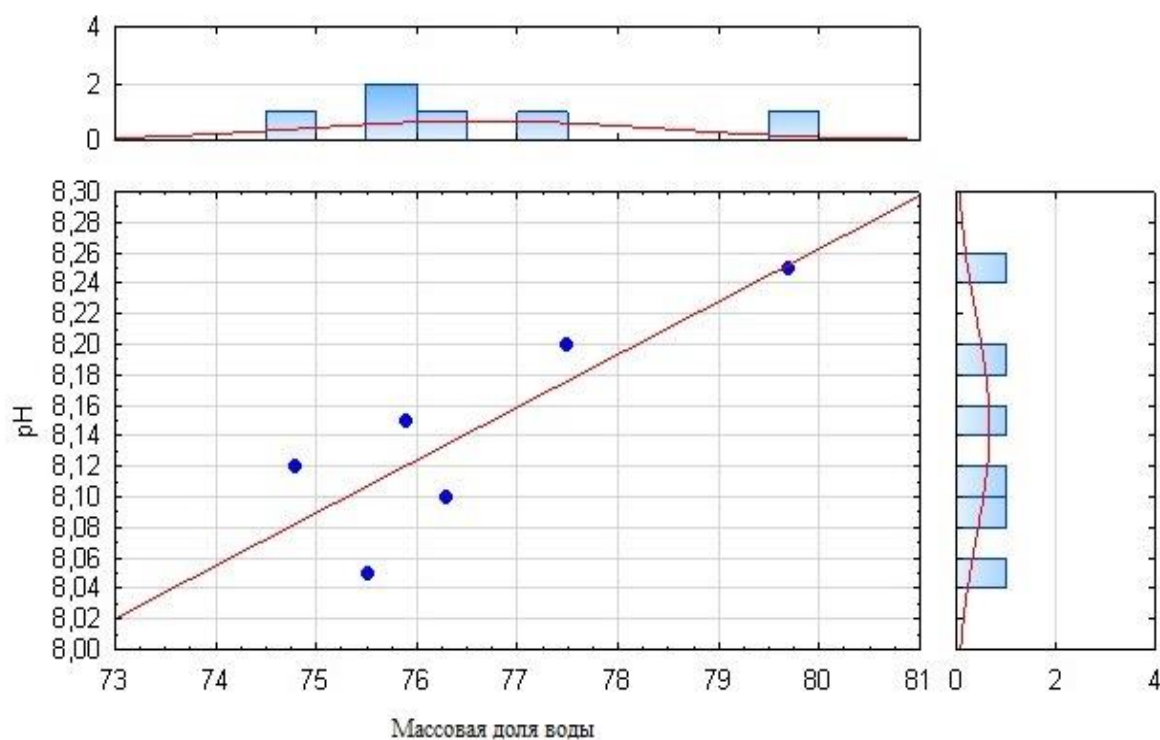


Рисунок 6 – Корреляционная взаимосвязь между массовой долей воды бестера и значением pH в воде.

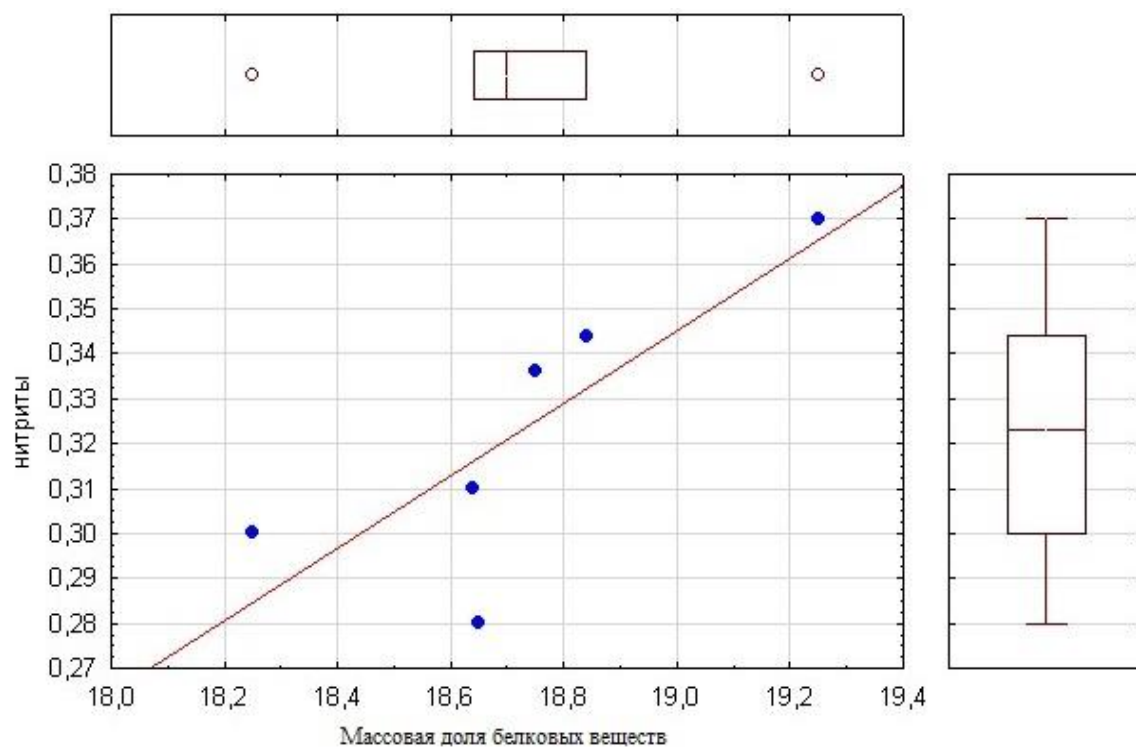


Рисунок 7 – Корреляционная взаимосвязь между массовой долей белковых веществ бестера и содержанием нитритов в воде.

