

На правах рукописи



**СОКОЛОВ Александр Викторович**

**НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ  
ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ РЫБНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ:  
СОСТАВ, СВОЙСТВА И ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

**05.18.04 – Технология мясных, молочных и рыбных  
продуктов и холодильных производств**

**АВТОРЕФЕРАТ**  
**диссертации на соискание ученой степени**  
**доктора технических наук**

**Воронеж - 2021**

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Воронежский государственный университет инженерных технологий».

**Научный консультант:**

доктор технических наук, доцент  
**Дворянинова Ольга Павловна**  
(ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»)

**Официальные оппоненты:**

**Андреев Михаил Павлович**  
доктор технических наук, старший научный сотрудник, заслуженный работник рыбного хозяйства РФ (ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет», профессор кафедры технологии продуктов питания)

**Гроховский Владимир Александрович**  
доктор технических наук, профессор, заслуженный работник рыбного хозяйства РФ (ФГАОУ ВО «Мурманский государственный технический университет», заведующий кафедрой технологии пищевых производств)

**Иванова Елена Евгеньевна**  
доктор технических наук, профессор (ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», профессор кафедры технологии продуктов питания животного происхождения)

**Ведущая организация:**

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», г. Воронеж

Защита состоится «25» января 2022 г. в 13 ч 30 мин на заседании совета по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Д 212.035.04 при ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» (ФГБОУ ВО «ВГУИТ») по адресу: 394036, г. Воронеж, пр-т Революции, 19, конференц-зал.

Отзывы на автореферат (в двух экземплярах), заверенные гербовой печатью учреждения, просим направлять в адрес диссертационного совета Д 212.035.04.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ФГБОУ ВО «ВГУИТ». Полный текст диссертации размещен в сети «Интернет» на официальном сайте ФГБОУ ВО «ВГУИТ» [www.vsuet.ru](http://www.vsuet.ru) «24» сентября 2021 г.

Автореферат размещен в сети «Интернет» на официальном сайте Министерства науки и высшего образования РФ [www.vak2.minobrnauki.gov.ru](http://www.vak2.minobrnauki.gov.ru) и на официальном сайте ФГБОУ ВО «ВГУИТ» [www.vsuet.ru](http://www.vsuet.ru) «25» октября 2021 г.

Автореферат разослан «20» декабря 2021 г.

Ученый секретарь совета по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук  
Д 212.035.04, к.т.н., доцент



Е. В. Белокурова

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследований.** Стратегия развития рыбохозяйственного комплекса (РХК) страны на период до 2030 года состоит в обеспечении национальной продовольственной безопасности, достижении высокого уровня человеческого капитала, увеличении совокупного вклада в валовый внутренний продукт, сохранении лидирующих позиций на мировых рынках при условии минимизации негативного воздействия на окружающую среду.

Возможность реального решения поставленных задач требует формирования условий и перехода конкретных хозяйственных субъектов на инновационный путь развития при достижении высокого уровня активности с обеспечением роста конкурентоспособности на отечественном и мировом рынках.

Анализ основных параметров рыбного рынка за последние четыре года показал, что в России наблюдается ежегодное увеличение объема улова рыбы и добычи других водных биоресурсов в среднем на 4,2 %. При этом прирост объемов производства обеспечен, главным образом, за счет производства товарной продукции, что, как следствие, с одной стороны, прогнозирует увеличение потребности в мощностях перерабатывающих предприятий, расширение ассортимента и роста объемов готовой продукции, а с другой – связано с неминуемым ростом вторичного рыбного сырья (ВРС). Опыт работы предприятий показывает, что их объемы могут достигать 70 % от исходного рыбного сырья. При этом чешуя, кожа, плавники, внутренности практически полностью не востребуются и представляют собой бросовый материал – реальную угрозу для окружающей среды, а следовательно, здоровья человека.

Масштаб проблемы характеризуется тем, что около 30 млн т общего мирового вылова теряется в виде отходов при производстве рыбной продукции. Очевидно, что отходность связана с совершенствованием технических и технологических решений по обеспечению основного производства рыбопродуктов, и безусловно, нацеливает на необходимость разработки инновационных подходов по вовлечению ВРС в производство полезных человеку продуктов. То есть существующая проблема носит комплексный характер и может быть успешно решена путем глубокого теоретического обоснования подходов, принципов и методов переработки рыбного сырья, которые обобщены и освещены крайне недостаточно, а реальное производство в России практически отсутствует. Развитие данного направления состоит не только в разработке новых технологических схем производства рыбопродуктов и высокотехнологичного оборудования, но и подразумевает обеспечение безопасности, хранимоспособности, минимизации потерь.

Особую остроту проблеме и актуальность темы диссертационного исследования придают сформулированные приоритеты государственной политики развития РХК, зафиксированные в официальных документах: Стратегия развития рыбохозяйственного комплекса РФ на период до 2030 года, утвержденная распоряжением Правительства РФ от 26 ноября 2019 г. № 2798-р; Доктрина продовольственной безопасности РФ, утвержденная Указом Президента РФ от 21 января 2020 г. № 20; Стратегия развития морской деятельности РФ до 2030 года, утвержденная распоряжением Правительства РФ от 30 августа 2019 г. № 1930-р; Государственная программа РФ «Развитие рыбохозяйственного комплекса» (с изменениями до 2024 г.), утверждена постановлением Правительства РФ от 27 марта 2019 г. № 324, которые нашли отражение в Федеральных программах государства и получили положительные отзывы в виде реализации подпрограмм на региональных уровнях.

Диссертационная работа отвечает поставленным руководством страны задачам. В ходе экспериментальных исследований получены результаты, реализованные в рамках госбюджетной НИР кафедры управления качеством и технологии водных биоресурсов ФГБОУ ВО «ВГУИТ» «Методы и средства повышения качества и конкурентоспособности продукции и услуг на базе внедрения инновационных технологических решений»; программы Фонда содействия инновациям «Старт» (конкурс «Старт-1») по теме «Разработка технологии получения продукционного корма для радужной форели»; хоз. договорной работы по теме «Разработка комплекта нормативной документации на производство кормов для рыб, выращенных в условиях УЗВ»; конкурса молодежной кадровой политики «Устойчивое будущее России» по тематике платформы «Новые технологии в пищевой и перерабатывающей промышленности: решение вопросов продовольственной безопасности при обеспечении достойного качества жизни потребителей», тема работы «Разработка технологии белково-витаминной добавки на основе побочного сырья икорного производства»; Стратегической программы исследований Евразийской технологической платформы «Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК - продукты здорового питания» на 2014-2020 гг. «Решения проблем комплексной переработки побочных продуктов и отходов».

**Степень разработанности темы исследования.** Значительный вклад в разработку научных и практических основ производства продуктов пищевого, кормового и технического назначения из ВРС внесли отечественные и зарубежные ученые: Абрамова Л.С., Албулов А.И., Андреев М.П., Антипова Л.В., Байдалинова Л.С., Боева Н.П., Бредихина О.В., Гроховский В.А., Дворянинова О.П., Долганова Н.В., Иванова Е.Е., Касьянов Г.И., Мезенова О.Я., Мукатова М.Д., Петриченко Л.К. Харенко Е.Н., Фатыхов Ю.А., Цибизова М.Е., Якубова О.С., Abbas G., Brander K.M., Crean P.B., Nickerson J. T. R., Stauffer Jay R и др.

В рамках проведенных ими исследований достигнуты определенные успехи по обоснованию рациональных путей использования рыбного сырья, расширения ассортимента продуктов, интенсификации производства и совершенствования условий обработки и хранения. Показана реальная возможность использования кислотного и щелочного гидролиза для повышения пищевой и биологической ценности продуктов из рыбы и вторичного сырья, производства нетрадиционных рыбных продуктов.

Однако требуется проведение углубленных экспериментальных исследований по анализу химического состава, структуры входящих компонентов и соответствующих функционально-технологических свойств, создание обобщенной информационной базы об имеющихся невостребованных рыбных ресурсах для ученых и специалистов-практиков, обоснование наиболее рациональной схемы целенаправленного использования ресурсов для перехода на инновационный путь хозяйственной деятельности, созданию технических и технологических решений современного уровня и высокого качества рыбных продуктов отечественного производства для удовлетворения потребностей населения.

Решению обозначенных выше задач и посвящена данная работа.

**Цель исследований** – научное обоснование и разработка инновационных технологических решений по организации выпуска пищевой, кормовой и технической продукции на основе комплексной переработки ВРС, обеспечивающих повышение безопасности, качества, конкурентоспособности новых товаров и экономическую эффективность производства.

Для реализации поставленной цели сформулированы следующие задачи.

1. Провести информационно-патентный поиск, проанализировать современное состояние сырьевой базы и сформулировать направления применения инновационного потенциала для создания технологий и продуктов пищевого, кормового и технического назначения на основе ВРС.

2. Провести углубленные исследования химических показателей ВРС, в том числе икорного производства; обобщить информацию и аккумулировать сведения для практического использования.

3. Определить особенности качественного состава веществ, входящих во ВРС, оценить его безопасность, пищевую и биологическую ценность; разработать методологию по дифференцированному и рациональному использованию ВРС применительно к различным секторам экономики.

4. Обосновать биотехнологический способ получения ферментолитов из ВРС с использованием ферментативного гидролиза и идентификации продуктов деструкции белков; методами математического моделирования установить оптимальные параметры процесса ферментативного гидролиза для получения продуктов с высокой перевариваемостью.

5. Исследовать масс-молекулярные характеристики и идентифицировать функциональные группы белковых компонентов ферментолитов.

6. Исследовать алергизирующие свойства ферментолитов на несенсибилизированных животных; предложить способ сушки и направления рационального использования ферментолитов.

7. Обосновать технологические режимы производства белково-витаминной добавки с использованием икорного фреш-джуса и ферментолитов и оптимизировать ее компонентный состав; разработать перспективные направления использования белково-витаминной добавки в пищевых системах.

8. Обосновать параметры и условия производства кормовых добавок и кормов для объектов аквакультуры с использованием ВРС, исследовать свойства и эффективность при выращивании рыб в условиях установки замкнутого водоснабжения (УЗВ) в опытах *in vivo*.

9. Исследовать возможность применения ВРС в технологии клея как связующего компонента белковой природы в рецептурах композиционных материалов: оптимизация условий сушки с дополнительным СВЧ-нагревом, характеристика процессов и конечного продукта.

10. Разработать комплекты технической документации на разработанные инновационные продукты, апробировать и внедрить технологию, практически реализовать в образовательном процессе.

**Научная концепция исследования** заключается в дополнении и систематизации научных данных о химическом составе, пищевой и биологической ценности вторичного рыбного сырья, развитии основ рационального использования ресурсов для производства инновационных продуктов пищевого, кормового и технического назначения.

**Научная новизна.** Дополнены, обобщены и проанализированы информационные данные о химическом составе, качестве и безопасности ВРС на примере предприятий Воронежской области.

Аккумулированы сведения о качественном и количественном составе основных питательных веществ, пищевой и биологической ценности ВРС, которые предложено эффективно использовать в частных технологиях при проектировании новых рецептурно-компонентных решений продуктов пищевого, кормового и технического назначения.

Впервые предложена и научно обоснована методология сбора и поэтапной глубокой переработки ВРС применительно к направлениям его использования с учетом требований к условиям хранения и показателям безопасности.

Экспериментально доказана целесообразность использования ферментативного гидролиза для обработки ВРС с целью повышения его биологической ценности. Изучены закономерности накопления продуктов гидролиза в различных условиях катализа, обоснованы параметры реакции при обработке ВРС на примере кожи, чешуи и плавников рыб.

Установлен масс-молекулярный состав и функциональные группы белковых компонентов полученных ферментоллизатов. В опытах *in vitro* показано, что ферментоллизаты имеют высокую перевариваемость, в опытах *in vivo* доказана их безопасность, включая отсутствие аллергических реакций. Обоснованы пути использования ферментоллизатов в технологиях пищевых продуктов с учетом требований к каждой ассортиментной группе.

Впервые научно обоснована и экспериментально подтверждена целесообразность использования вторичного сырья икорного производства (икорный фреш-джус горбуши) в качестве источника белково-витаминной добавки; оптимизирован состав, дана оценка пищевой и биологической ценности полученного продукта; предложены новые технологические решения по ее использованию в пищевой промышленности.

Путем моделирования ингредиентного состава обоснованы новые и совершенствованы имеющиеся рецептурные композиции пищевых продуктов массового потребительского спроса с заданным соотношением эссенциальных веществ.

Доказана эффективность полученного корма для рыб в опытах *in vivo* при выращивании рыб в условиях УЗВ.

Обоснованы условия получения природных высокомолекулярных соединений (полимеров) из ВРС и исследованы их свойства. Методами математического моделирования установлены рациональные параметры и режимы процесса сушки с дополнительным СВЧ-нагревом кости и костного остатка.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Теоретическая значимость диссертационного исследования состоит в значительном расширении, обобщении и систематизации информации о химическом составе, пищевой и биологической ценности ВРС - как основы для создания научных данных для практического использования в научной среде и промышленности. Проведенный анализ позволил сформировать наиболее рациональные направления использования ВРС в практической деятельности человека на основе дифференцированного подхода в подборе сырья и с учетом требований к продуктам конкретных ассортиментных линеек применительно к различным отраслям экономики. Показана перспективность и эффективность применения методов биотехнологии в получении продуктов высокой биологической ценности. Применение обоснованно выбранного ферментного препарата и оптимизации условий гидролиза белков ВРС позволило установить закономерности деструкции биополимеров на основе изучения кинетики ферментативного катализа. Проведена идентификация функциональных групп белка и продуктов его гидролиза, указывающая на то, что в ферментализатах образуются пептиды и аминокислоты. Получены экспериментальные данные по безопасности, пищевой и биологической ценности ферментоллизатов.

Полученные зависимости и закономерности позволили сформировать новые знания, используемые в учебном процессе при реализации дисциплин для подготовки бакалавров и магистров по направлениям 19.03.03 и 19.04.03 Про-

дукты питания животного происхождения, 35.03.08 Водные биоресурсы и аквакультура, при выполнении обучающимися курсовых работ (проектов), выпускных квалификационных работ, при проведении занятий в качестве мультимедийного сопровождения лекционных курсов, а также при написании учебников и специальной литературы, имеющих отраслевое значение.

Разработаны частные технологии максимального использования ВРС Воронежской области в качестве основного компонента при производстве корма для радужной форели, введение которого в рацион кормления оказывает положительное влияние на физиологическое состояние и показатели химического состава тела рыб.

Разработаны и утверждены в установленном порядке 8 пакетов технической документации на новые виды продуктов: «Белковые ферментолитаты для пищевой промышленности»; «Белково-витаминная добавка»; «Риеты рыбные»; «Рыбные полуфабрикаты рубленые замороженные»; «Масло рыбное и икорное»; «Майонезный соус «Цезарь» с белково-витаминной добавкой»; «Рыбный клей из костей промысловых рыб «Биоклей»; «Продукционный корм «ФишФуд» для радужной форели».

Составлены практические рекомендации «Продукционный корм «ФишФуд» для радужной форели для установок замкнутого водоснабжения (УЗВ)».