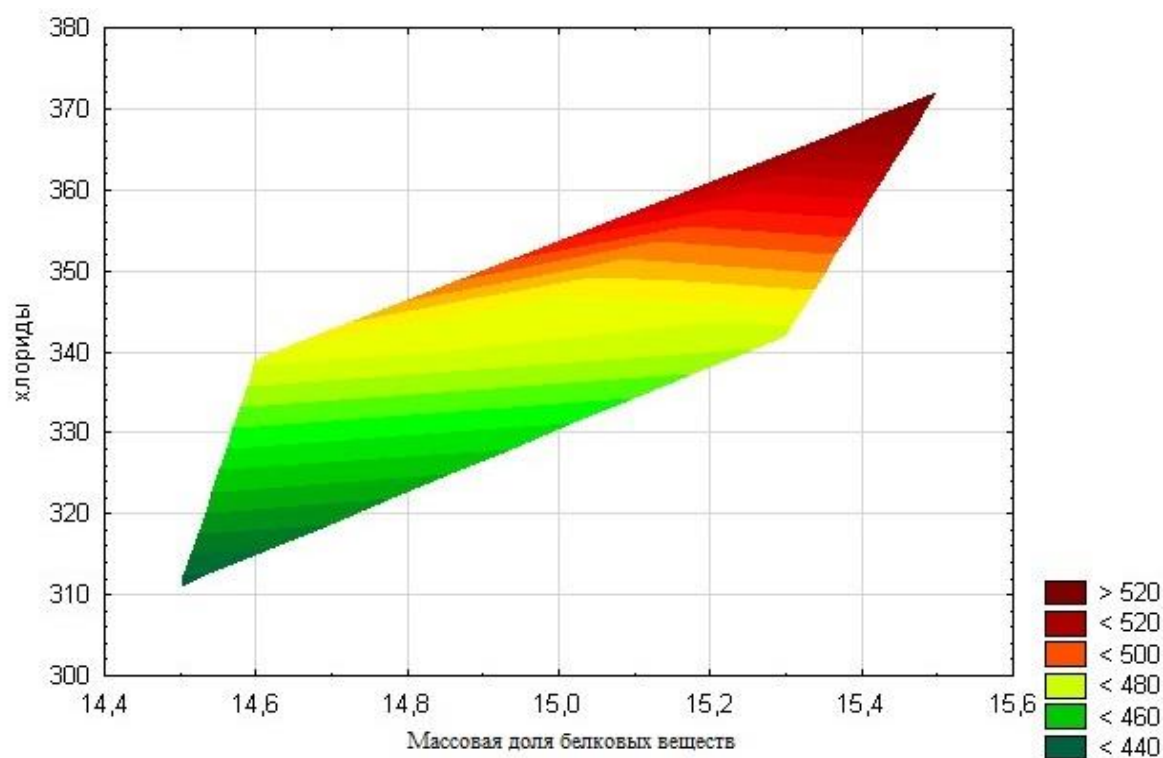


Рисунок 8 – Корреляционная взаимосвязь между массовой долей белковых веществ бестера и содержанием в воде хлоридов и сульфатов.

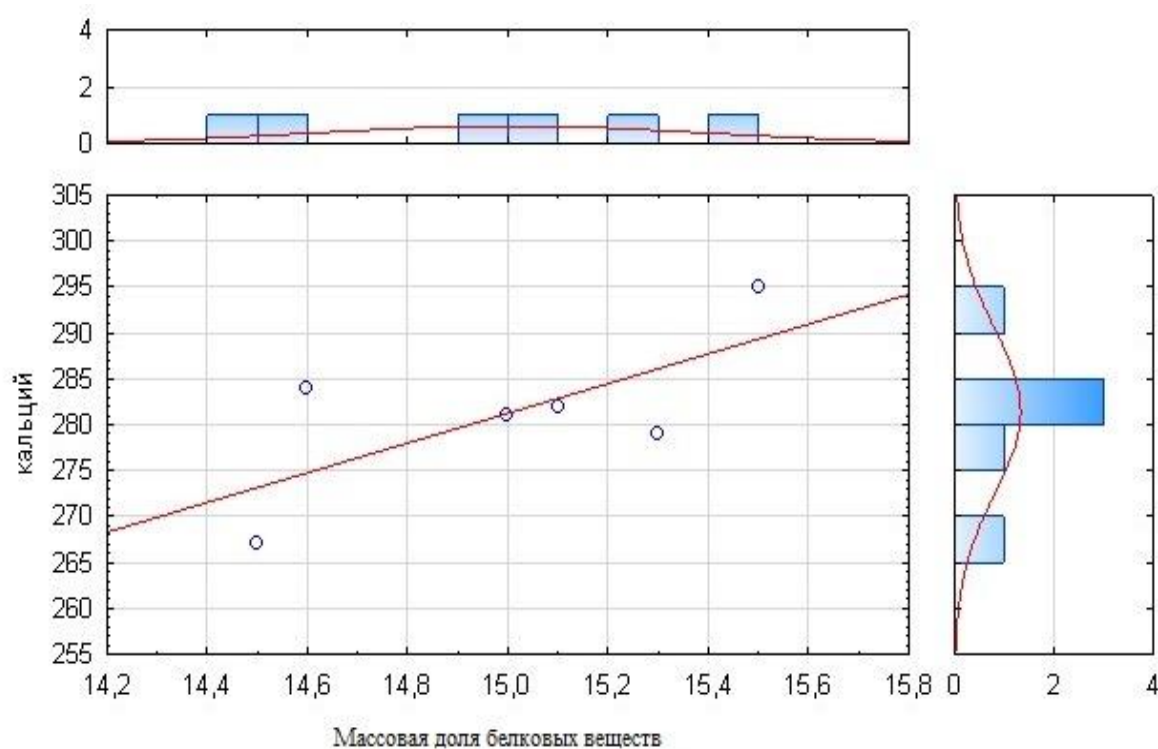


Рисунок 9 – Корреляционная взаимосвязь между массовой долей белковых веществ бестера и содержанием в воде кальция.

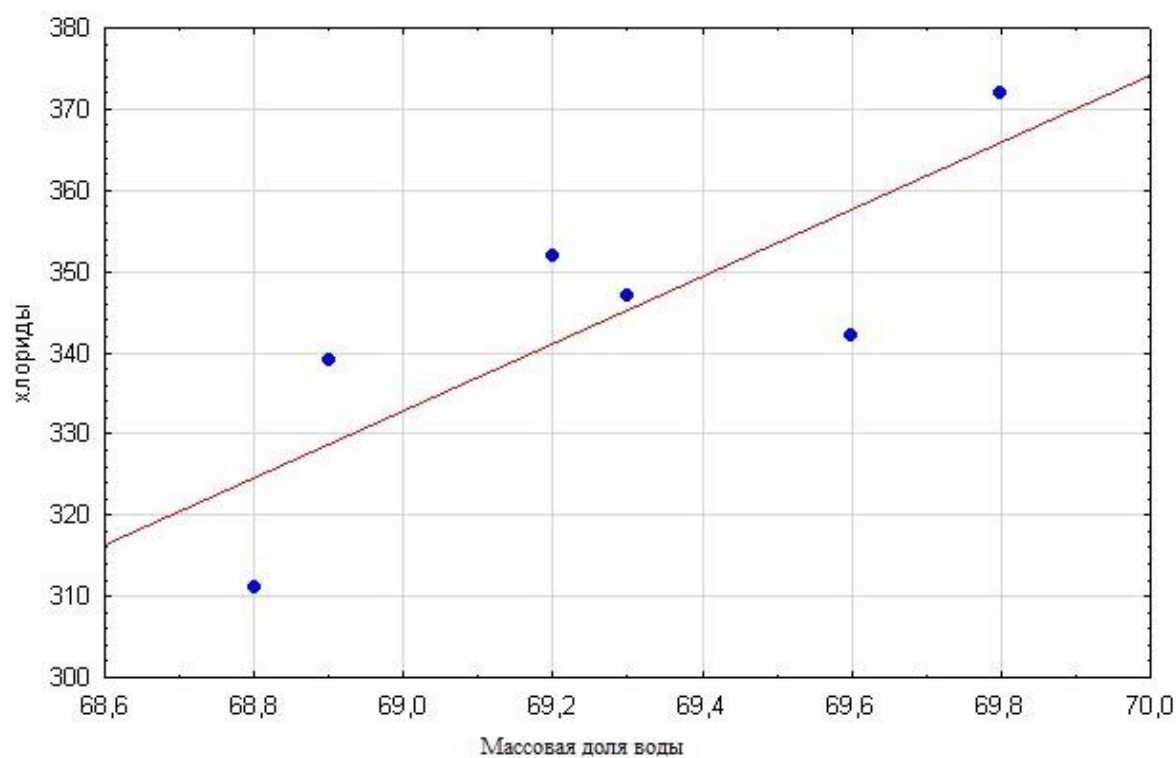


Рисунок 10 – Корреляционная взаимосвязь между массовой долей воды бестера и содержанием в воде хлоридов.

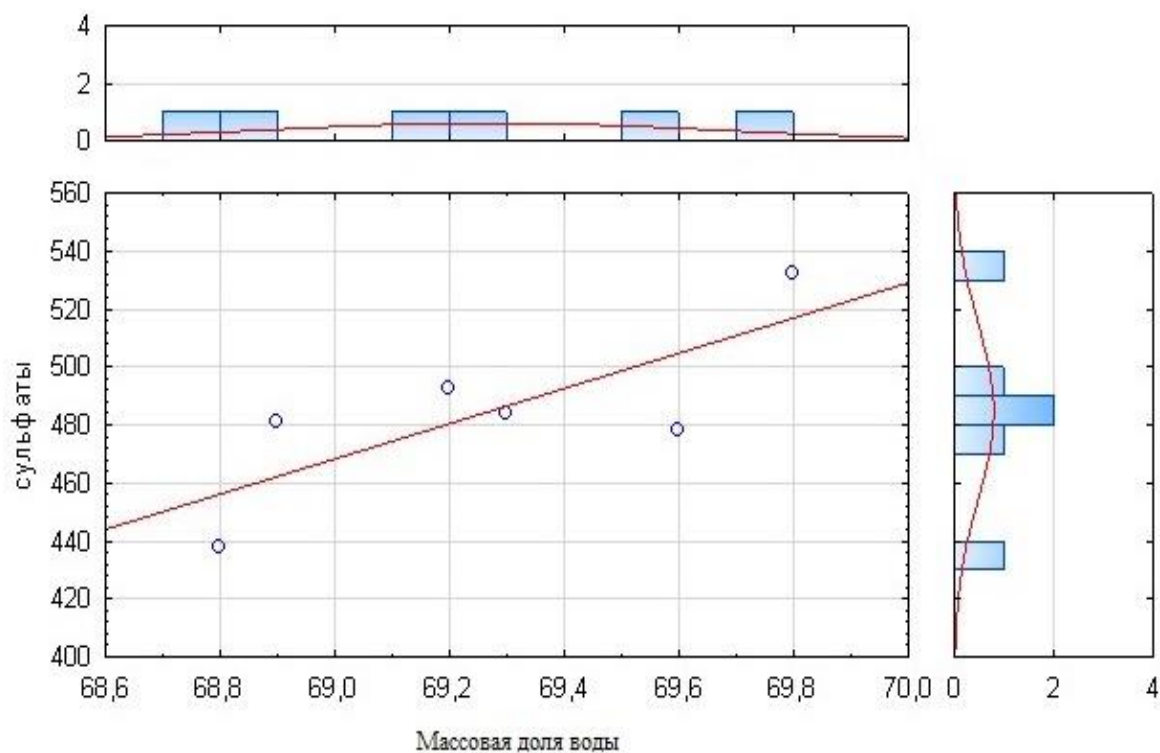


Рисунок 11 – Корреляционная взаимосвязь между массовой долей воды бестера и содержанием в воде сульфатов.

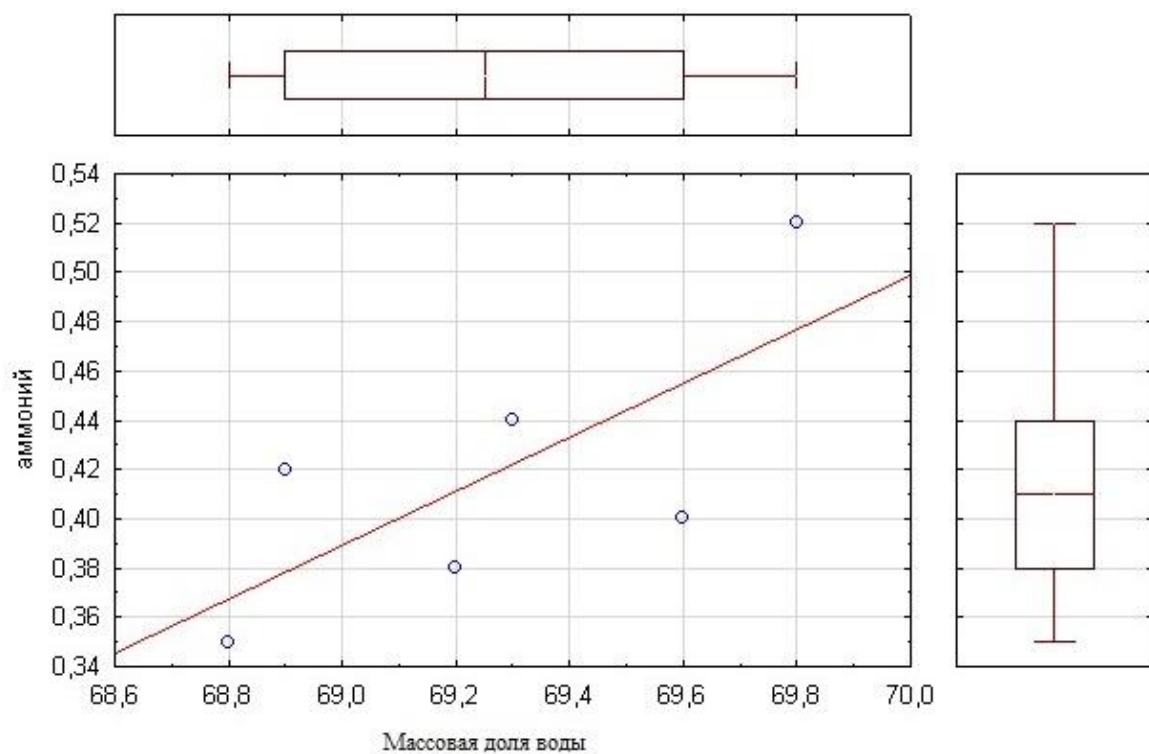


Рисунок 12 – Корреляционная взаимосвязь между массовой долей воды бестера и содержанием в воде аммония.