Инновационные технологии «Белковые ферментолитаты для пищевой промышленности», «Белково-витаминная добавка», «Рыбные полуфабрикаты рубленые замороженные», «Масло рыбное и икорное», «Майонезный соус «Цезарь» с белково-витаминной добавкой», «Риеты рыбные» успешно прошли производственные испытания в условиях рыбоперерабатывающих предприятий: ООО «НововоронежРыба» (п. Колодезный Воронежской области) и ООО «Прайм рыба» (г. Воронеж). Производственные испытания технологии корма успешно проведены в условиях Глава КФХ Журавлев Ю.А. (п.г.т. Каменка Воронежской области). Эффективность корма апробирована на радужной форели в условиях инновационно-технологического центра (ИТЦ) «Акватория» ФГБОУ ВО «ВГУИТ» (г. Воронеж). Полимерно-цементная смесь апробирована в условиях ООО «Твой Дизайн» (г. Воронеж).

Внедрены технологии производства белковых ферментолитатов для пищевой промышленности, белково-витаминной добавки, риетов рыбных, рыбных полуфабрикатов рубленых замороженных на рыбоперерабатывающем предприятии ООО «НововоронежРыба» (п. Колодезный Воронежской области). Внедрена технология производства продукционного корма «ФишФуд» для радужной форели на Глава КФХ Журавлев Ю.А. (п.г.т. Каменка, Воронежской области).

Новизна технических решений подтверждена 8 патентами РФ на изобретения и 1 свидетельством о государственной регистрации программ для ЭВМ.

**Методология и методы исследований.** Исследования проводили согласно методологии, основой которой является комплекс методов познания: теоретических, эмпирических, практических, базирующихся на естественно-научных закономерностях. В работе применяли общепринятые и специальные современные физические, химические, биохимические, микробиологические и органолептические методы анализа сырья, полуфабрикатов и готовых изделий, в том числе инструментальные.

**Научные положения, выносимые на защиту:**

- методология сбора и глубокой переработки ВРС с целью выявления зависимости его технотехнических свойств и показателей безопасности от вида и сезона вылова рыб на примере Воронежской области;

- принципы комплексной переработки ВРС в обеспечении качества и безопасности продуктов пищевого, кормового и технического назначения;
- обобщенные результаты оценки ВРС местного значения на основе физико-химических показателей и данных о пищевой, кормовой и биологической ценности для их рационального использования в секторах экономики;
- условия и результаты применения ферментного препарата для получения продуктов гидролиза с известными масс-молекулярными характеристиками;
- результаты моделирования и оптимизации параметров сушки ВРС, определение характеристик и принципов выбора рациональных режимов технологических процессов, способствующих снижению удельных энергетических затрат, повышению производительности и качества разработанных продуктов;
- концептуальный подход к решению проблемы создания инновационных технологий пищевых, кормовых и технических продуктов, базирующихся на новых знаниях о свойствах и способах получения белка, методах комплексной переработки ВРС, оценки качества и безопасности готовой продукции.

**Соответствие темы диссертации паспорту научной специальности.**

Диссертационное исследование соответствует п. 1, 2, 4, 8 паспорта специальности 05.18.04 - «Технология мясных, молочных и рыбных продуктов и холодильных производств».

**Степень достоверности и апробация результатов работы.** Степень достоверности результатов проведенных исследований подтверждается глубиной проработки литературных источников по теме диссертации, постановкой экспериментов, применением современных инструментальных методов анализа, математической обработкой экспериментальных данных, публикацией основных результатов диссертации.

Основные положения и результаты диссертационной работы доложены при обсуждении на ежегодных отчетных научных конференциях Воронежского государственного университета инженерных технологий; международных и всероссийских научно-технических и научно-практических конференциях: Воронеж, 2014, 2015, 2016, 2018, 2019; Монтелуко ди Ройо, Италия, 2014; Анапа, 2015, 2016; Москва, 2015; Белгород, 2015; Владикавказ, 2016; Ставрополь, 2016; Севастополь, 2017-2019; Калининград, 2016, 2017; North Charleston, USA, 2017; Саратов, 2018-2019; Курск, 2018; Beijing, China, 2020; Магнитогорск, 2020; Таганрог, 2020; Екатеринбург, 2020; Калининград, 2021.

Результаты научных разработок отмечены дипломами, золотыми медалями и сертификатами за участие в выставках и конференциях различного уровня.

**Личное участие автора.** Диссертационная работа является обобщением научных исследований, проведенных в 2013-2021 гг. лично автором и при его непосредственном участии в качестве руководителя или ответственного исполнителя госбюджетных научно-исследовательских работ и прикладных научных исследований и экспериментальных разработок.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 104 научных труда, в том числе 2 учебных пособия (в соавторстве), 2 монографии (в соавторстве), 4 статьи в международных базах WoS и Scopus, 29 статей в ведущих рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК, 6 статей в иностранных изданиях, 49 статей и 3 тезиса в журналах и по материалам докладов на всероссийских и международных конференциях (2014-2021 гг.), 8 патентов РФ на изобретения и 1 свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ.

**Структура и объем работы.** Основной текст диссертации изложен на 457 с., включающих: введение, 7 глав экспериментального и аналитического материала, заключение, список литературы из 438 наименований, в том числе

93 иностранных автора. Приведено 106 таблиц и 134 рисунка. Приложения к диссертации представлены на 223 страницах.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Введение.** Обоснована актуальность и сформулирована сущность решаемой научной проблемы, обозначены цель и задачи исследований, их научная новизна, практическая значимость, сформулированы основные положения, выносимые на защиту диссертации.

**Глава 1. Анализ состояния проблемы.** Содержит сведения о современном состоянии и основных тенденциях развития РХК РФ. Акцентировано внимание на изменениях, связанных с практической реализацией инновационных технологий кормопроизводства на основе альтернативных источников протеина из ВРС. Проведена систематизация теоретических исследований в области технологий переработки вторичного сырья рыбной промышленности. Выявлено, что в литературе отсутствует информация о биотехнологическом потенциале икорного фреш-джуса – вторичного сырья икорного производства. Показана целесообразность разработки новых и совершенствование существующих технологий переработки ВРС с целью получения продуктов пищевого, кормового и технического назначения.

**Глава 2. Объекты и методы исследования.** Охарактеризованы объекты и методы исследований, а также приведена приборная база, применяемая для реализации описываемых методик. Дана проблемно-целевая схема исследований (рисунок 1).

Основная часть экспериментальных исследований и практических разработок выполнена в научно-исследовательских лабораториях (НИЛ) кафедр ФГБОУ ВО «ВГУИТ»: управления качеством и технологии водных биоресурсов; машин и аппаратов пищевых производств; технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств; технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств; физической и аналитической химии; технологии органических соединений, переработки полимеров и техносферной безопасности; управления, организации производства и отраслевой экономики; в центре коллективного пользования «Испытательный центр» ВГУИТ; ИТЦ «Аквабиоресурс».

Отдельные этапы исследований проводились в ООО «Микронутриенты» (г. Москва), БУВО «Воронежская областная ветеринарная лаборатория» (г. Воронеж), ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН (г. Москва), ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский ветеринарный институт патологии, фармакологии и терапии» (г. Воронеж), ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет» (г. Воронеж), ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет» (г. Астрахань), ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет им. императора Петра I» (г. Воронеж).

Объектами исследования служили: горбуша морожена неразделанная, (ГОСТ 32366-2013), выловленная в Охотском море в июле-августе 2013-2018 гг. (СРГМ «Майборг» г. Елизово Камчатский край, ООО «Афалина» с. Стародубское Долинского района Сахалинской области); живой толстолобик (ГОСТ 24896-2013), выловленный в прудовом хозяйстве в августе-сентябре 2013-2020 гг. (ООО «Дон» с. Лофицкое Богучарского района Воронежской области); радужная форель живая (ГОСТ 24896-2013), выращенная в условиях УЗВ в августе-сентябре 2019-2020 гг. (ИТЦ «Аквабиоресурс» г. Воронеж); вторичное рыбное сырье (чешуя, кожа, внутренности (кроме гонад), головы,

плавники, костное сырье, жабры), полученное при разделке горбуши, радужной форели и толстолобика на филе без кожи (согласно технологической инструкции

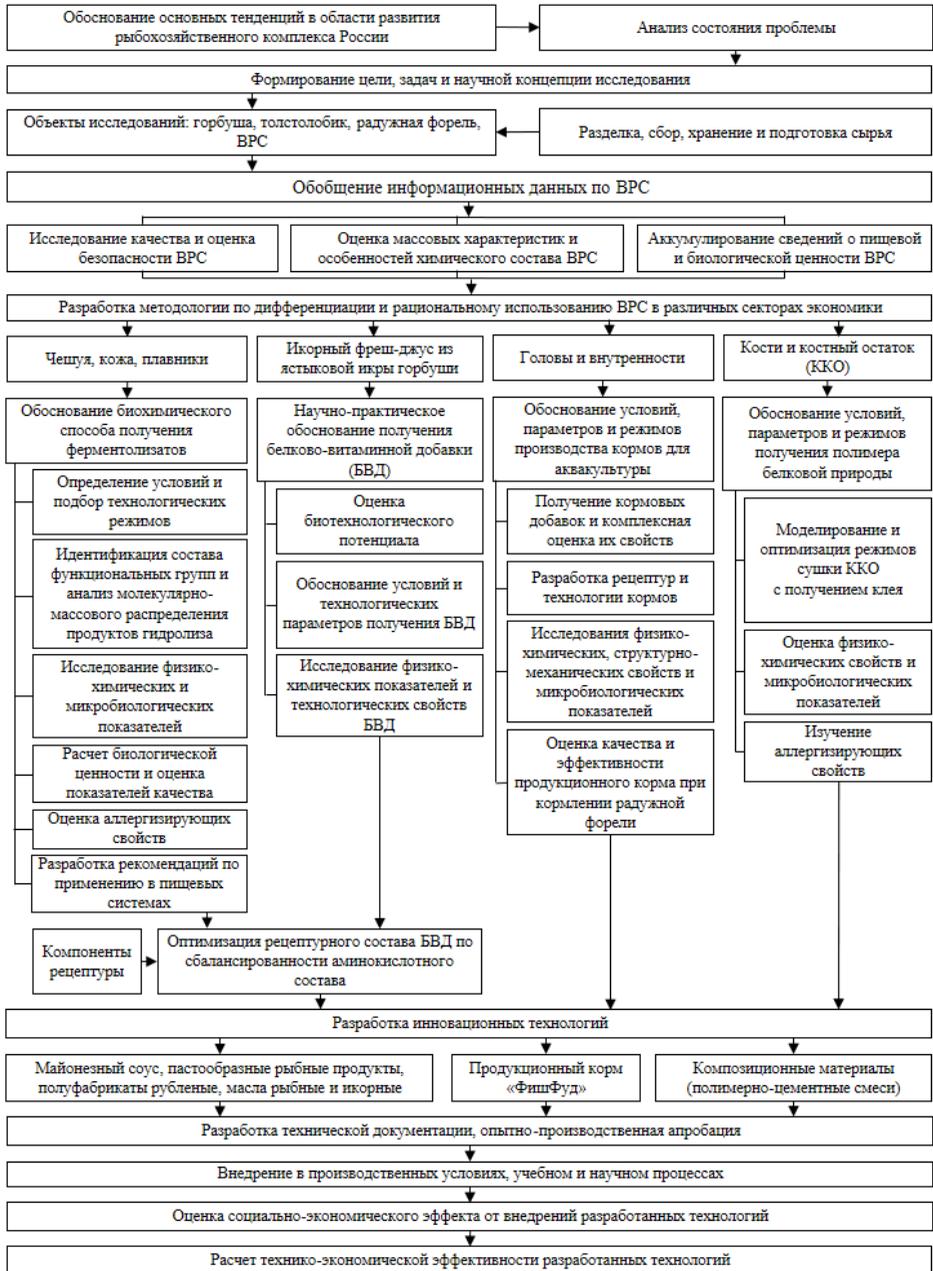


Рисунок 1 - Проблемно-целевая схема исследований

№ 7 по разделке и мойке рыбы); вторичное сырье икорного производства (икорный фреш-джус (содержимое икринок), полученное на технологическом этапе пробивки при производстве лососевой икры по ТУ 9264-026-00472124-08 из мороженных ястыков горбуши (далее икорный фреш-джус № 1) и по ГОСТ 18173-04 из охлажденных ястыков горбуши (далее икорный фреш-джус № 2); ферментный препарат «Коллагеназа» из гепатопанкреаса камчатского краба ТУ 9154-032-11734126-10 (ООО «Биопрогресс», Россия); продукты, полученные по разработанным технологиям в ходе выполнения работы (ферментоллизаты, БВД, майонезный соус, рыбные рубленые полуфабрикаты, пастообразные рыбные продукты, рыбные масла, кормовые добавки, производственный корм для рыб, рыбный клей, полимерно-цементная смесь (ПЦС).

Все сырье, применяемое в исследованиях, по органолептическим и физико-химическим показателям соответствовало требованиям действующей нормативной или технической документации, по показателям безопасности – ТР ТС 021/2011, ТР ЕАЭС 040/2016 и ТР ТС 029/2012.

Массовые характеристики ВРС определяли по ГОСТ 1368-2003; массовую долю влаги, белка, жира, золы ВРС, ферментоллизатов, белково-витаминной добавки, разработанных пищевых продуктов, мышечной ткани радужной форели определяли по ГОСТ 7636-85; рН объектов исследований определяли по ГОСТ 7636-85; температуру объектов исследований определяли по ГОСТ 7631-2008; фракционный состав белков ВРС определяли согласно рекомендациям (Байдалинова, 2017); аминокислотный состав (без триптофана) ВРС, ферментоллизатов, кормовой добавки определяли на жидкостном хроматографе Shimadzu LC-20 Prominence по ГОСТ 32195-2013; триптофан в ВРС, ферментоллизатах, кормовой добавке определяли на жидкостном хроматографе Shimadzu LC-20 Prominence по ГОСТ 32201-2013; аминокислотную сбалансированность и биологическую ценность ВРС, ферментоллизатов, разработанных продуктов определяли по методу академика Липатова Н.Н. (Липатов и др., 1987, 1996); органолептические показатели ферментоллизатов, белково-витаминной добавки, разработанных пищевых продуктов определяли по ГОСТ 7631-2008; жирнокислотный состав кормовой добавки определяли по ГОСТ ISO/TS 17764-2-2015; витаминный состав икорного фреш-джуса, белково-витаминной добавки, кормовой добавки определяли по ГОСТ 7047-55, ГОСТ Р 52147-2003 и М 04-56-2009; функционально-технологические и структурно-механические свойства разработанных пищевых продуктов определяли согласно рекомендациям (Николаенко, 2011); длину и массу радужной форели определяли по ГОСТ 1368-2003; гидрхимические показатели воды в установке замкнутого водоснабжения определяли по ОСТ 15372-87; органолептические и физические показатели радужной форели определяли по ГОСТ 7631-2008; массовую долю поваренной соли в разработанных пищевых продуктах определяли по ГОСТ 15113.7-77; массовую долю влаги в кормовой добавке и производственном корме определяли по ГОСТ Р 54951-2012; массовую долю белка в кормовой добавке и производственном корме определяли по ГОСТ 13496.4-2019; массовую долю жира в кормовой добавке и производственном корме определяли по ГОСТ 13496.15-2016; массовую долю золы в кормовой добавке и производственном корме определяли по ГОСТ 32933-2014; массовую долю углеводов в кормовой добавке и производственном корме определяли по ГОСТ 26176-2019; массовую долю клетчатки в производственном корме определяли по ГОСТ 31675-2012; крошимость гранул корма определяли по ГОСТ 28497-2014; водостойкость гранул корма определяли по ГОСТ 28758-97; анализ качественного и количественного состава микрофлоры кишечника радужной форели при кормлении определяли согласно методическим