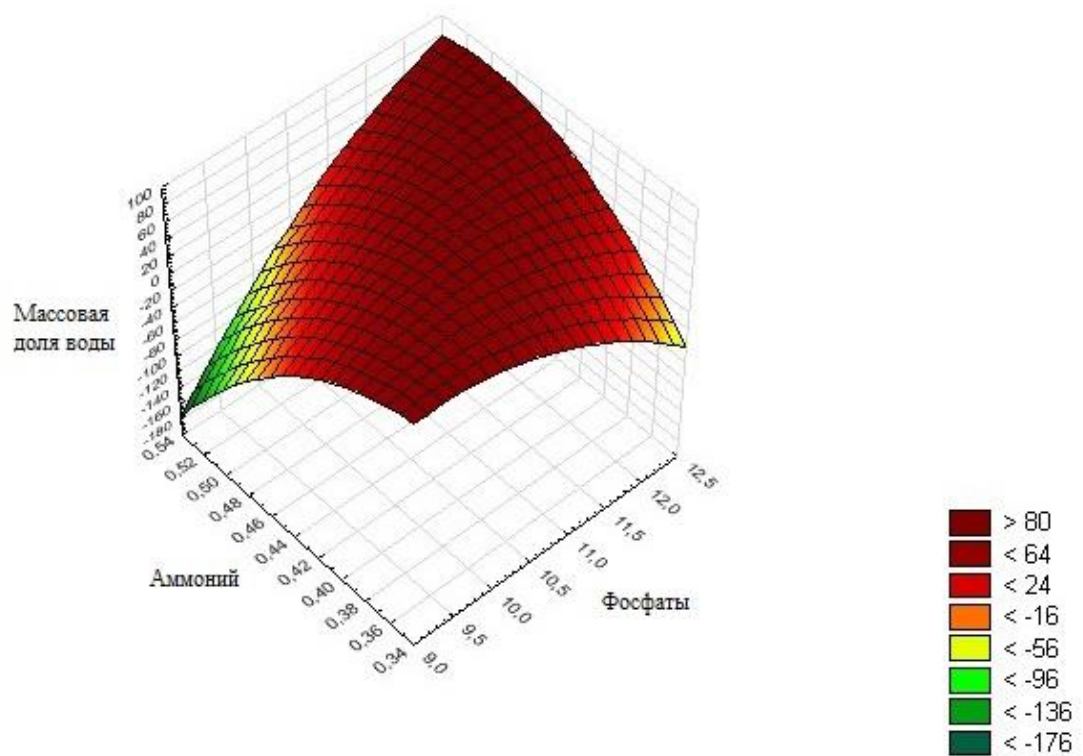


Рисунок 13 – Корреляционная взаимосвязь между массовой долей воды стерляди и содержанием в воде аммония и фосфатов.

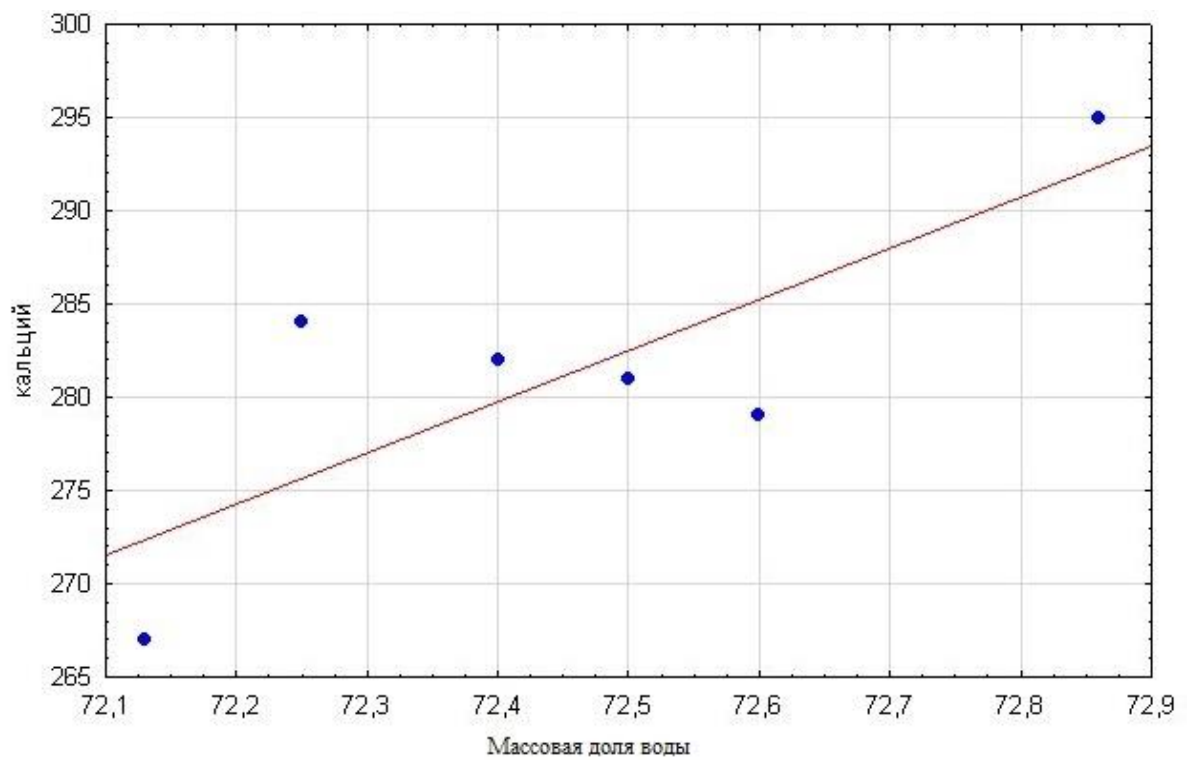


Рисунок 14 – Корреляционная взаимосвязь между массовой долей воды стерляди и содержанием в воде кальция.

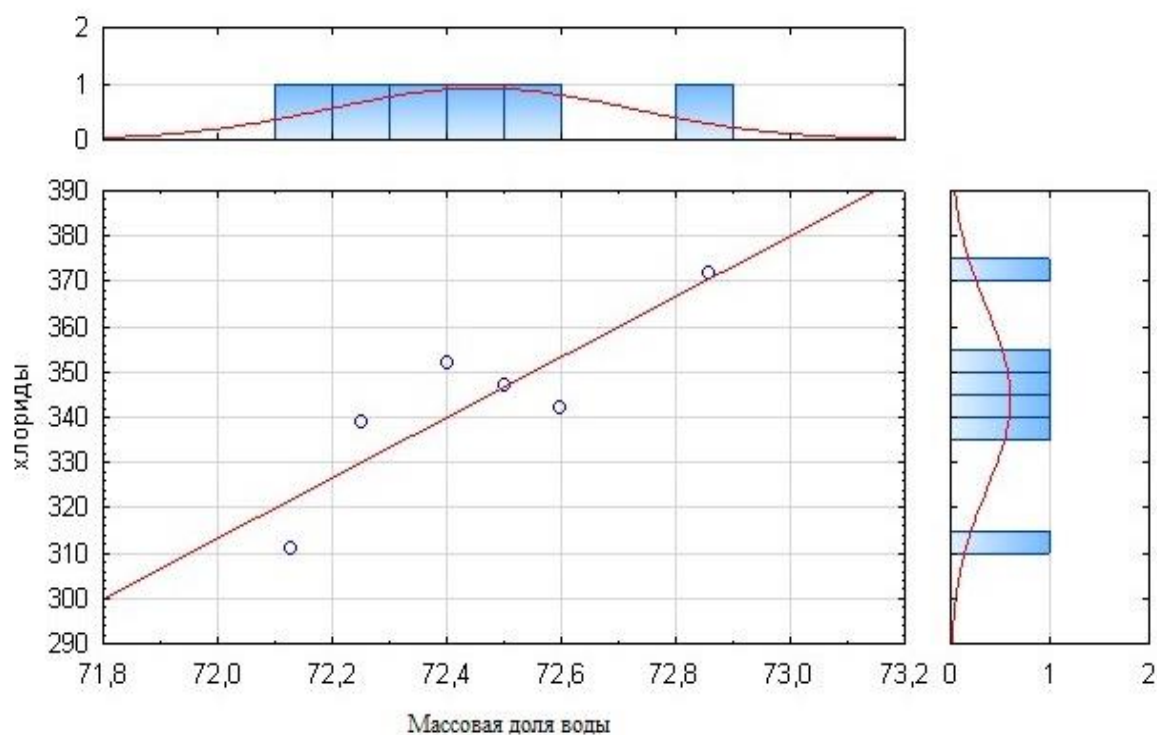


Рисунок 15 – Корреляционная взаимосвязь между массовой долей воды стерляди и содержанием в воде хлоридов.

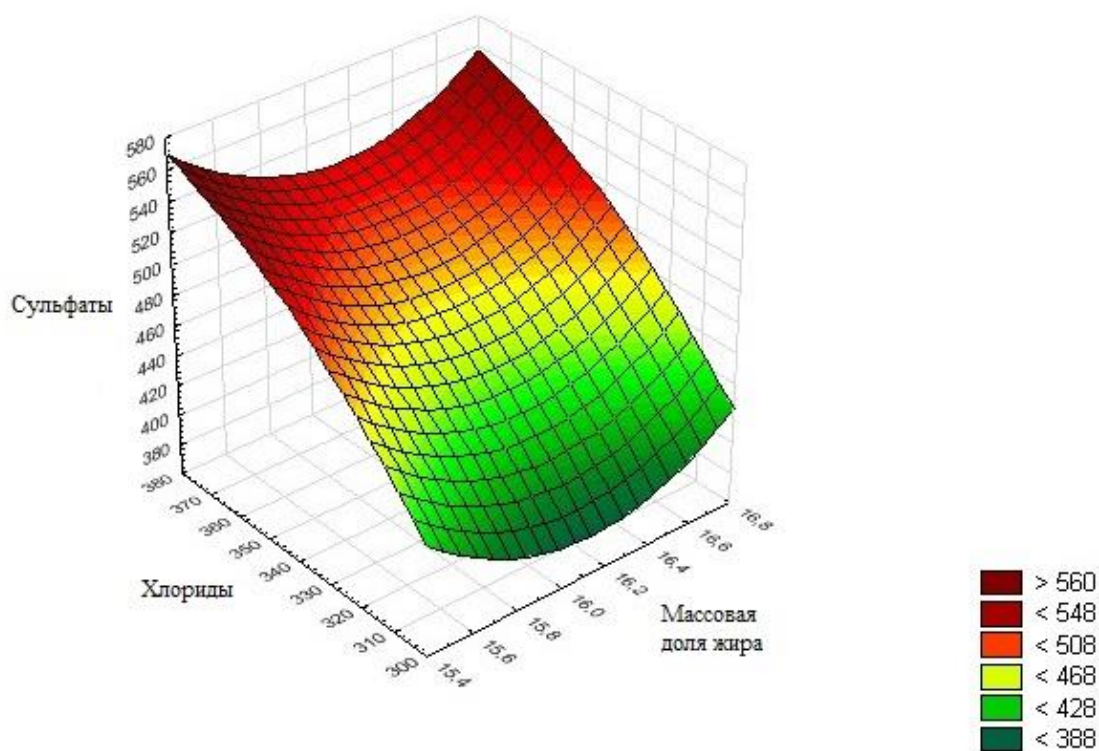


Рисунок 16 – Корреляционная взаимосвязь между массовой долей жира бестера и содержанием в воде хлоридов и сульфатов.

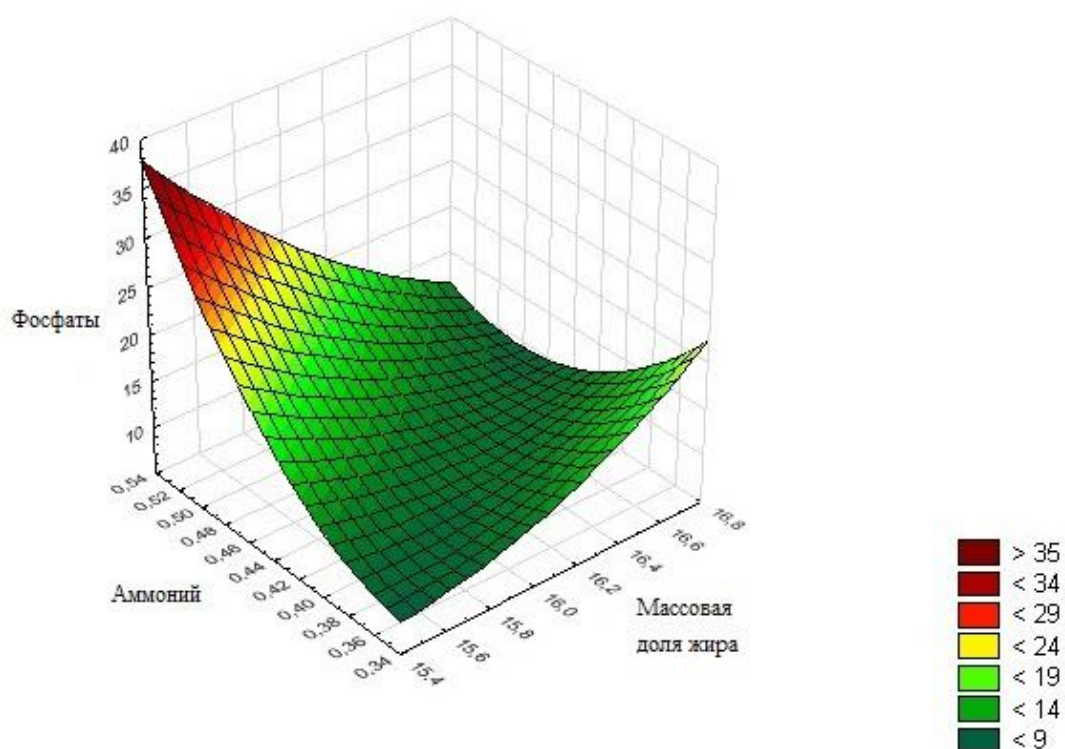


Рисунок 17 – Корреляционная взаимосвязь между массовой долей жира бестера и содержанием в воде аммония и фосфатов.