рекомендациям «Методы бактериологического исследования условно-патогенных микроорганизмов в клинической микробиологии» (утв. Министерством здравоохранения РСФСР от 19 декабря 1991 г.); угол естественного откоса ферментализатов, белково-витаминной добавки определяли по ГОСТ 28254-2014; водопоглощение белково-витаминной добавки определяли по ГОСТ ISO 5530-1-2013; степень сыпучести ферментализатов, белково-витаминной добавки определяли по ОФС.1.4.2.0016.15; массовую долю хлеба в рыбных полуфабрикатах определяли по ГОСТ Р 54607.2-2012; физико-химические и качественные показатели рыбного клея определяли по ГОСТ 7636-85; адгезию и водопоглощение полимерно-цементных смесей определяли по ГОСТ 5802-86; пористость ферментализатов определяли по ГОСТ 5669-96; насыпную плотность ферментализатов определяли по ГОСТ 31977-2012; дисперсность белково-витаминной добавки определяли по ГОСТ Р 54047-2010; степень деструкции (глубину) ферментного гидролиза ВРС определяли согласно рекомендациям (Шлейкин, 2015); кислотное число кормовой добавки, производственного корма определяли согласно ГОСТ 13496.18-85; микробиологические показатели кормовой добавки, производственного корма определяли согласно ГОСТ 253118-82; микробиологические показатели ВРС, ферментализатов, белково-витаминной добавки, разработанных пищевых продуктов проводили стандартными методами в соответствии с Инструкцией по санитарно-микробиологическому контролю производства пищевой продукции из рыбы и морских беспозвоночных (1991), с Едиными санитарно-эпидемиологическими и гигиеническими требованиями к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю) (Утв. Решением Комиссии таможенного союза от 28.05.2010 г. № 299), ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции», ТР ЕАЭС 040/2016 «О безопасности рыбы и рыбной продукции», МУК 4.2.1847-04. Отбор и подготовку проб для микробиологических испытаний проводили по ГОСТ 26669-85, ГОСТ ISO/TS 17728-2017. Определенные значения КМАФАнМ – по ГОСТ 10444.15-94; бактерий группы кишечных палочек (БГКП) – по ГОСТ 31747-2012; патогенных, в том числе бактерий рода *Salmonella* – по ГОСТ 31659-2012; сульфитредуцирующих клостридий – по ГОСТ 29185-2014; бактерий вида *E. coli* – по ГОСТ 30726-2001; содержание тяжелых металлов в ВРС, ферментализатах, белково-витаминной добавке, разработанных пищевых продуктах, кормовой добавке, производственном корме проводили методом атомной адсорбции на атомно-адсорбционном спектрофотометре: подготовку проб для определения токсичных элементов осуществляли по ГОСТ 26929-94, определение токсичных элементов: кадмия – по ГОСТ 26933-86, свинца – по ГОСТ 26932-86, мышьяка – по ГОСТ 26930-86, ртути – по ГОСТ 26927-86; содержание хлорорганических пестицидов в ВРС, ферментализатах, белково-витаминной добавке, разработанных пищевых продуктах, кормовой добавке, производственном корме определяли методом газовой хроматографии на хроматографе по методике ГХЦГ - МР23-03/12-402, п. 1; ДДТ и метаболиты - МУ МЗ СССР (22 октября 1981 г. № 2482-81).

Минеральный состав ВРС рыб, икорного фреш-джуса, БВД, кормовой добавки определяли методом масс-спектро스코пии с индуктивно связанной плазмой (МС-ИСП) на квадрупольном масс-спектрометре Nexion 300D и методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (АЭС-ИСП) на атомно-эмиссионном спектрометре Optima 2000 DV; электрофоретические исследования ферментализатов - по методу Леммли в присутствии додецилсульфата натрия (SDS) с белковыми метками известной молекулярной массы (Laemmli, 1970, Остерман, 1981); термогравиметрические и калориметрические

исследования рыбных смесей проводили на приборе синхронного анализа STA-449 F3 Jupiter (NETZSCH, Германия) - согласно руководству пользователя, прибором синхронного анализа STA-449; исследование кинетики конвективной сушки рыбных смесей осуществляли на экспериментальной конвективной сушилке с СВЧ-нагревом; микроструктуру исследуемых образцов (желудок, печень, селезенка, кишечник) половозрелой рыбы исследовали гистологическим методом с использованием световой микроскопии; перевариваемость белков ферментолитов, разработанных пищевых продуктов под действием пищеварительных ферментов (пепсин, трипсин) *in vitro* определяли методом Покровского-Ертанова; сенсорометрический анализ аромата пищевых продуктов осуществляли путем применения анализатора запахов «МАГ-8»; цветовые характеристики готовых изделий определяли с помощью планшетного сканера HP ScanJet 3570C с применением компьютерной обработки изображений в цветовом режиме RGB; процесс сублимационной сушки ферментолитов проводили на лиофильной сушилке ЛС 1000К «Проинтех»; рыбоводно-биологические показатели (абсолютный прирост, среднесуточный прирост, выживаемость рыб, затраты корма) определяли согласно рекомендациям (Щербина, 2006); ИК-спектры ферментолитов снимали на ИК-Фурье-спектрометре ИнфраЛюм ФТ-08 в области 600-4000 см<sup>-1</sup>; оценку аллергизирующих свойств (раздражающее действие на кожные покровы, конъюнктивальная проба, подсчет эозинофилов в крови белых мышей, накожные аппликации, реакция специфического лизиса лейкоцитов (РСЛЛ), непрямая реакция дегрануляции тучных клеток) ферментолитов и рыбного клея проводили согласно рекомендациям (Миронов А.Н. и др., 2012).

Автоматизированное проектирование и расчет многокомпонентных рецептур продуктов осуществляли с помощью программы Generic 2.1. Моделирование рецептур белковых компонентов с прогнозируемым аминокислотным составом, приближенным к требованиям ФАО/ВОЗ, проводили с помощью программы «PROTEIN», разработанной в ходе выполнения работы.

Все экспериментальные исследования были проведены не менее чем в трех повторностях. В таблицах и на рисунках приведены данные типичных опытов, каждое значение является средним как минимум из трех определений. Для математической обработки результатов исследований использованы методы регрессионного анализа с применением многофакторного планирования, градиентного метода и метода наименьших квадратов, линейного программирования. Графические зависимости на рисунках представлены после обработки экспериментальных данных по методу наименьших квадратов в программах Microsoft Excel и Mathcad.

**Глава 3. Биотехнологический потенциал и разработка рациональных путей использования вторичного рыбного сырья.** Посвящена изучению массового состава, химического состава, показателей безопасности ВРС, в том числе икорного производства. Проведен анализ эссенциальных макро- и микронутриентов с оценкой пищевой и биологической ценности объектов исследования. Предложены рекомендации по дифференциации и рациональному использованию ВРС и фреш-джуса горбуши в различных секторах экономики.

Исследования показали, что несмотря на достаточную известность массовые характеристики определяются видом и способом разделки, а также строением тела рыбы. Показано (таблица 1), что массовый выход головы толстолобика составляет 21,1 %, что почти в 1,7 раза больше, чем у головы горбуши (12,7 %) и в 1,5 раза больше, чем у головы радужной форели (14,0 %). Массовый выход костей варьирует от 3,9 до 9,6 % массы разделываемых видов рыб.

При разделке рыб на филе без кожи накапливается большое количество такого вторичного сырья, как внутренности (без учета гонад), кожа, плавники и чешуя, общий массовый выход которых составляет от 16,0 до 24,6 % от массы сырья (таблица 1). Данные виды ВРС практически не используются в производстве и являясь прямыми потерями.

Таблица 1 – Массовый состав горбуши, толстолобика и радужной форели

Виды рыбы	Содержание вторичного сырья, в % к массе рыбы										Итого отходов при разделке	Потери при разделке, %	Выход мышечной ткани, %
	голова без жабр	жабры	кости	внутренности		кожа	плавники	чешуя	внутренняя жировая ткань				
				всего	в том числе или икра или молоки								
Вылов июль-август (2013-2018 гг.)													
Горбуша	12,7±0,3	1,9±0,1	3,9±0,1	15,9±0,7	5,2±0,1	3,1±0,1	3,5±0,1	2,1±0,1	1,4±0,1	5,8±0,3	47,2	4,3	48,5
Вылов август-октябрь (2013-2020 гг.)													
Толстолобик	21,1±0,7	2,3±0,2	9,6±0,2	10,2±0,4	3,1±0,1	2,9±0,1	3,4±0,1	3,3±0,1	2,1±0,1	4,3±0,3	56,3	4,8	38,9
Выращенная в условиях УЗВ (2019-2020 гг.)													
Радужная форель	14,0±0,8	1,7±0,1	8,1±0,3	14,0±0,6	2,5±0,1	1,1±0,1	6,7±0,1	4,1±0,1	1,6±0,1	2,0±0,2	52,2	3,5	44,3

Отметим, что при промышленной переработке ястыков горбуши, массовый выход которых составляет 5,2 % от массы рыбы (таблица 1), на стадии пробивки образуется вторичный продукт – икорный фреш-джус, являющийся внутренним содержимым икринки, который на данный момент не имеет широкого спектра использования в рыбоперерабатывающей промышленности и поэтому является прямой потерей, что влечет за собой увеличение себестоимости конечного продукта – соленой икры зернистой.

Результаты исследования показали, что при производстве икры зернистой из ястыков горбуши потери икорного фреш-джуса за счет разрушения оболочки икры составляют от 8 до 12 % от массы икры в ястыках в зависимости от способа ее производства (из охлажденных или замороженных ястыков).

Таким образом, на долю вторичного сырья, образующегося при разделке и переработке горбуши, радужной форели и толстолобика, приходится 47,2, 52,2 и 56,3 % соответственно, что позволяет говорить об актуальности и целесообразности разработки мероприятий по их рациональному использованию и вовлечению в производство продуктов пищевого, кормового и технического назначения. Такие обстоятельства диктуют важность организации глубокой переработки рыб с выделением наиболее ценных частей, компонентов и веществ, включая биологически активные, на каждом этапе их переработки.

Для оценки перспектив и рациональности использования ВРС и икорного фреш-джуса как основного сырья для перерабатывающих предприятий АПК исследовали их химический состав (таблица 2).

Было выявлено (таблица 2), что исследуемые объекты богаты белком (11,46-76,80 %), жирами (0,87-22,39 %), минеральными веществами (0,86-31,49 %). Особое внимание привлекает высокое содержание белка во вторичном сырье, дефицит которого в пищевой и кормовой промышленности известен в мировом масштабе.

Анализ результатов исследований фракционного состава белков ВРС показал, что он представлен преимущественно на 2,88-58,11 % - щелочерастворимыми белками ( $\omega_{щ.р.ф.}$ ), на 2,90-18,56 % - солерастворимыми, и на 1,93-5,80 % - водорастворимыми. Головы и внутренности исследуемых видов рыб состоят преимущественно из водо- и солерастворимых белков, на долю которых приходится более 50 % от общей массы белка.

Таблица 2 - Химический состав ВРС и икорного фреш-джуса

Вид рыбы	Вторичное сырье	Содержание, %				Энергетическая ценность, кДж/100 г
		влаги	жира	зола	белка	
Вылов август-октябрь (2013-2020 гг.)						
Толстолобик	Голова без жабр	64,40±0,20	16,05±0,12	6,45±0,10	13,10±0,09	823,86
	Кости	54,60±0,20	10,58±0,11	17,70±0,22	17,12±0,15	684,77
	Внутренности (без гонад)	62,20±0,19	22,39±0,20	2,22±0,06	13,19±0,10	1064,38
	Кожа	67,30±0,19	0,87±0,05	0,86±0,03	30,97±0,22	549,99
	Плавники	40,40±0,22	9,63±0,10	28,10±0,20	21,87±0,19	728,28
	Чешуя*	12,80±0,18	1,96±0,06	8,44±0,11	76,80±0,25	1356,45
	Жабры	76,80±0,22	4,86±0,12	6,88±0,12	11,46±0,12	374,60
Вылов июль-август (2013-2018 гг.)						
Горбуша	Голова без жабр	52,70±0,15	18,42±0,15	7,03±0,12	21,85±0,18	1059,33
	Кости	38,60±0,19	8,36±0,12	31,49±0,23	21,55±0,18	675,06
	Внутренности (без гонад)	75,70±0,22	4,36±0,11	2,88±0,07	17,06±0,15	449,27
	Кожа	72,10±0,21	2,78±0,07	1,71±0,05	23,41±0,20	495,75
	Плавники	65,30±0,21	6,52±0,11	10,00±0,10	18,18±0,14	549,41
	Чешуя*	11,80±0,20	8,04±0,10	15,60±0,11	64,56±0,26	1381,26
	Жабры	65,50±0,20	7,83±0,10	8,18±0,07	18,49±0,14	603,97
	Икорный фреш- джус № 1	53,02±0,18	4,67±0,11	3,49±0,06	38,82±0,22	824,35
Икорный фреш- джус № 2	63,66±0,16	8,13±0,10	10,42±0,15	17,79±0,25	603,59	
Выращенная в условиях УЗВ (2019-2020 гг.)						
Радужная фо- рель	Голова без жабр	62,71±0,22	13,15±0,05	4,93±0,05	19,21±0,14	816,61
	Кости	48,09±0,20	6,63±0,10	24,58±0,20	20,70±0,14	595,64
	Внутренности (без гонад)	75,96±0,19	5,69±0,10	1,98±0,06	16,37±0,12	487,89
	Кожа	70,68±0,20	3,12±0,07	1,38±0,06	24,82±0,17	532,11
	Плавники	63,81±0,22	3,48±0,06	13,17±0,15	19,54±0,12	457,52
	Чешуя*	19,18±0,22	2,61±0,05	19,75±0,20	58,46±0,22	1074,68
	Жабры	70,19±0,20	5,19±0,10	9,21±0,07	15,41±0,12	453,01

Примечание: \* - исследование химического состава чешуи проводили после ее предварительной подсушки на воздухе ( $t = 20-22^\circ\text{C}$ ).

По наличию солерастворимых белков можно предположить, что продукт будет хорошо набухать и удерживать влагу, что положительно скажется на качестве конечного продукта. Плавники, кожа, чешуя и кости горбуши, радужной форели и толстолобика содержат в своем составе в основном щелочерастворимую фракцию (62-76 % от массы белка), что свидетельствует о высоком содержании коллагена в белковой части данного сырья. Следовательно, необходимо применять к данному вторичному сырью биотехнологические методы обработки в виде целенаправленного использования ферментных систем, чтобы повысить их биологическую ценность (БЦ) путем повышения степени усвояемости белков из их состава.

На основании определения аминокислотного состава ВРС можно заключить, что исследуемые объекты имеют высокую биологическую ценность бел-

ков, которые содержат в своем составе полный набор незаменимых аминокислот (НАК): от 15,250 до 29,674 г на 100 г белка в зависимости от вида сырья. При этом в икорном фреш-джусе содержание НАК составляет от 31,19 до 39,78 г на 100 г белка.

Из незаменимых аминокислот преобладают лизин и лейцин. Самое высокое содержание лизина отмечено: в головах (4,912 г/100 г белка), жабрах (4,394 г/100 г белка) и внутренностях (5,477 г/100 г белка) горбуши; в головах (5,054 г/100 г белка) и жабрах (5,194 г/100 г белка) толстолобика, что позволяет рекомендовать их использование в комбикормовой промышленности для получения кормовых добавок и разработки на их основе кормов для рыб.