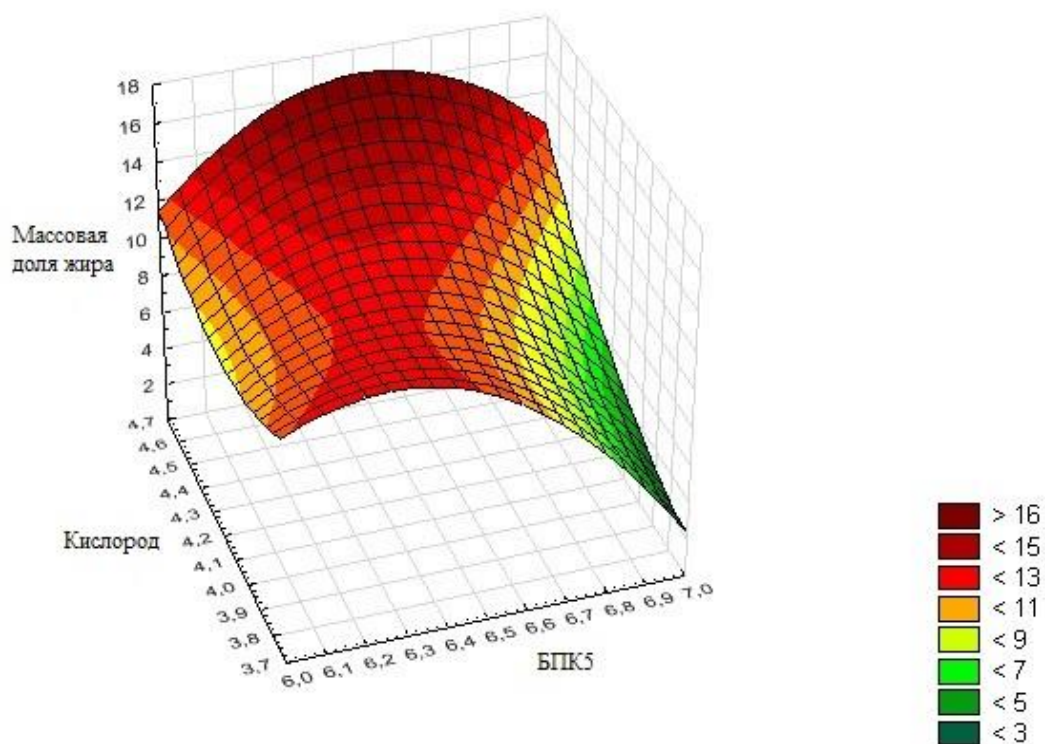


Рисунок 18 – Корреляционная взаимосвязь между массовой долей жира стерляди и содержанием в воде кислорода и БПК₅.

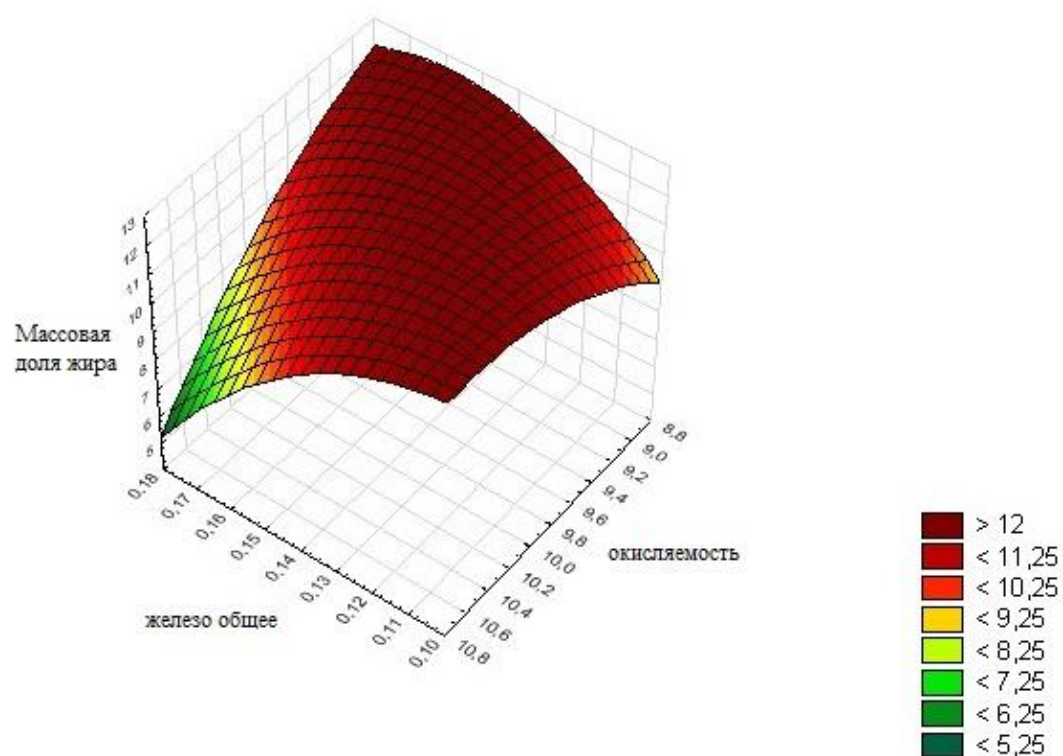


Рисунок 19 – Корреляционная взаимосвязь между массовой долей жира стерляди и содержанием в воде общего железа и окисляемости.

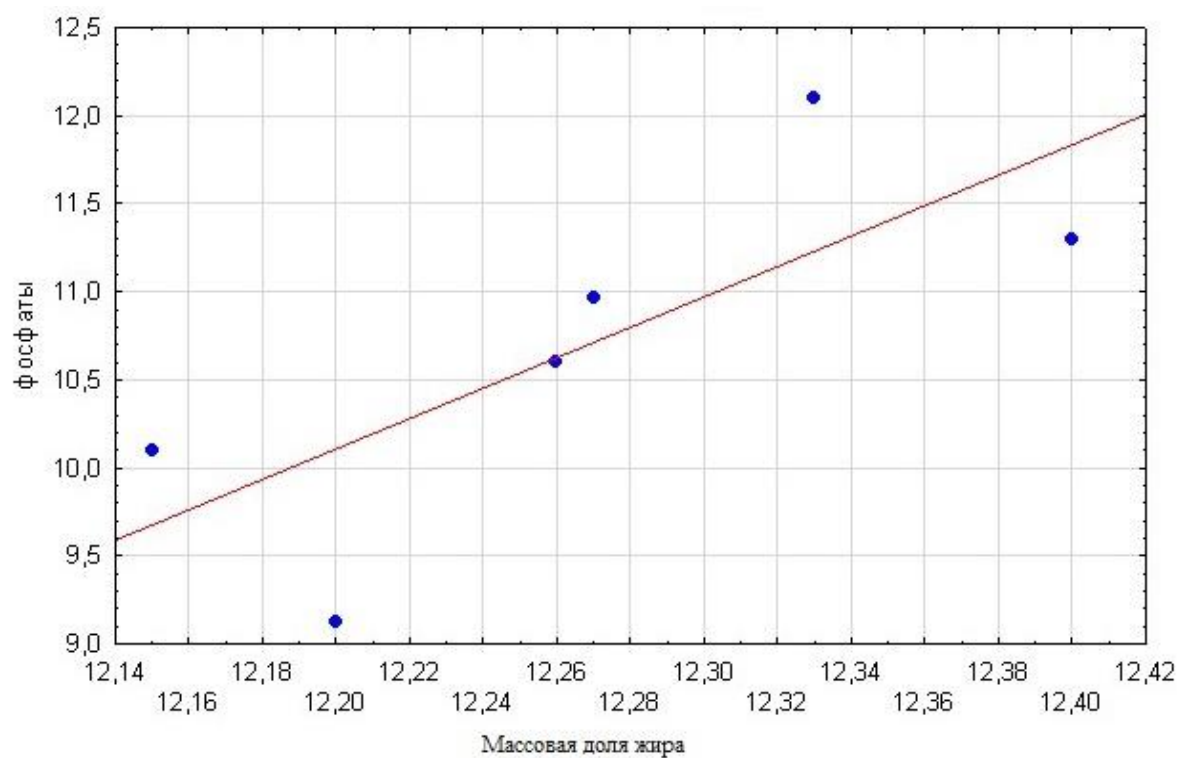


Рисунок 20 – Корреляционная взаимосвязь между массовой долей жира стерляди и содержанием в воде фосфатов.