Высокое содержание лейцина во вторичном сырье горбуши (3,057-6,442 г/100 г белка), радужной форели (3,009-6,311 г/100 г белка), толстолобика (2,732-5,294 г/100 г белка) и в икорном фреш-джусе (4,820-7,320 г/100 г белка) определяет перспективность его использования в технологиях биологически активных добавок.

Установлено, что по количественному и качественному составу аминокислот белки кожи, чешуи, плавников горбуши, радужной форели и толстолобика приближены к аминокислотному составу коллагена. Отметим, что на долю таких аминокислот в белках исследуемого ВРС, как глицин, пролин, оксипролин, глутаминовая кислота и аланин приходится более 50 % от общей их суммы, следовательно, оно может рассматриваться как источник для получения вкусообразующих и функциональных пищевых добавок.

Таким образом, белковый состав ВРС (кожа, чешуя, плавники) состоит преимущественно из коллагенового белка, который в своем нативном состоянии является неусвояемым и имеет низкую перевариваемость под действием пищеварительных ферментов человека. В этой связи перспективным направлением является применение ферментного гидролиза ВРС с целью получения продуктов с легкоусвояемым белком функциональной и специализированной направленности.

Установлено, что по содержанию наиболее важных в питании минеральных элементов (кальций (2-87 мг/100 г), фосфор (34-4800 мг/100 г), калий (22-183 мг/100 г), магний (6-70 мг/100 г)) вторичное сырье толстолобика приближено, а в некоторых случаях превосходит аналогичные в горбуше и радужной фореле. Полученные данные по минеральному составу костей рыб согласуются с результатами, представленными норвежским рыбным хозяйством Liaset и экспертом ФАО по рыбным продуктам и питанию Godega Torge и др.

Отмечено, что накопление витаминов в ВРС различно. Содержание витамина А во внутренностях горбуши (0,1 мг/100 г) более чем в три раза превосходит данный показатель у внутренностей толстолобика (0,03 мг/100 г) и в 1,6 раза больше, чем у внутренностей радужной форели (0,06 мг/100 г). Установлено, что внутренности рыб являются богатым источником витамина В<sub>12</sub> (от 0,2 до 1,0 мкг/г сырого вещества). Жабры горбуши, радужной форели и толстолобика являются источником витамина Е (1,31-1,43 г/100 г). Наибольшее количество витаминов отмечено в головах исследуемых видов рыб: витамин А (0,03-0,09 мг/100 г), витамин В<sub>1</sub> (0,01-0,06 мг/100 г), витамин В<sub>2</sub> (0,01-0,014 мг/100 г) и витамин РР (2,2-3,6 мг/100 г). Следует отметить, что головы толстолобика содержат в 3 раза больше витамина А, чем головы горбуши и радужной форели.

Минеральный состав образцов икорного фреш-джуса представлен значительным содержанием минералов жизненно важных для организма человека: натрий (142,3-189,2 мг/100 г), калий (48,7-67,7 мг/100 г), кальций

(45,5-61,5 мг/100 г), магний (82,4-105,5 мг/100 г), железо (224,1-314,2 мг/100 г). Комплекс витаминов представлен как водо- (В<sub>1</sub> (0,3-0,41 мг/100 г), В<sub>2</sub> (0,24-0,29 мг/100 г), так и жирорастворимой группой (А (139,24-187,10 МЕ), Е (1,60-1,98 МЕ).

Стоит отметить, что содержание витаминов и минералов в образце икорного фреш-джуса № 2 выше, чем в икорном фреш-джусе № 1.

Установлено, что образцы икорного фреш-джуса имеют высокую пищевую ценность, при этом удовлетворяется суточная потребность организма человека в витаминах и минеральных веществах примерно на 20 %. Заметим, что стойкое оранжевое окрашивание икорного фреш-джуса обусловлено содержанием каротиноидных пигментов, в основном астаксантина (5-7 мг/кг).

Оценка соотношения аминокислот по сравнению с эталоном ФАО показывает, что в организме человека аминокислоты ВРС и икорного фреш-джуса способны утилизироваться примерно на 70 % ( $U = 0,56-0,78$ ) (таблица 3). Показатель сопоставимой избыточности составляет 10,10-35,46 %.

Таблица 3 - Пищевая и биологическая ценность белков ВРС и икорного фреш-джуса

Наименование рыбы	Вторичное сырье	Показатели				
		КРАС, %	БЦ, %	СКОР min, %	U, ед.	σ, %
Горбуша	Голова без жабр	23,60	76,40	46,28	0,64	19,3
	Жабры	28,71	71,29	47,85	0,70	24,9
	Кости	23,37	76,63	40,46	0,62	21,2
	Кожа	16,04	83,96	29,08	0,64	20,1
	Плавники	19,79	80,21	43,63	0,68	16,5
	Чешуя	11,58	88,42	37,03	0,76	11,0
	Внутренности (без гонад)	32,97	67,03	49,69	0,60	23,7
	Икорный фреш-джус № 1 Икорный фреш-джус № 2	26,27 36,42	73,73 63,58	58,21 70,57	0,67 0,64	35,46 35,44
Толстолобик	Голова без жабр	27,91	72,09	38,83	0,56	27,3
	Жабры	30,54	69,46	45,32	0,59	24,3
	Кости	21,45	78,55	32,37	0,58	24,9
	Кожа	16,24	83,76	36,90	0,69	15,6
	Плавники	14,48	85,52	41,48	0,74	12,3
	Чешуя	10,50	89,50	35,68	0,78	10,1
Радужная форель	Голова без жабр	25,67	74,33	35,43	0,58	25,9
	Жабры	28,49	71,51	34,73	0,55	28,8
	Кости	21,73	78,27	31,17	0,63	20,8
	Кожа	13,90	86,10	29,96	0,68	16,4
	Плавники	14,60	85,40	47,74	0,75	11,6
	Чешуя	11,06	88,94	33,52	0,76	10,8
	Внутренности (без гонад)	31,53	68,47	51,11	0,62	21,8

Установлено, что БЦ белков ВРС и икорного фреш-джуса составила от 63,58 до 89,50 %. Причем большую БЦ имеют белки чешуи, плавников и кожи исследуемых видов рыб, следовательно, они более сбалансированы по составу аминокислот. Остальное вторичное сырье примерно равноценно.

Таким образом, исследование содержания аминокислотного и витаминно-минерального состава объектов показали, что они обладают высокой БЦ, богаты макро- и микроэлементами, витаминами, что характеризует их как возможный источник пищевых и биологически активных веществ. Разработка широкого спектра пищевых продуктов на основе ВРС и икорного фреш-джуса позволит обеспечить физиологические нормы в питании человека.

Проведенные исследования показателей санитарно-эпидемиологической, гигиенической и ветеринарной безопасности ВРС и икорного фреш-джуса показали, что исследуемые объекты отвечают требованиям безопасности, регламентируемым ТР ТС 021/2011 и ТР ЕАЭС 040/2016.

Предложена технологическая схема по сбору, накоплению и хранению ВРС, образующегося при производстве филе без кожи из горбуши, радужной форели и толстолобика в условиях рыбоперерабатывающих предприятий (рисунок 2).

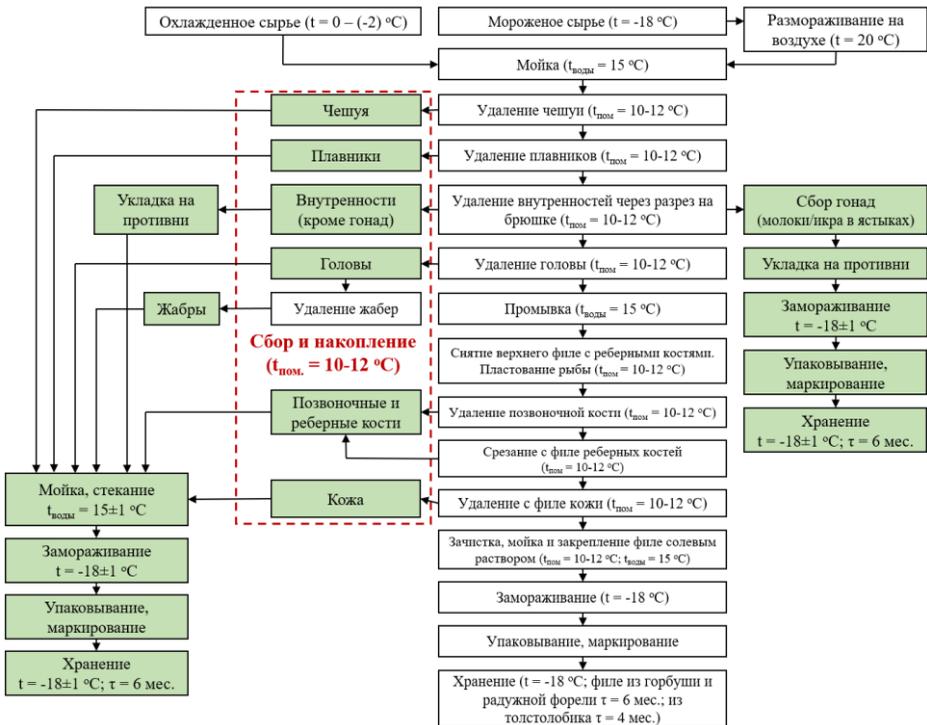


Рисунок 2 - Технологическая схема по сбору, накоплению и хранению ВРС

Для эффективного и рационального использования ВРС необходимо провести его дифференциацию на основании проведенных исследований биотехнологического потенциала. На основании комплексного исследования химического состава, а также показателей пищевой и биологической ценности белков вторичного рыбного сырья, образующегося при разделке горбуши, радужной форели и толстолобика, нами предложены рекомендации в виде методологии по их дифференциации и рациональному использованию в различных секторах экономики (рисунок 3).

Стоит отметить, что высокий биотехнологический потенциал вторичного сырья, образующегося при разделке радужной форели и горбуши, дает основание использовать их в качестве взаимозаменяемых сырьевых ресурсов при создании новых продуктов. Учитывая данный факт, дальнейшие научные исследования были направлены на углубленное изучение принципов, подходов и методов при создании инновационных технологий пищевых, кормовых и технических продуктов на основе комплексной переработки ВРС горбуши и толстолобика.

## МЕТОДОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ВТОРИЧНОГО РЫБНОГО СЫРЬЯ

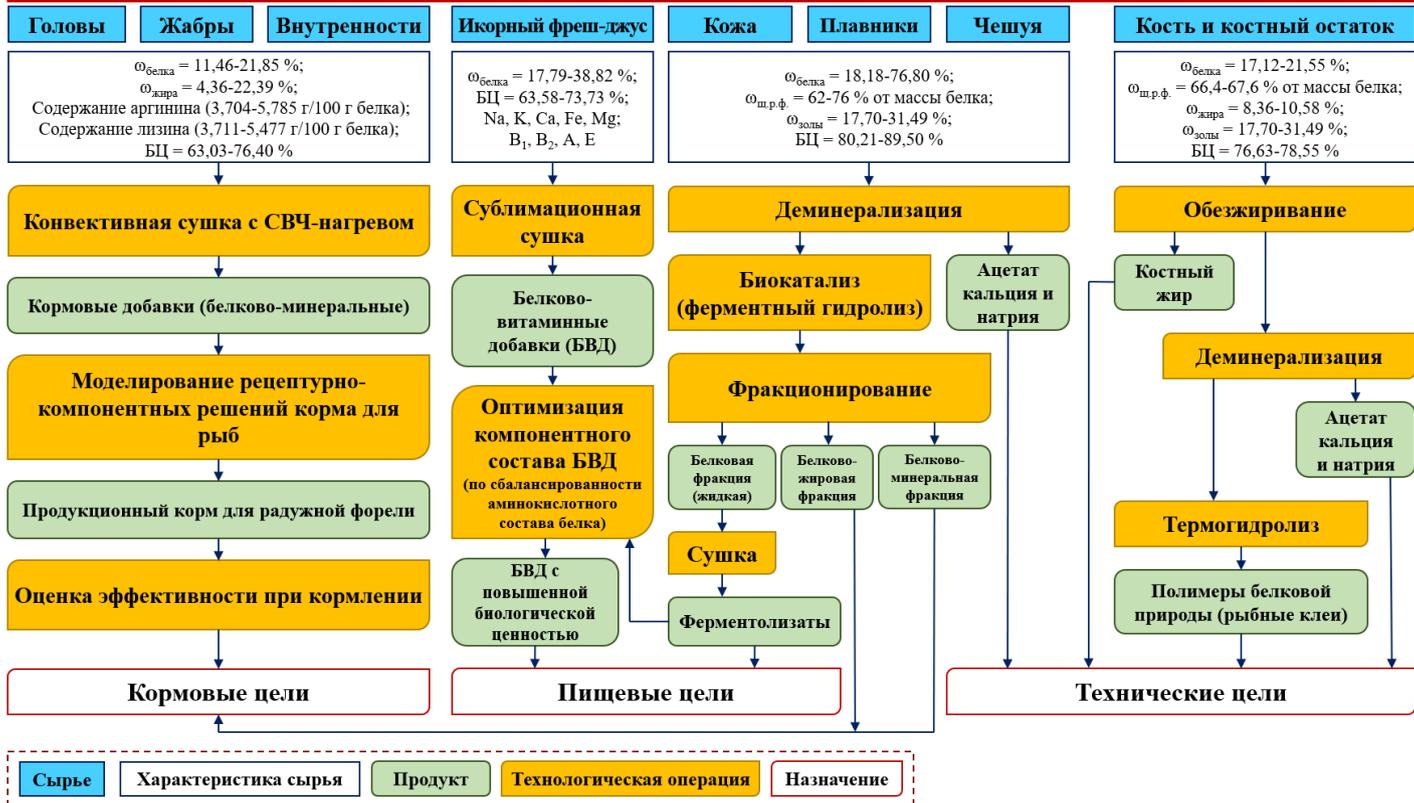


Рисунок 3 - Методология по дифференциации и рациональному использованию вторичного рыбного сырья

**Глава 4. Обоснование биохимического способа получения ферментализатов из вторичного рыбного сырья и оценка их свойств.** Рассматриваются закономерности ферментативного гидролиза ВРС под действием протеолитического ферментного препарата (ФП) «Коллагеназа». Определены условия и технологические параметры получения ферментализатов. Проведены идентификация состава функциональных групп органических веществ с помощью ИК-спектроскопии и электрофоретический анализ молекулярно-массового распределения молекул в ферментализатах. Исследованы физико-химические показатели и показатели безопасности. Проведена оценка БЦ и аллергенности ферментализатов.

Согласно рекомендации по дифференциации и рациональному использованию ВРС проведена оценка эффективности воздействия ФП «Коллагеназа» на белки кожи, плавников, чешуи горбуши и толстолобика.

Коллагеназу использовали в виде водного раствора при дозировках, обоснованных с учетом экспериментально установленной ее протеолитической активности (90 ПЕ/мг ФП), которые составляли 4; 8; 12; 16; 20; 24; 28; 32; 36 и 40 ед. ПА/г используемого сырья.

Ферментный гидролиз проводили с учетом оптимальных факторов: температура – 37 °С, pH = 6,5 (Антипова, Донец, 2002). Гидромодуль (соотношение сырье:водно-спиртовая среда) составил 1:8 с учетом полного погружения исследуемого сырья в раствор.

Установлено, что максимальное накопление в жидкой фракции ферментализатов ВРС водорастворимых продуктов гидролиза достигалось при различной дозировке ФП в зависимости от вида сырья. Для этого в случае кожи горбуши и толстолобика необходима меньшая дозировка ФП (16-20 ед. ПА/г сырья) по сравнению с плавниками данных видов рыб (28-32 ед. ПА/г сырья). Доказано, что динамика накопления водорастворимых продуктов гидролиза в жидкой фракции ферментализатов свидетельствует о том, что рациональные дозировки ФП для максимального гидролиза коллагенового белка ВРС составили: для кожи горбуши – 16 ед. ПА/г сырья; для кожи толстолобика – 20 ед. ПА/г сырья; для чешуи горбуши – 24 ед. ПА/г сырья; для чешуи толстолобика – 28 ед. ПА/г сырья; для плавников горбуши – 28 ед. ПА/г сырья; для плавников толстолобика – 32 ед. ПА/г сырья. Результаты показали, что для максимального гидролиза белков кожи, плавников, чешуи толстолобика необходима более высокая дозировка ФП «Коллагеназа», чем для аналогичного сырья горбуши, в связи с более высоким содержанием коллагеновых белков.

Для обработки экспериментальных данных процесса ферментного гидролиза ВРС построены математические модели на основе регрессионного анализа (рисунки 4).

За основу брали модель вида:

$$y(x) = b_0 + b_1 \cdot x + b_2 \cdot x^2 + b_3 \cdot x^3, \quad (1)$$

где  $b_0, b_1, b_2, b_3$  – оценки коэффициентов модели, полученные в результате обработки экспериментальных данных.

Параметрический синтез модели (поиск оценок коэффициентов модели) проводили по методу наименьших квадратов:

$$Q = \sum_{i=1}^N (y_i^{\text{мод.}} - y_i^{\text{эксп.}})^2 \rightarrow \min, \quad (2)$$

где  $y_i^{\text{мод.}}$  – выходные данные, посчитанные по модели;  $y_i^{\text{эксп.}}$  – выходные данные, полученные в ходе эксперимента;  $N$  – объем выборки выходных данных.

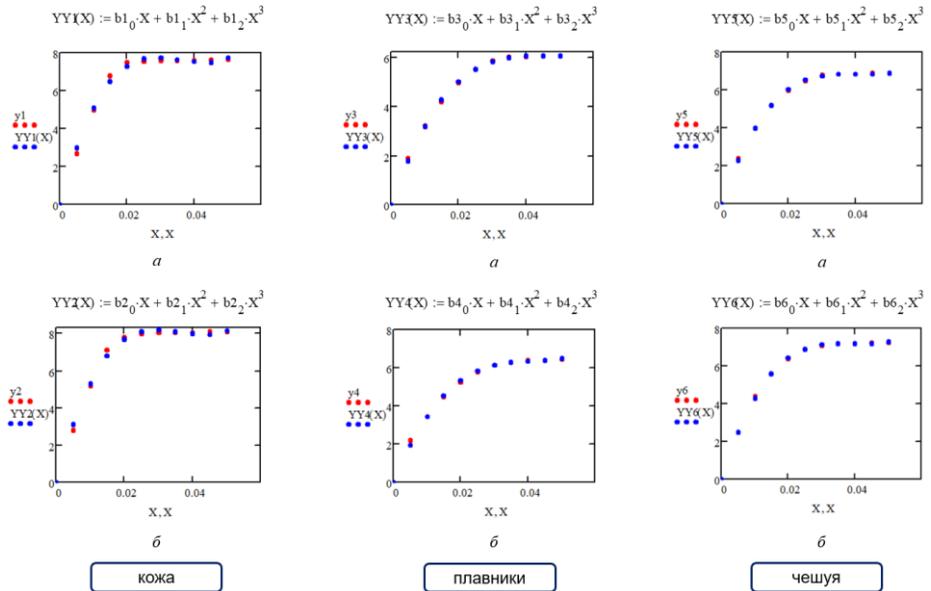


Рисунок 4 - Математические модели процесса ферментного гидролиза ВРС на основе регрессионного анализа: *a* – горбуша; *б* – толстолобик

Для моделирования воспользовались математическим пакетом MathCad. Анализ данных позволяет сделать вывод, что все построенные регрессионные модели являются эффективными. Коэффициенты во всех моделях значимы. Коэффициенты детерминации составили 99,557-99,967 %, следовательно, подобранные дозировки фермента являются оптимальными.

Для обоснования продолжительности ферментной обработки ВРС вносили в реакционную смесь установленные оптимальные дозировки ФП «Коллагеназа» для каждого исследуемого объекта. Продолжительность ферментативного гидролиза составляла от 4 до 40 ч.

Об эффективности действия ферментного препарата судили по накоплению водорастворимых продуктов гидролиза. Экспериментально установлено, что целесообразно вести ферментную обработку различных видов ВРС при выбранных оптимальных дозировках ФП «Коллагеназа» в течение 16-36 ч в зависимости от вида сырья, так как дальнейшее инкубирование реакционных смесей не приводит к накоплению водорастворимых продуктов гидролиза в жидкой фракции ферментолитатов.

Оптимальная продолжительность ферментного гидролиза составила для ферментолитатов: 16 ч - из кожи, 24 ч - из чешуи, 36 ч - из плавников. При продолжительности обработки менее данных показателей происходит недостаточный гидролиз белковых фракций ФП «Коллагеназа», в связи с чем не достигается их полного распада до полипептидов и аминокислот. Следовательно, перед проведением ферментного гидролиза ВРС необходимо применять операцию их сортировки.

Для определения рациональных параметров инактивирования ФП «Коллагеназа» исследовали влияние температуры на протеолитическую активность ФП при оптимальном значении pH = 6,5. Отметим, что скоротеч-

ность гидролиза в течение 10 мин позволяет нам судить только о «моментальной активности», которая показывает при каждой конкретной температуре самое большое значение. Кинетика термоинактивации ФП показала, что при температуре свыше 70 °С препарат полностью теряет свою протеолитическую активность. Доказано, что при тепловой обработке в течение 10 мин при температуре 80 °С коллагеназа полностью инактивируется.

Таким образом, инактивирование ферментного препарата рационально проводить нагреванием жидкой фракции ферментолитатов при температуре 80 °С в течение 10 мин.

На основании результатов исследований по обоснованию наиболее рациональных технологических режимов ферментного гидролиза ВРС предложена модифицированная технология переработки чешуи, плавников, кожи горбуши и толстолобика как основного сырья для получения сухих ферментолитатов (рисунок 5).

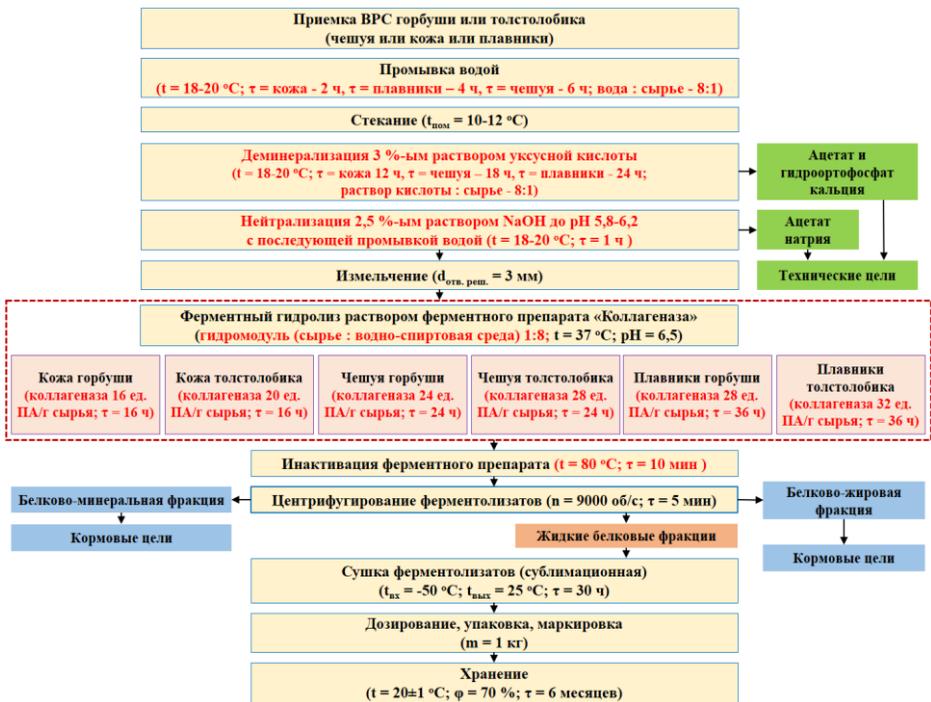


Рисунок 5 - Модифицированная технологическая схема производства ферментолитатов из ВРС

Новизна технологических решений подтверждена патентом РФ № 2711915 «Способ получения белкового гидролизата из вторичного рыбного сырья».

Все исследованные образцы демонстрируют наличие полос поглощения, характерных для валентных и деформационных колебаний атомов, входящих в состав пептидных групп: амид I (1650-1645  $\text{см}^{-1}$ ), амид II (1545-1540  $\text{см}^{-1}$ ), амид III (1275-1236  $\text{см}^{-1}$ ) (рисунок 6).

Установлено, что ИК-спектры ферментолитатов горбуши и толстолобика (рисунок 6, а, б), полученные из плавников (кривая 1) и кожи (кривая 3), демон-

стрируют присутствие полосы  $1432-1428\text{ см}^{-1}$ , соответствующей валентным колебаниям карбоксилат-ионов  $-\text{COO}^-$  и перекрывающейся с максимумом поглощения метильных или метиленовых групп при атоме азота, участвующем в образовании солей, в составе фрагмента  $-\text{CH}_2-\text{NH}_3^+$ .

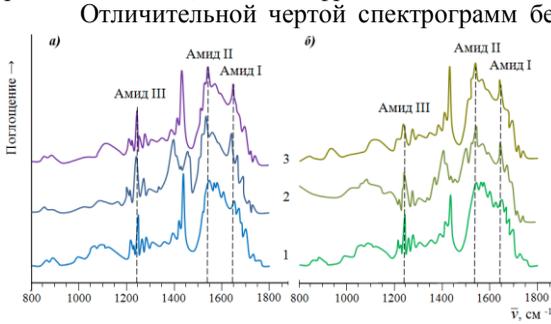


Рисунок 6 - Инфракрасные спектры ферментолитатов: *a* – горбуши; *б* – толстолобика, полученные из: 1 – плавников; 2 – чешуи; 3 – кожи. Диапазон волновых чисел  $\bar{\nu}$  от 1800 до  $800\text{ см}^{-1}$

смещением полосы колебаний карбоксилат-ионов до  $1400\text{ см}^{-1}$  и появлением максимумов поглощения деформационных колебаний N-H в составе первичных ( $1460\text{ см}^{-1}$  для ферментолитатов горбуши) и вторичных ( $1500\text{ см}^{-1}$  – для толстолобика) аминогрупп (рисунок 6, *a* и *б*, кривая 2). Данный факт может быть объяснен снижением доли свободных аминогрупп, участвующих в солеобразовании.

Установлено (рисунок 7), что гидролиз белкового сырья из чешуи горбуши и толстолобика приводит к образованию относительно меньшего количества

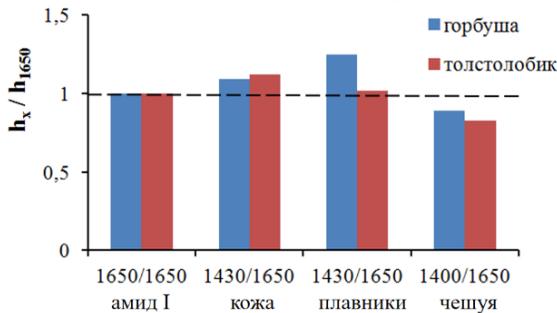


Рисунок 7 - Отношение высот пиков  $h_x / h_{1650}$  ИК-спектров для ферментолитатов горбуши и толстолобика, полученных из кожи, плавников ( $x = 1430\text{ см}^{-1}$ ) и чешуи ( $x = 1400\text{ см}^{-1}$ )

концевых карбоксильных групп, чем число амидных связей в пептидных цепочках. В свою очередь, для ферментолитатов плавников и кожи характерно более высокое содержание карбоксилат-ионов по сравнению с пептидными связями. Причем для горбуши гидролиз протекает с образованием большего количества концевых фрагментов. Эти данные позволяют предположить более глубокое протекание гидролиза белковых цепей для плавников и кожи исследуемых видов рыб, чем в случае ферментолитата их чешуи. Наличие большого количества концевых фрагментов говорит о преимущественном содержании белковых и пептидных фрагментов, а также наличии свободных аминокислот в составе ферментолитатов.

горбуши и толстолобика (рисунок 6, *a* и *б*, кривая 1) является появление интенсивных полос поглощения в диапазоне  $1576-1563\text{ см}^{-1}$ , соответствующих колебаниям карбоксилат-ионов и первичных аминогрупп и обусловленных присутствием глутаминовой, аспарагиновой кислот и их солей в составе ферментолитатов.

Спектральное поведение образцов чешуи горбуши и толстолобика отличается смещением полосы колебаний карбоксилат-ионов до  $1400\text{ см}^{-1}$  и появлением максимумов поглощения деформационных колебаний N-H в составе первичных ( $1460\text{ см}^{-1}$  для ферментолитатов горбуши) и вторичных ( $1500\text{ см}^{-1}$  – для толстолобика) аминогрупп (рисунок 6, *a* и *б*, кривая 2). Данный факт может быть объяснен снижением доли свободных аминогрупп, участвующих в солеобразовании.

Установлено (рисунок 7), что гидролиз белкового сырья из чешуи горбуши и толстолобика приводит к образованию относительно меньшего количества концевых карбоксильных групп, чем число амидных связей в пептидных цепочках. В свою очередь, для ферментолитатов плавников и кожи характерно более высокое содержание карбоксилат-ионов по сравнению с пептидными связями. Причем для горбуши гидролиз протекает с образованием большего количества концевых фрагментов. Эти данные позволяют предположить более глубокое протекание гидролиза белковых цепей для плавников и кожи исследуемых видов рыб, чем в случае ферментолитата их чешуи. Наличие большого количества концевых фрагментов говорит о преимущественном содержании белковых и пептидных фрагментов, а также наличии свободных аминокислот в составе ферментолитатов.

Увеличение концентрации гидролизованного белка в ферментолізатах и степени ферментного гидролиза хорошо коррелирует с изменением других параметров ферментолізата, молекулярно-массового состава.

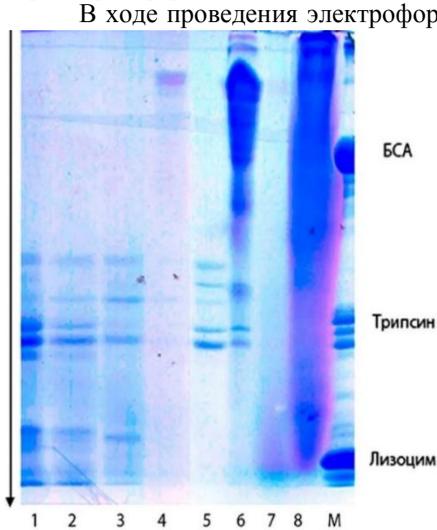


Рисунок 8 - Белковый спектр ферментолізатов:  
 1 - ферментолізат из плавников горбуши;  
 2 - ферментолізат из плавников толстолобика;  
 3 - ферментолізат из чешуи горбуши;  
 4 - ферментолізат из чешуи толстолобика;  
 5 - ферментолізат из кожи горбуши;  
 6 - ферментолізат из кожи толстолобика;  
 7, 8 – тест; М - белковые метчики: БСА - бычий сывороточный альбумин. Стрелкой показано направление тока

В ходе проведения электрофореза по методу Лэммли (рисунок 8) доказано, что все белковые фракции, проявившиеся в геле в ходе эксперимента, можно разделить на 3 зоны: верхняя, катодная, с  $R_f$  от 0,013 до 0,465 (наиболее «тяжелые» белковые фрагменты с молекулярной массой от 36000 до 90000 Да); средняя часть геля – с  $R_f$  от 0,507 до 0,653 (полипептиды с молекулярной массой от 20000 до 33000 Да); нижняя часть, анодная, с  $R_f$  от 0,792 до 0,889 (низкомолекулярные пептидные фрагменты от 13000 до 16000 Да).