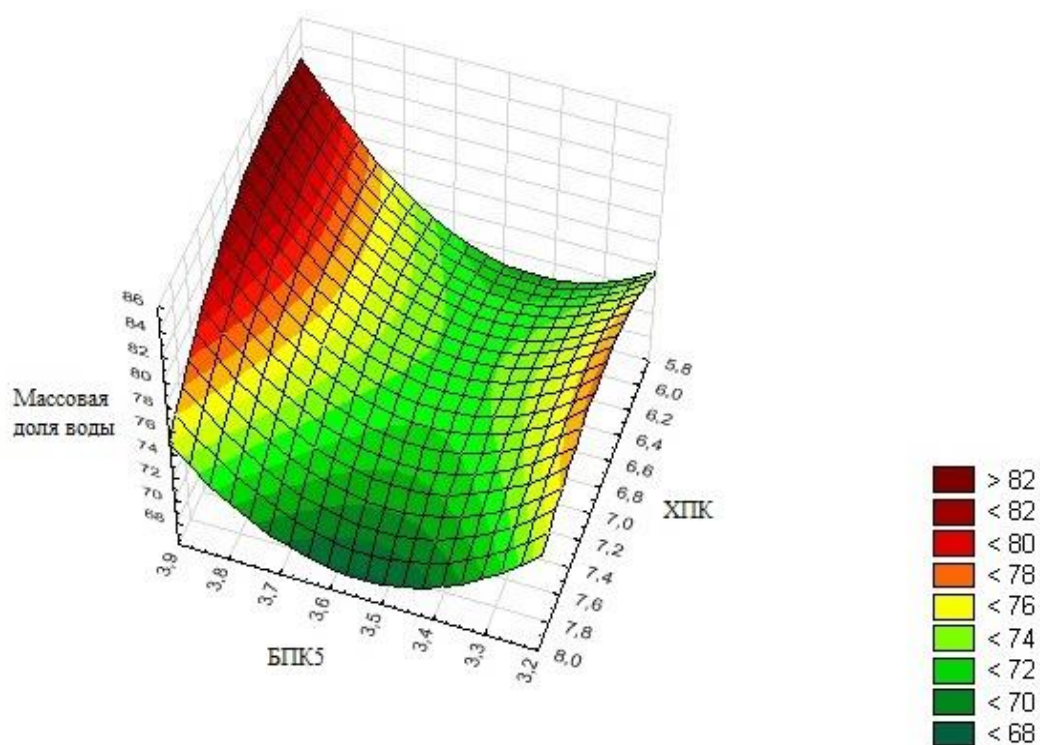


Рисунок 21 – Корреляционная взаимосвязь между массовой долей воды бестера и показателями BPK₅ и ХПК.

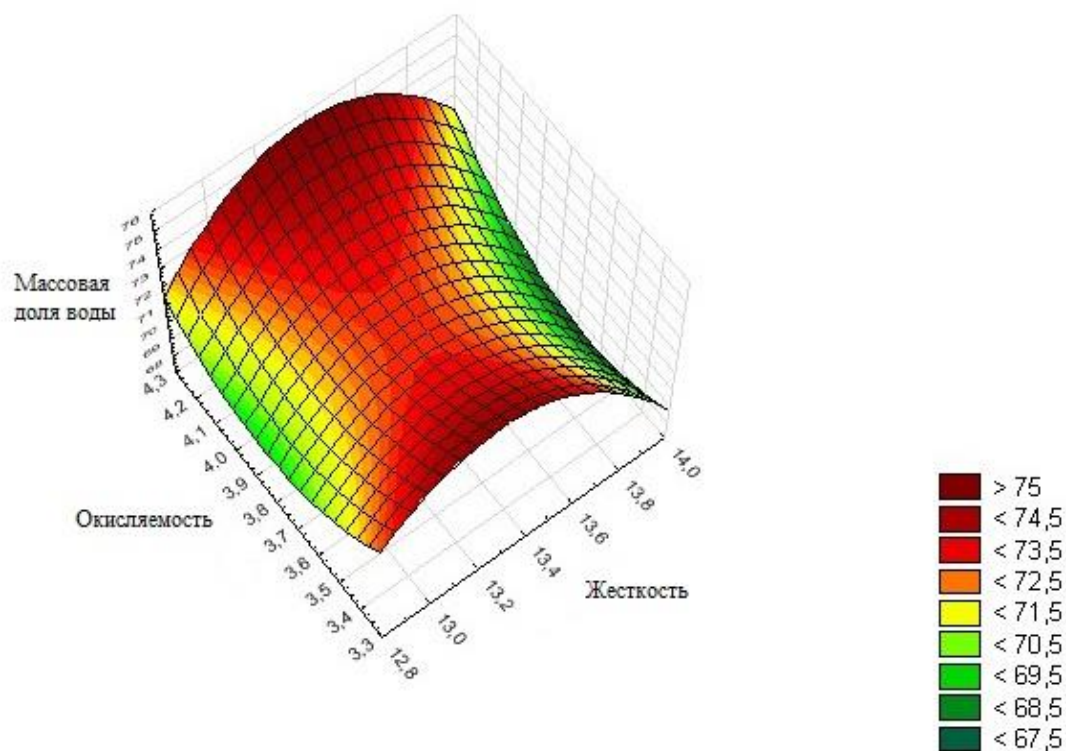


Рисунок 22 – Корреляционная взаимосвязь между массовой долей воды бестера и жесткостью и окисляемостью воды.