Наибольшим количеством белковых фракций обладает образец № 6 – ферментолізат из кожи толстолобика. Хотя деление полос недостаточно четкое, тем не менее, в геле визуализируются 15 белковых фракций в катодной и средней частях геля, однако в анодной части геля, как и в образце из кожи горбуши, полос нет. Таким образом, наиболее выраженные зоны наблюдаются у ферментолізатов из ВРС горбуши. Белковые зоны для образцов № 1-5 представлены в основном низкомолекулярными пептидными фрагментами с молекулярной массой от 13 до 33 кДа, а следовательно,

водорастворимыми и усвояемыми.

Ферментный гидролиз позволяет получить высокий выход белковых фракций из всех видов исследуемого ВРС (82,5-94,8 % от первоначального содержания белка в сырье), что доказывает целесообразность применения ФП «Коллагеназа» и научно обоснованный выбор технологических режимов получения ферментолізатов.

Оценка пищевой и биологической ценности показала, что массовая доля белка в ферментолізатах составляет от 93,76 до 96,15 % в зависимости от вида сырья, что дает нам основание утверждать, что они могут улучшать сбалансированность рациона человека, являясь важным дополнительным источником легкоусвояемых белков. БЦ ферментолізатов составила 72,76-88,80 %.

Экспериментальные данные свидетельствуют о высокой степени деструкции белков ферментолізатов ферментами желудочно-кишечного тракта человека (92-96 %).

По микробиологическим показателям и показателям безопасности ферментолізаты соответствовали требованиям ТР ЕАЭС 040/2016 и ТР ТС 021/2011, следовательно, являются безопасными для организма человека.

Изучение аллергизирующих свойств ферментоллизатов на несенсибилизированных животных показало, что они не обладают аллергизирующим действием: показатель реакции специфического лизиса лейкоцитов составил от 3,61 до 8,54 %, а количество дегранулированных тучных клеток у подопытных животных практически не отличается от контрольных и показатель ПДТК не превышает 0,2.

На основании комплексных исследований описанных выше предложены рекомендации по применению ферментоллизатов и разработаны ТУ 10.89.19 – 003 – 03732134 – 2019 и ТИ к ним «Белковые ферментоллизаты для пищевой промышленности». Технология прошла производственные испытания и внедрена в условиях ООО «НововоронежРыба» (п. Колодезный Воронежская область).

**Глава 5. Новые технологические решения применения белкового ферментоллизата при производстве продуктов массового потребления.** Описаны направления и инновационные технологии использования основного и вторичного рыбного сырья при производстве продуктов массового потребления.

Обоснованы условия и технологические параметры процесса сушки икорного фреш-джуса, полученного из охлажденных или замороженных ястыков горбуши. Разработана технология получения белково-витаминных добавок на основе икорного фреш-джуса № 1 или № 2 (рисунок 9). По результатам исследований получен патент РФ № 2676312 «Способ получения белково-витаминной добавки из икорного джуса».

Полученные белково-витаминные добавки имели схожие вкус и запах - икорный, но отличались по цвету: БВД № 1 – от светло-желтого до оранжевого, а БВД № 2 – от оранжевого до светло-коричневого.

Анализ результатов исследований химического состава БВД № 2 и БВД № 1 показал, что они богаты белком (43,80-56,76 %) и жиром (27,91-31,01 %). Следует отметить высокое содержание золы в белково-витаминных добавках (6,62-14,74 %), что свидетельствует о наличии большого количества минеральных веществ (натрий (202,07-268,66 мг/100 г), калий (69,15-96,13 мг/100 г), кальций (64,61- 87,33 мг/100 г), магний (117,01-149,81 мг/100 г), железо (318,22-446,16 мг/100 г). Отметим, что использование сублимационной сушки позволило не только сконцентрировать основные питательные вещества в белково-витаминных добавках, но и сохранить в них витамины. Витаминный состав представлен: В<sub>1</sub> (0,47-0,64 мг/100 г), В<sub>2</sub> (0,37-0,45 мг/100 г), А (776,83-1043,83 МЕ), Е (8,93-11,03 МЕ). БЦ белков БВД составила: для № 1 – 73,73 %, для № 2 – 63,58 %.

На основании проведенных комплексных исследований установлено, что БВД № 1 и 2 целесообразно обогатить полученными белковыми ферментоллизатами из ВРС горбуши и толстолобика, что позволит сбалансировать аминокислотный состав белково-витаминных добавок и повысить их пищевую и биологическую ценность.

Используя MSExcel и метод наименьших квадратов, была разработана программа моделирования и оптимизации рецептурного состава белкового компонента продукта на основе данных аминокислотного состава «Protein». С помощью программы смоделированы и оптимизированы рецептуры БВД.

В качестве компонентов при моделировании рецептуры использовали: БВД № 1; БВД № 2; ферментоллизаты. Биологическая ценность белкового компонента оптимизированных рецептур БВД составила для № 1 – 89,58 %, а для

№ 2 – 88,75 %. Применение ферментолитов из ВРС при оптимизации рецептур БВД позволило увеличить их биологическую ценность для № 2 на 25,17 %, а для № 1 - на 15,85 %.

Следовательно, создание продуктов питания на основе оптимизированных рецептур БВД можно считать целесообразным и перспективным.

С целью расширения ассортиментной линейки продуктов эмульсионного типа на примере майонезного соуса «Цезарь», повышения их биологической и пищевой ценности, вовлечения в производство ВРС и, как следствие, снижения себестоимости продукции предложен способ замены анчоусов в масле в классической рецептуре (ГК «Русский аппетит») на оптимизированные БВД № 1 и 2.

Проведенные исследования ароматических и цветовых характеристик майонезных соусов с различным содержанием в рецептуре БВД № 1 или 2 показали, что целесообразно вносить в рецептуру майонезного соуса БВД № 1 с дозировкой равной 1,5 % взамен части анчоусов в масле. Более высокая массовая доля БВД № 1 способствует появлению осязательного нежелательного привкуса и аромата.

С помощью программы моделирования компонентного состава по принципу сбалансированности микронутриентов «Genetic 2.1» было проведено сравнение базовой и модифицированной рецептур майонезных соусов. Внесение БВД № 1 позволяет повысить общую функцию желательности с 0,86 до



Рисунок 9 - Технологическая схема получения белково-витаминных добавок на основе икорного фреш-джуса № 1 или 2

0,91 и сбалансировать аминокислотный состав, приблизив его практически к «идеальному белку». Доказано, что внесение БВД № 1 в количестве 1,5 % к массе соуса положительно влияет на показатели биологической ценности (91 %) и перевариваемости белкового компонента майонезного соуса (92,3 %). По результатам комплексных исследований разработан комплект ТУ 10.20.26 – 004 – 15959079 – 2019 и ТИ к нему «Майонезный соус «Цезарь» с белково-витаминной добавкой» и получен патент РФ № 2742619 «Майонезный соус». Технология прошла производственные испытания в условиях ООО «Прайм-Рыба» (г. Воронеж).

Созданы рецептуры рубленых полуфабрикатов (рыбные котлеты «Нежные») с добавлением майонезного соуса с БВД в количестве 4 % к массе основного сырья на стадии перемешивания. Исследования показали, что внесение этого количества нового компонента повышает функционально-технологические (ВСС – 40,1 %, ВУС – 55,8 %), реологические (липкость – 19 кг/см<sup>2</sup>) и органолептические (сочность и нежность) свойства рыбного фарша, а также пищевую ценность готового продукта. По результатам комплексных исследований разработан комплект ТУ 10.20.13 – 001 - 03732134 - 2019 и ТИ к нему «Рыбные полуфабрикаты рубленые замороженные» и получен патент РФ № 2711792 «Способ производства полуфабрикатов рыбных рубленых замороженных». Технология прошла производственные испытания и внедрена в условиях ООО «НововоронежРыба» (п. Колодезный, Воронежская область).

Доказана эффективность применения майонезного соуса с БВД в технологии получения рьетов рыбных («Рьет лососевый с майонезным соусом с БВД и миндалем»). Технологический процесс производства рьета осуществляли по традиционной технологической схеме. Отличием являлось добавление на стадии приготовления фарша майонезного соуса с БВД в количестве 4 % к массе сырья взамен 2 % сливочного масла и 2 % мягкого творога с целью улучшения органолептических показателей, повышения пищевой ценности и качественных характеристик готового продукта. По результатам комплексных исследований разработан комплект ТУ 10.20.13 – 002 – 03732134 – 2019 и ТИ к нему «Риеты рыбные» и получен патент РФ № 2740581 «Способ получения пастообразного рыбного продукта». Технология прошла производственные испытания и внедрена в условиях ООО «НововоронежРыба» (п. Колодезный, Воронежская область).

Показана целесообразность использования майонезного соуса с БВД в технологии производства рецептурных композиций рыбных масел («Селедочное», «Любительское», «Лососевое», «Пикантное»). По результатам проведенных комплексных исследований разработан комплект ТУ 10.20.13 – 003 – 15959079 – 2019 и ТИ к нему «Масло рыбное и икорное». Технология прошла производственные испытания в условиях ООО «Прайм-Рыба» (г. Воронеж). Полученные продукты характеризуются высоким показателем биологической ценности белков (79,20-81,12 %), что связано с высокой степенью сбалансированности состава аминокислот.

Разработанные рыбные продукты соответствуют требованиям, предъявляемым ТР ЕАЭС 040/2016 и ТР ТС 021/2011, и являются безопасными для человека в микробиологическом и токсикологическом отношении. Экспериментальные данные свидетельствуют о высокой степени деструкции белков ферментами желудочно-кишечного тракта человека, что составляет для новых рыбных продуктов 86,5 %.

Таким образом, обоснование и реализация соответствующих рецептурных компонентных решений, информативность населения о инновационных продуктах на базе глубокого научного обоснования соответствующих технологических решений во многом обеспечивает коренное изменение структуры производства продуктов питания и мобилизацию научно-производственного потенциала страны на выполнение одной из основных социальных проблем, связанных с обеспечением самой жизни человека.

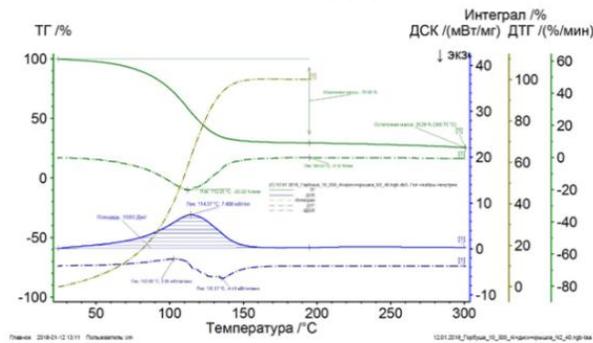
**Глава 6. Обоснование условий, параметров и режимов производства кормов для аквакультуры.** Разработаны технологии максимального использования ВРС в качестве основного сырья при производстве корма для радужной фо-

рели, введение которого в рацион оказывает положительное влияние на физиологическое состояние и показатели химического состава тела рыб.

Поскольку белоксодержащее сырье является наиболее дорогостоящим рецептурным компонентом, целесообразно для выработки биологически полноценного корма в качестве основного сырья использовать сухие рыбные смеси (СРС), полученные на основе ВРС. Учитывая высокую массовую долю голов (с жабрами) и внутренностей (без учета гонад) (18,8-26,4 %) при разделке рыб, главной задачей являлось вовлечение их в основное производство, так как они в настоящее время представляют прямые потери.

Объектами исследований являлись: рыбная смесь (РС) ВРС (головы и внутренности в соотношении 70:30) горбуши (далее по тексту РС № 1); рыбная смесь (РС) ВРС (головы и внутренности в соотношении 70:30) толстолобика (далее по тексту РС № 2).

Для получения информации о кинетике процесса термолиты рыбных смесей использовали метод дифференциально-термического анализа (рисунок 10).



a

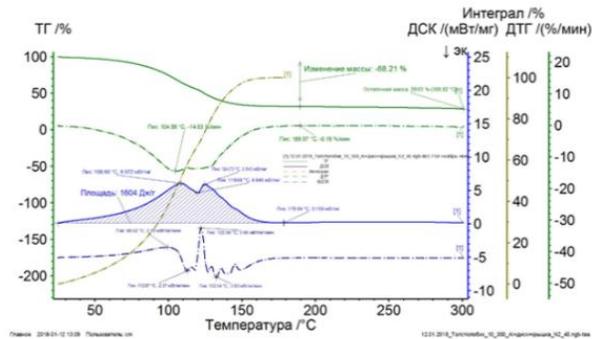


Рисунок 10 – Дериватограммы рыбных смесей:  
a – РС № 1; б – РС № 2

ной сушки с СВЧ-нагревом РС установлена продолжительность сушки исследуемых РС до конечной влажности 12 %, что составило: для РС № 1 - 110 мин, а для РС № 2 – 120 мин. Выход сухих рыбных смесей (СРС) составил 38-45 % в зависимости от используемого ВРС.

Установлено, что потеря массы для обоих образцов происходила в интервале температур от 303 до 573 К. Установлены периоды дегидратации воды и преобразования сухих веществ при термическом воздействии на исследуемые РС, а также выявлены температурные зоны, которые соответствуют высвобождению влаги с различной формой и энергией связи, что позволило спрогнозировать режимные параметры процесса сушки и выбрать наиболее эффективный способ их обезвоживания, гарантирующий получение качественных и безопасных сухих РС с заданными физико-химическими показателями.

На основании полученных экспериментальных кривых сушки и кривых скорости конвективной

Для оценки перспектив использования СРС в производстве кормов для радужной форели проводили комплексное исследование химического состава. Исследования показали, что СРС № 1-2 содержат большое количество белка (38,5-50,8 % соответственно), что сопоставимо с содержанием данного компонента в полноценных продукционных кормах для хищных лососевых рыб (34-45 %). Помимо протеина, одним из важнейших составляющих продукта являются липиды. Жиры, содержащиеся в СРС (32,9-33,6 %), являются источником омега-3 и омега-6 полиненасыщенных жирных кислот, участвующих в поддержании иммунитета, снижающих стресс. Следует отметить, что высокая доля жира в СРС может исключить дополнительное введение в корма рыбьего жира, а следовательно, снизить себестоимость корма без потери его калорийности. Содержание золы в СРС составляет от 10,6 до 21,5 % в зависимости от вида сырья, что свидетельствует о высоком содержании минеральных веществ.

Доказано, что отличительной чертой СРС является высокое содержание аминокислот. В образцах содержатся все десять незаменимых для радужной форели аминокислот, сумма которых составляет 45,349-45,379 г на 100 г белка, что соответствует их обычному содержанию в полноценных для рыб белках корма 35-50 % (М.А. Щербина, Е.А. Гамыгин, 2006).

Установлено, что СРС являются одними из ценнейших белковых продуктов, удовлетворяющих от 56,9 до 255,6 % суточной потребности радужной форели в незаменимых аминокислотах. Недостаток или избыток отдельных аминокислот в рационе может быть восполнен путем подбора и оптимизации различных компонентов корма.