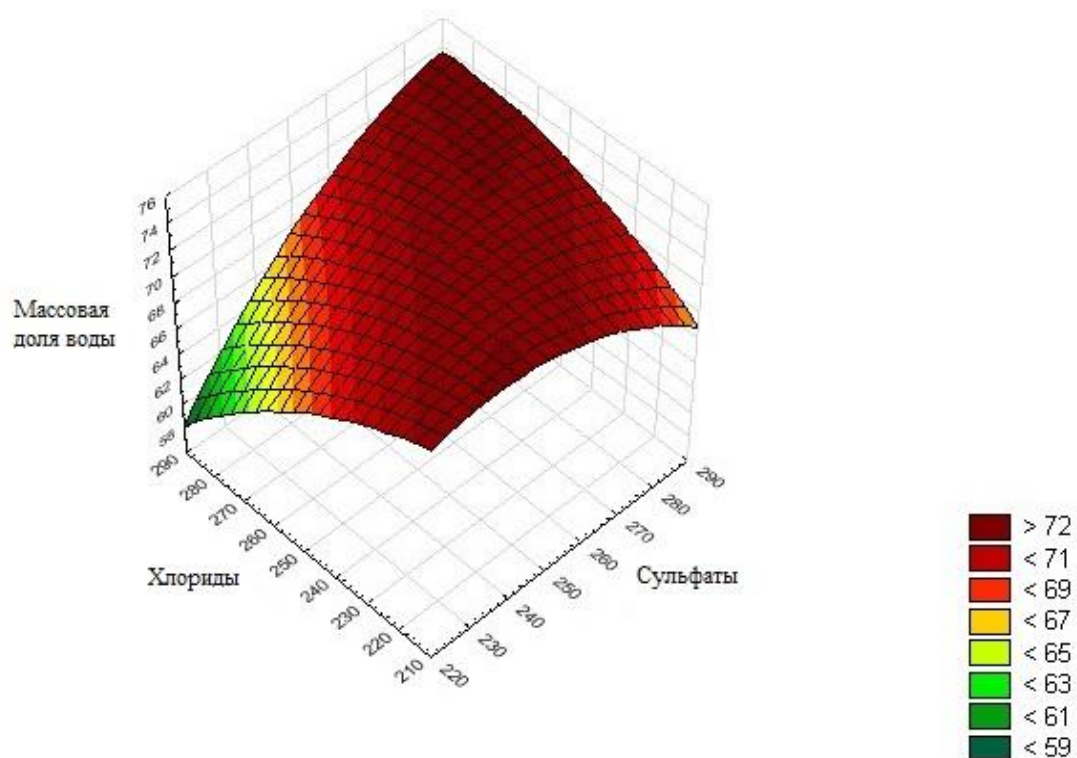


Рисунок 23 – Корреляционная взаимосвязь между массовой долей воды бестера и содержанием хлоридов и сульфатов в воде.

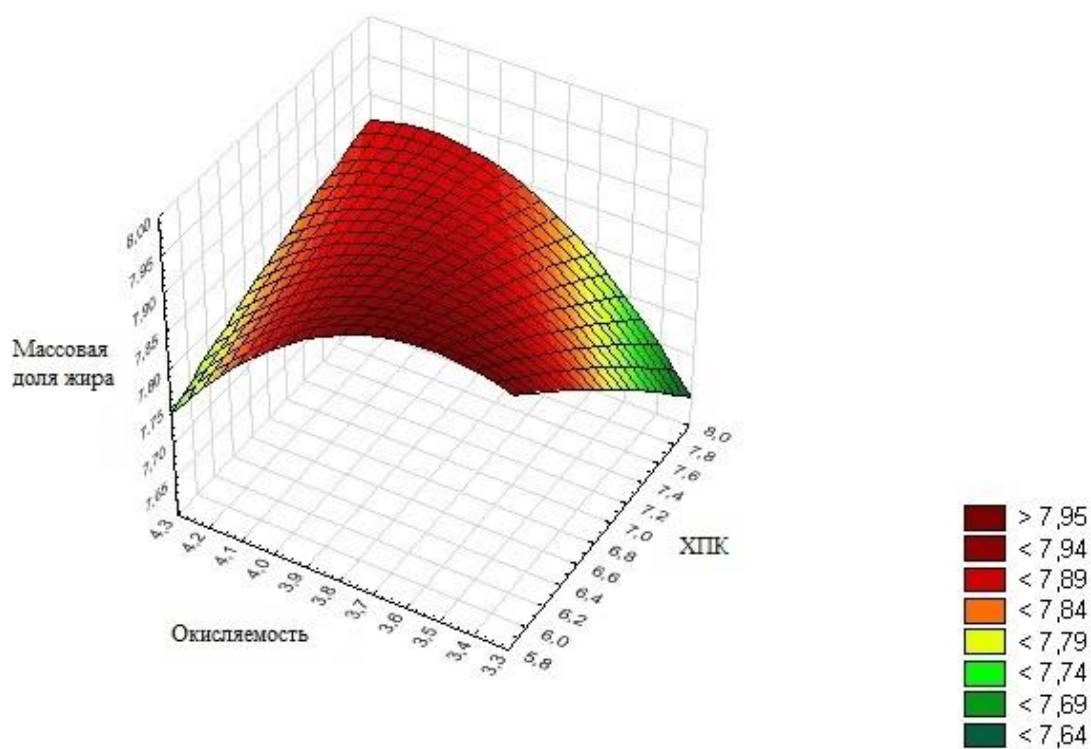


Рисунок 24 – Корреляционная взаимосвязь между массовой долей жира бестера и окисляемостью и ХПК в воде.

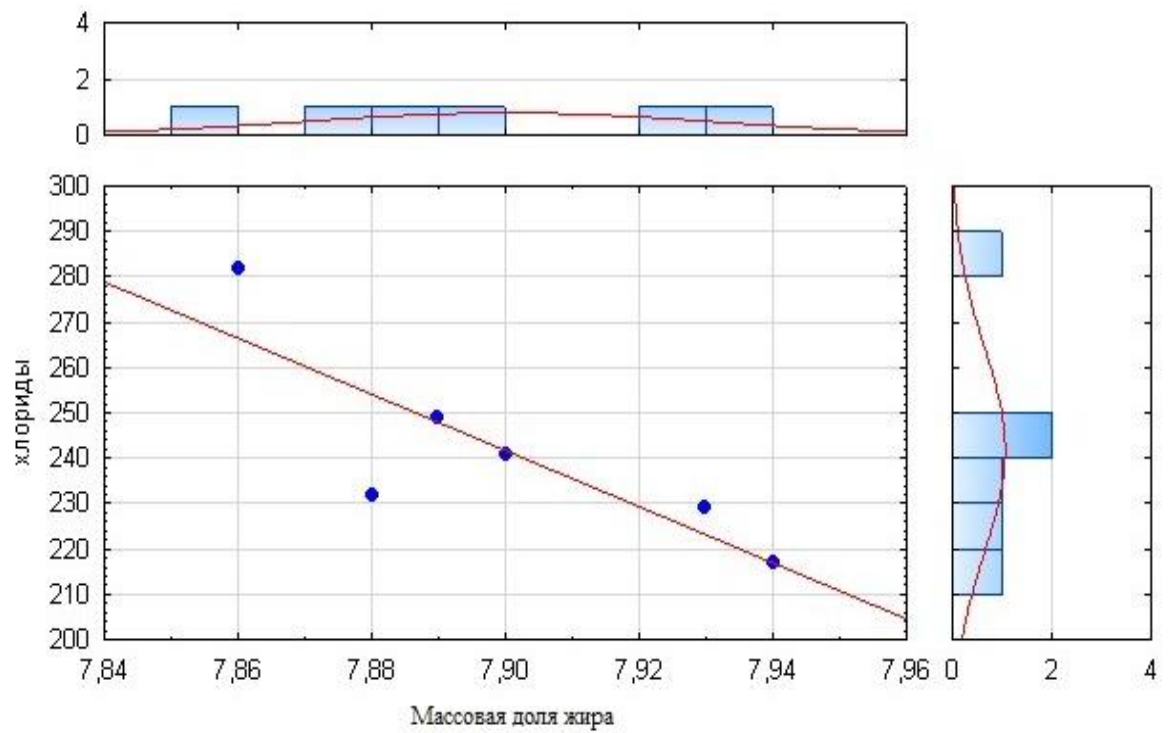


Рисунок 25 – Корреляционная взаимосвязь между массовой долей жира бестера и содержанием хлоридов в воде.