Показано, что СРС содержат большое количество ненасыщенных жирных кислот (ННЖК) (15,38-29,90 г/100 г СРС). При этом общее количество полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) в жире СРС составляет от 2,51 до 6,48 г/100 г сухих рыбных смесей в зависимости от вида используемого сырья. Количество непредельных жирных кислот, относящихся к омега-3, составляет от 0,22 до 1,18 г/100 г СРС.

Полученные СРС являются источниками жирорастворимых витаминов А (1500-3400 М.Е.) и Е (2,61-2,74 мг/100 г СРС), а также витаминов В<sub>1</sub> (0,46 мг/100 г СРС) и В<sub>2</sub> (1,52-2,72 мг/100 г СРС).

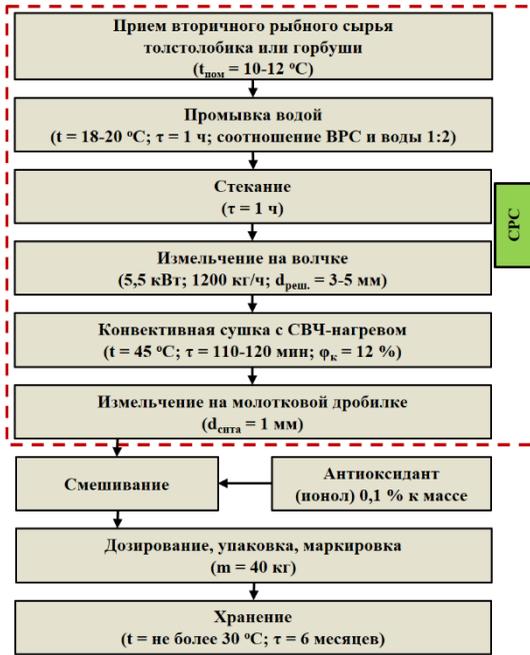
Комплекс макро- и микроэлементов СРС включает в себя 25 наименований. Сравнительный анализ минерального состава СРС из ВРС показал, что в СРС № 2 более чем в 2,5 раза выше содержание кальция и почти в 2 раза больше содержание фосфора. Содержание калия находится на одном уровне. Содержание меди в СРС № 1 в 10 раз больше, чем в СРС № 2. В обоих образцах СРС обнаружено содержание ценного микроэлемента селена (0,96-2,91 мг/кг СРС). По другим микро- и макроэлементам СРС № 1-2 находятся приблизительно на одинаковом уровне.

Сравнение минерального состава экспериментальных СРС на основе ВРС на примере потребности радужной форели в минеральных веществах (мг/кг корма) (Jaunseu, 1995) показало, что СРС № 1-2 с избытком покрывает потребность радужной форели (кальций – 802,1-2088,9 %; фосфор – 224,6-382,6 %; магний – 172,0-194,7 %; железо – 376,1-1362,7 %; цинк – 207,3-633,0 %; йод – 80,4-85,0 %; медь – 55,3-360,3 %; селен – 76,8-232,8 %; кобальт – 180-720 %).

Таким образом, полученные СРС богаты эссенциальными веществами, а по содержанию таких нутриентов, как белок, жир, витамины А, Е, В<sub>1</sub>, кальций,

фосфор, калий, натрий, магний и железо, могут полностью удовлетворить суточную потребность их в рационе кормления радужной форели.

На основании полученных результатов предложена технологическая схема



ма получения кормовых добавок (КД) на основе СРС из ВРС (рисунок 11). Охраноспособность технологического решения подтверждена получением патента РФ № 2703158 «Способ получения белково-минеральной кормовой добавки».

На основании требований к потребности в питательных веществах радужной форели и с учетом ранее полученных данных об аминокислотном и витаминно-минеральном составе СРС, а также системы компьютерного моделирования рецептурно-компонентных решений «Genetic 2.1» была разработана рецептура корма для радужной форели «ФишФуд» с полной заменой рыбной муки на кормовые добавки. Содержание в рецептуре корма КД № 1 из СРС горбуши составило 24,19 %, а КД № 2 из СРС толстолобика – 36,59 %. Дополнительно может быть рекомендовано для кормления рыб в органической аквакультуре.

Функция желательности полученного корма по сбалансированности аминокислотного, минерального и витаминного составов составила 0,95, 0,70 и 0,69 соответственно, что соответствует оценке «отлично» и «хорошо» по шкале желательности Харрингтона (рисунок 12, 13, 14).

Расчет биологической

ценности белка показал, что

Рисунок 11 - Технологическая схема производства кормовой добавки из ВРС горбуши или толстолобика

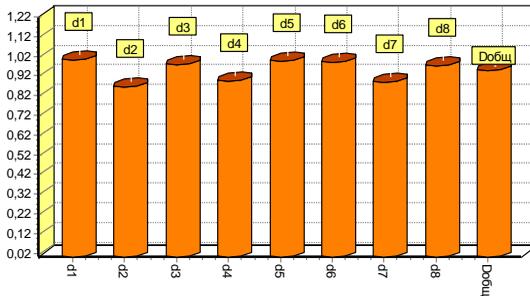


Рисунок 12 - Сбалансированность рыбного корма «ФишФуд» по аминокислотному составу: Доблиц – общая функция желательности; d1 – лейцин; d2 – изолейцин; d3 – лизин; d4 – метионин+цистин; d5 – фенилаланин+тирозин; d6 – треонин; d7 – триптофан; d8 – валин

корм «ФишФуд» имеет высокую БЦ, которая составила 95,18 %, при коэффициенте различия аминокислотного сора (КРАС) 4,82 %.

Проведенные комплексные исследования химического состава показали, что разработанный производственный корм «ФишФуд» способен удовлетворить

потребности в основных питательных веществах (белках, минералах и витаминах на 95, 70 и 69 % соответственно) при кормлении радужной форели.

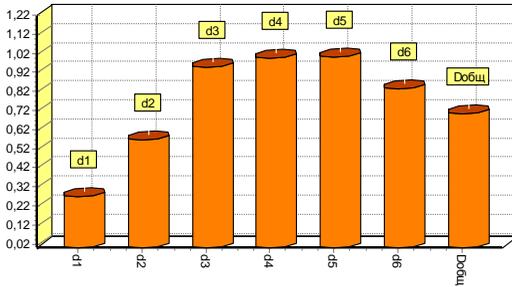


Рисунок 13 - Сбалансированность рыбного корма «ФишФуд» по минеральному составу: D<sub>общ</sub> – общая функция желатильности; d1 – кальций; d2 – магний; d3 – фосфор; d4 – цинк; d5 – медь; d6 – марганец

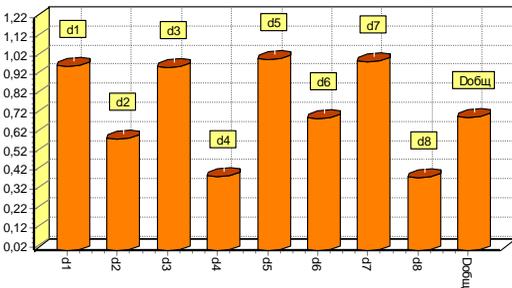


Рисунок 14 - Сбалансированность рыбного корма «ФишФуд» по витаминному составу: D<sub>общ</sub> – общая функция желатильности; d1 – витамин E; d2 – витамин B<sub>1</sub>; d3 – витамин B<sub>2</sub>; d4 – витамин B<sub>3</sub>; d5 – витамин B<sub>4</sub>; d6 – витамин B<sub>5</sub>; d7 – витамин B<sub>6</sub>; d8 – витамин B<sub>9</sub>

онным кормом «ФишФуд», а контрольную – продукционным кормом Соррепс (Нидерланды) в количестве 1,4 % к массе рыб в группе. Продолжительность кормления составила 56 сут.

Результаты испытаний продукционного корма «ФишФуд» показали его высокие продуктивные свойства (таблица 4).

Таблица 4 - Показатели выращивания радужной форели

Показатели выращивания	Группа рыб	
	Опытная	Контрольная
Масса начальная, кг	50,170	50,200
Масса конечная, кг	106,809	107,526
Абсолютный прирост, кг	56,639	57,326
Среднесуточный прирост, кг/сут	1,011	1,024
Среднесуточный прирост, %:		
на 14-е сут	1,38	1,38
на 28-е сут	1,36	1,37
на 42-е сут	1,31	1,32
на 56-е сут	1,29	1,30
Кормовые затраты, ед.	0,99	1,00
Выживаемость, %	98	98
Период выращивания, сут	56	56

По микробиологическим и физико-химическим показателям корм «ФишФуд» соответствует нормативной документации для данных видов кормов.

По результатам комплексных исследований разработан СТО 0203215435 – 001 – 2019 «Продукционный корм «ФишФуд» для радужной форели» и получен патент РФ № 2621991 «Способ получения корма для прудовых рыб». Технология апробирована в условиях Глава КФХ Журавлев Ю.А. (п.г.т. Каменка, Воронежская область).

Оценку эффективности использования разработанного продукционного корма «ФишФуд» при выращивании радужной форели осуществляли на базе кафедры управления качеством и технологии водных биоресурсов в условиях ИТЦ «Аквабиоресурс» ФГБОУ ВО «ВГУИТ» (г. Воронеж).

Кормление радужной форели проводили в УЗВ. Опытную группу рыб кормили продукционным кормом «ФишФуд», а контрольную – продукционным кормом Соррепс (Нидерланды) в количестве 1,4 % к массе рыб в группе. Продолжительность кормления составила 56 сут.

Установлено, что абсолютный прирост радужной форели в контрольной группе был выше на 1,2 % (на 0,687 кг) по сравнению с контролем, но кормовые затраты за весь период кормления были меньше при кормлении опытной партии и составили 0,99. Выживаемость рыб в опытной и контрольной группах составила 98 %. Таким образом, анализ показателей выращивания радужной форели в лабораторном опыте выявил эффективность продукционного корма «ФишФуд».

Показано, что введение в рацион кормления радужной форели продукционного корма «ФишФуд» оказывает положительное влияние на показатели химического состава тела рыб (содержание белка на 4,5 % выше, чем при кормлении кормом Сорrens (Нидерланды)). Также отмечается снижение в теле опытной рыбы массовой доли жира на 3,7 % и увеличение содержания золы на 12,4 % по сравнению с контролем, что доказывает его дальнейшую перспективу использования в качестве корма отечественного производства для рыб, выращенных в аквакультуре.

Исследования органолептических показателей радужной форели в опытной и контрольной группе показали соответствие ГОСТ 24896-2013.

Проведенная сравнительная гистоморфологическая оценка эффективности применения продукционного корма «ФишФуд» и Сорrens (Нидерланды) в рационах кормления радужной форели доказала, что в морфологии внутренних органов радужной форели принципиально выраженных патологических изменений нет.

Проведенные испытания радужной форели подтверждают ее соответствие требованиям ТР ТС 021/2011 и ТР ЕАЭС 040/2016 «О безопасности рыбы и рыбной продукции».

По результатам комплексных исследований разработаны практические рекомендации «Продукционный корм «ФишФуд» для радужной форели в установках замкнутого водоснабжения (УЗВ)».

**Глава 7. Создание инновационных композиционных материалов на основе полимеров белковой природы.** Обоснованы условия, параметры и режимы получения полимера белковой природы из кости и костного остатка (ККО) рыб и предложена инновационная технология полимерно-цементных смесей (ПЦС), используемых в строительной индустрии.

Особенностью первого этапа подготовки ККО рыб является его обезжиривание водой в открытом котле при температуре 90 °С в течение 180 мин. Влияние продолжительности гидротермической обработки на изменение массовой доли жира в ККО рыб показало, что содержание жира в образцах начало снижаться в первые часы обезжиривания и достигла максимального эффекта для ККО горбуши к 2 ч – массовая доля жира составила 1,85 %, а для ККО толстолобика к 3 ч обезжиривания – массовая доля жира составила 2,13 %. Более длительная продолжительность обезжиривания ККО рыб нецелесообразна, так как массовая доля жира в образцах не изменяется.

Для моделирования и многократного проведения экспериментов разработана компьютерная программа «Программа для моделирования сушки продуктов из рыбы с дополнительным СВЧ-нагревом» на языке Object Pascal в интегрированной среде программирования Borland Delphi 7. Программа предназначена для моделирования процесса сушки ККО рыб путем решения задачи тепло- и влагопереноса на кубической сетке с учетом комбинированной технологии нагрева (конвективный и СВЧ-нагрев). С помощью данной программы оптимизированы параметры сушки ККО (свидетельство о государственной регистрации

программы для ЭВМ № 2019664445 «Программа для моделирования процесса сушки продуктов из рыбы с дополнительным СВЧ-нагревом»).

С целью деминерализации ККО рыб проводили мацерацию при температуре 20 °С различными концентрациями растворов уксусной кислоты. Установлено, что 9 %-ная концентрация раствора уксусной кислоты является оптимальной для обработки ККО при продолжительности процесса для горбуши – 36 ч, а для толстолобика – 48 ч. При мацерации 12 %-ным раствором кислоты после 24 ч обработки ККО горбуши и 36 ч обработки ККО толстолобика наблюдали разрушение органических тканей и появление хлопьевидного осадка - предположительно осаждение белка.



Рисунок 15 - Технологическая схема получения рыбного клея из ККО горбуши или толстолобика

Установлено, что оптимальными температурными режимами для извлечения из ККО продуктов распада коллагена являются температуры 70 и 75 °С в зависимости от вида рыб. При данных значениях наблюдаются наибольшие адгезионные свойства клеевых растворов: для клевого раствора, полученного из ККО горбуши, максимальное значение адгезии составило 1731 Н/м при температуре 70 °С, а для клевого раствора из ККО толстолобика – 1864 Н/м при значении температуры 75 °С.

Доказано, что продолжительность гидротермического воздействия на сырье для более полного извлечения глютена и других продуктов распада коллагена составила: для ККО горбуши – 4 ч, для ККО толстолобика – 5 ч. Увеличение продолжительности гидротермического воздействия на ККО рыб более 5 ч привело к дальнейшим деструктивным процессам, что снижало качество готового продукта.

На основании проведенных комплексных исследований предложена технологическая схема получения полимеров белковой природы (рыбные клеи) из ККО исследуемых видов рыб (рисунок 15).

По результатам комплексных исследований разработан СТО 03732134 – 002 – 2019 «Рыб-

ный клей из костей промысловых рыб «Биоклей» и получен патент РФ № 2711801 «Способ получения рыбного клея из костей промысловых рыб».

Изучение аллергизирующих свойств рыбных клеев из ККО горбуши и ККО толстолобика на несенсибилизированных животных показало, что они не обладают аллергическим действием.

Известно, что введение различных полимеров как синтетических, так и природных в цементные смеси способствует повышению пластических характеристик готового продукта. Внесение рыбного клея в состав ПЦС кардинально меняет его физико-химические свойства и структуру. Для исследования влияния рыбного клея на физико-химические показатели ПЦС было разработано шесть рецептур с различной массовой долей внесения рыбного клея (на примере рыбного клея из ККО толстолобика) в их состав (взамен клея ПВА).

Установлено, что использование рыбного клея как природного полимера в рецептурах ПЦС позволит полностью заменить синтетические клеи без снижения физико-химических показателей готовых смесей. При внесении в ПЦС рыбного клея взамен клея ПВА наблюдается увеличение показателя адгезии с 1,9 до 2,2 МПа. Массовая доля рыбного клея при этом находится в диапазоне от 0,5 до 1,5 % к массе ПЦС. Дальнейшее увеличение концентрации рыбного клея от 2,0 до 2,5 % в рецептуре ПЦС приводит к незначительному снижению показателя адгезии с 2,2 до 1,9 МПа, но данные значения соответствуют показателю адгезии (1,9 МПа) для рецептуры ПЦС с клеем ПВА, взятого за прототип. При увеличении концентрации рыбного клея до 3 % к массе смеси, т.е. с полной заменой клея ПВА, в рецептуре наблюдается снижение показателя адгезии ниже, чем данный показатель в контрольной рецептуре.

Доказано, что использование рыбного клея не оказывает вредного воздействия на организм человека вследствие того, что не обладает аллергическим действием.

Полимерно-цементные смеси апробированы в условиях ООО «Твой Дивайн» (г. Воронеж).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основе результатов патентного поиска установили, что в настоящее время недостаточно сведений или они отсутствуют совсем о химическом составе, безопасности, пищевой и биологической ценности вторичного рыбного сырья и технологиях его переработки. Обобщение данных о современных направлениях применения инновационных технологий с получением широкого спектра конкурентоспособных товаров высокого потребительского спроса, позволяет рационально использовать вторичное сырье рыбной отрасли, повысив выход полезных продуктов с единицы сырья, организовать новые безопасные производства и повысить качество изготавливаемых продуктов и внести значительный вклад в экономику страны.

2. Углубленное исследование химического состава, массового выхода и обобщение имеющейся информации позволило доказать перспективность и реальные возможности вовлечения вторичного рыбного сырья в основное производство для создания продуктов пищевого, кормового и технического назначения: белковые ферментоллизаты, белково-витаминная добавка, майонезный соус, рубленые полуфабрикаты, пастообразные продукты, рыбные масла, кормовые добавки и корма, рыбный клей.

3. В результате комплексной оценки вторичного рыбного сырья, в том числе икорного производства, доказана перспектива и реальная возможность вовлечения его в производство продуктов пищевого, кормового и технического назначения: содержание белка (11,46-76,80 %), жира (0,87-22,39 %), минеральных веществ (0,86-31,49 %). Также отмечено высокое содержание витаминов А (139,24-187,10 МЕ), Е (1,60-1,98 МЕ), В<sub>1</sub> (0,01-0,41 мг/100 г), В<sub>2</sub> (0,01-0,29 мг/100 г). Вторичное рыбное сырье может служить дополнительным источником основных питательных и функциональных компонентов. Оно безопасно, имеет высокую пищевую и биологическую ценность (БЦ = 63,58-89,50 %). На основе полученных данных систематизированы сведения о характеристиках и свойствах вторичного рыбного сырья для практического использования учеными и специалистами-практиками. Предложен дифференцированный сбор и направления рационального использования в зависимости от вида ВРС.

4. Применение биотехнологического метода обработки позволяет научно обосновать преимущества предлагаемого технологического решения: установлено, что ферментную обработку вторичного рыбного сырья целесообразно вести при выбранных оптимальных дозировках ФП «Коллагеназа» (16-32 ед. ПА/г сырья) в течение 16-36 ч в зависимости от вида сырья, так как дальнейшее инкубирование реакционных смесей не приводит к росту целевых показателей. Оптимальная продолжительность ферментного гидролиза составила 16 ч, 24 ч, 36 ч для ферментолитов из кожи, чешуи и плавников соответственно. При продолжительности обработки менее данных показателей происходит недостаточный гидролиз белковых фракций, в связи с чем не достигается их полного извлечения из сырья.

5. Анализ продуктов ферментного гидролиза методами электрофоретического анализа и ИК-спектроскопии доказывает, что специфичность действия ФП «Коллагеназа» на коллагеновые белки вторичного рыбного сырья позволяет получить низкомолекулярные белки с молекулярной массой от 13 до 33 кДа, что свидетельствует о их высокой доступности и степени деструкции ферментами желудочно-кишечного тракта человека (от 92,39 до 96,87 %) и с высоким содержанием аминокислот, имеющих в своем составе NH<sub>3</sub><sup>+</sup>, CH<sub>2</sub> и CH<sub>3</sub>-группы при интенсивности пиков в диапазоне 1400-1700 и 2800-3000 см<sup>-1</sup>, что говорит о сходном составе структуры белка и наличии идентичных пептидных фрагментов у ферментолитов.

6. Полученные продукты безопасны и гипоаллергенны на основании проведенных исследований *in vivo*, которые показывают, что белковые ферментолиты не оказывают сенсibilизирующего действия на организм животных: показатель реакции специфического лизиса лейкоцитов составил от 3,61 % до 8,54 %, а показатель дегрануляции тучных клеток не превышал 0,2. Закрепление информации путем углубленного изучения параметров сушки, физико-химических и микробиологических свойств ферментолитов позволило разработать практические рекомендации по их применению в пищевой промышленности.

7. Обоснованы технологические режимы производства белково-витаминной добавки с использованием икорного фреш-джуа и ферментолитов и оптимизирован ее компонентный состав. Применение ферментолитов позволило увеличить биологическую ценность белково-витаминной добавки 15,85-25,17 % в зависимости от вида сырья.

Предложены новые направления использования белково-витаминной добавки при производстве майонезного соуса в количестве 1,5 % взамен части анчоусов в масле, что позволило повысить переваримость белкового компонента соуса (92,3 %).

8. Научно обоснованы технологические режимы получения производственного корма из вторичного рыбного сырья, функция желательности по сбалансированности аминокислотного, минерального и витаминного составов которого составила 0,95, 0,70 и 0,69 соответственно, биологическая ценность белка корма - 95,18 %. Исследования эффективности разработанного корма показали его высокие продуктивные свойства: кормовые затраты за весь период кормления составили 0,99, а выживаемость рыб – 98 %. Установлено, что введение в рацион кормления радужной форели производственного корма «ФишФуд» оказывает положительное влияние на физиологическое состояние и показатели химического состава рыб.

9. Научно и экспериментально обоснованы условия, параметры и режимы получения полимера белковой природы из кости и костного остатка рыб. Установлено, что оптимальными температурными режимами для извлечения продуктов распада коллагена являются 70 °С и 75 °С для ККО горбуши и толстолобика соответственно. При данных значениях наблюдаются наибольшие адгезионные свойства клеевых растворов (1731-1864 Н/м). Выход клейдающего вещества - глютина - 82,1-85,3 %, продолжительность варки ККО - 4-5 ч. Полученные экспериментальные данные органолептических, физико-химических и микробиологических исследований свидетельствуют о возможности и целесообразности применения клея из ККО рыб в рецептурах полимерно-цементных смесей взамен синтетического клея ПВА (поливинилацетат).

Для моделирования и оптимизации параметров сушки рыбной кости и костного остатка с целью решения задачи тепло- и влагопереноса разработана программа для моделирования сушки продуктов из рыбы с дополнительным СВЧ-нагревом на языке Object Pascal в интегрированной среде программирования Borland Delphi 7.

10. Разработаны и утверждены в установленном порядке 6 пакетов технической документации на новые виды продуктов повышенной пищевой и биологической ценности, обогащенные белковыми и белково-витаминными добавками. Технологии успешно прошли производственные испытания в условиях рыбоперерабатывающих предприятий: ООО «НововоронежРыба» (п. Колодезный Воронежской области); ООО «Прайм рыба» (г. Воронеж). Разработаны и утверждены в установленном порядке 2 пакета технической документации на кормовую и техническую продукцию. Созданы практические рекомендации по эффективному кормлению радужной форели в условиях УЗВ кормом «ФишФуд», которые апробированы в опытно-промышленных условиях на базе ИТЦ «Аквабиоресурс» ФГБОУ ВО «ВГУИТ» (г. Воронеж) и ГЛАВА КФХ Журавлев Ю.А. (п.г.т. Каменка, Воронежская область). Полимерно-цементные смеси апробированы в условиях ООО «Твой Дизайн» (г. Воронеж).

Внедрены технологии производства белковых ферментализатов для пищевой промышленности, белково-витаминной добавки, риегов рыбных, рыбных полуфабрикатов рубленых замороженных на рыбоперерабатывающем предприятии ООО «НововоронежРыба» (п. Колодезный Воронежской области). Внедрена технология производства производственного корма «ФишФуд» для радужной форели на Глава КФХ Журавлев Ю.А. (п.г.т. Каменка, Воронежской области).

Анализ эффективности выполненных разработок свидетельствует об их социальных перспективах и экономической рациональности, подтвержденных промышленными испытаниями и внедрением в учебный процесс ФГБОУ ВО «ВГУИТ». Рассчитанные технико-экономические показатели свидетельствуют о целесообразности внедрения разработанных технологий.

**Список наиболее значимых работ,  
опубликованных по материалам диссертации**

**Статьи в журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ**

1. Дворянинова, О. П. Исследование возможности получения сухих основ из малоценных продуктов переработки рыб / О. П. Дворянинова, **А. В. Соколов**, М. Е. Успенская // Вестник ВГУИТ. – 2014. - № 1. – С. 141-145. (0,63 п.л.; лично соискателем – 0,21 п.л.).
2. Дворянинова, О. П. Перспективы развития нового производства при переработке малоценных рыбных продуктов / О. П. Дворянинова, **А. В. Соколов** // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2014. - № 1. – С. 61-65. (0,63 п.л.; лично соискателем – 0,31 п.л.).
3. Выбор ферментных препаратов для обработки рыбных шкур / Л. В. Антипова, **А. В. Соколов**, М. Д. Горбунков, С. А. Сторублевцев // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2014. - № 1. – С. 48-53. (0,75 п.л.; лично соискателем – 0,18 п.л.).
4. Подбор сырьевой композиции и исследование процесса конвективной сушки продуктов глубокой переработки рыб при производстве сухих основ для бульонов / Л. В. Антипова, О. П. Дворянинова, **А. В. Соколов** [и др.] // Рыбное хозяйство. – 2014. - № 5. – С. 96-99. (0,5 п.л.; лично соискателем – 0,1 п.л.).
5. Дворянинова, О. П. Разработка высокоценных пищевых продуктов на основе объектов аквакультуры для обеспечения сбалансированного питания населения / О. П. Дворянинова, **А. В. Соколов** // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1. – С. 254; URL: [www.science-education.ru/121-18674](http://www.science-education.ru/121-18674) (дата обращения: 04.11.2015). [Электронный научный журнал]. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=18674> (дата обращения: 15.02.2020). (1,25 п.л.; лично соискателем – 0,62 п.л.).
6. Биотехнологический потенциал вторичных продуктов разделки рыб как основа импортозамещения / О. П. Дворянинова, **А. В. Соколов**, Д. А. Сьянов [и др.] // Известия Международной Академии аграрного образования. – 2015. - № 23. – С. 148-152. (0,63 п.л.; лично соискателем – 0,2 п.л.).
7. Дворянинова, О. П. Сырьевая база водных биоресурсов как важнейший фактор обеспечения продовольственной безопасности страны / О. П. Дворянинова, **А. В. Соколов**, А. З. Черкесов // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2015. - № 2. – С. 22-29. (1 п.л.; лично соискателем – 0,4 п.л.).
8. Дворянинова, О. П. Икорный джус: источники, свойства и применение / О. П. Дворянинова, **А. В. Соколов**, М. В. Бобрешова // Вестник АГТУ. Серия: Рыбное хозяйство. – 2015. - № 3. – С. 126-135. (1,25 п.л.; лично соискателем – 0,5 п.л.).
9. Сенсорный анализ в оценке качества майонезных соусов с добавлением икорного джуса / О. П. Дворянинова, **А. В. Соколов**, М. В. Бобрешова, Т. А. Кучменко // Вестник ВГУИТ. – 2015. - № 2. – С. 181-186. (0,75 п.л.; лично соискателем – 0,2 п.л.).
10. Термический анализ вторичных продуктов разделки рыб / О. П. Дворянинова, **А. В. Соколов**, М. В. Спиридонова, А. В. Прибытков // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2015. - № 4 (8). - С. 25-30. (0,75 п.л.; лично соискателем – 0,25 п.л.).
11. Инновационный потенциал развития рыбной отрасли: пищевые добавки и ингредиенты / О. П. Дворянинова, **А. В. Соколов**, М. В. Спиридонова, В. В. Прянишников // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2016. - № 4 (12). - С. 26-36. (1,38 п.л.; лично соискателем – 0,34 п.л.).

12. Дворянинова, О. П. Протеолитические ферменты прудовых рыб: способы выделения и свойства / О. П. Дворянинова, Л. В. Антипова, **А. В. Соколов** // Известия ТИНРО. – 2016. - Т. 187. – С. 245-253. (1,13 п.л.; лично соискателем – 0,38 п.л.).

13. Дворянинова, О. П. Новые сырьевые источники рыбьего жира: физико-химические показатели качества, пищевая и биологическая ценность / О. П. Дворянинова, **А. В. Соколов**, А. В. Алехина // Рыбное хозяйство. – 2016. - № 5. – С. 112-117. (0,75 п.л.; лично соискателем – 0,25 п.л.).

14. Дворянинова, О. П. Моделирование процесса сушки вторичных продуктов разделки рыб и описание в модели основных процессов тепло- и влагопереноса / О. П. Дворянинова, **А. В. Соколов** // Вестник ВГУИТ. – 2018. - № 2. Т. 80. – С. 125-129. (0,63 п.л.; лично соискателем – 0,31 п.л.).

15. Дворянинова, О. П. Биохимические и морфологические изменения в мышечной ткани прудовых рыб в процессе аутолитических превращений / О. П. Дворянинова, Л. В. Антипова, **А. В. Соколов** // Известия ТИНРО. – 2018. – Т. 194. – С. 193-204. (1,5 п.л.; лично соискателем – 0,5 п.л.).

16. Дворянинова, О. П. Исследование форм связи влаги в спецсмеськах для рыбных кормов методом неізотермічного аналізу / О. П. Дворянинова, **А. В. Соколов**, А. В. Журавлев // Рыбное хозяйство. – 2019. - № 1. - С. 99-101. (0,38 п.л.; лично соискателем – 0,13 п.л.).

17. Дворянинова, О. П. Технологические аспекты получения новых кормовых продуктов для объектов аквакультуры / О. П. Дворянинова, **А. В. Соколов** // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2019. - № 1. – С. 31-40. (1,25 п.л.; лично соискателем – 0,62 п.л.).

18. **Соколов, А. В.** Оценка эффективности продукционного корма для радужной форели / **А. В. Соколов**, О. П. Дворянинова // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2019. - № 3. – С. 53-62. (1,25 п.л.; лично соискателем – 0,62 п.л.).

19. **Соколов, А. В.** Регулирование функционально-технологических свойств рыбных фаршевых систем путём внесения белоксодержащих компонентов / **А. В. Соколов** // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2019. - № 4. – С. 22-27. (0,75 п.л.; лично соискателем – 0,75 п.л.).

20. **Соколов, А. В.** Современное состояние и тенденции развития рыбохозяйственного комплекса России / **А. В. Соколов** // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2019. - № 4. – С. 36-48. (1,63 п.л.; лично соискателем – 1,63 п.л.).

21. **Соколов, А. В.** Актуальность использования кормовых добавок на основе вторичного сырья рыбной промышленности в рационах радужной форели / **А. В. Соколов**, О. П. Дворянинова, О. А. Землянухина // Рыбное хозяйство. – 2020. - № 2. – С. 87-93. (0,88 п.л.; лично соискателем – 0,3 п.л.).

22. **Соколов, А. В.** Ферментолитаты из вторичных продуктов разделки рыб: состав, пищевая и биологическая ценность / **А. В. Соколов**, О. П. Дворянинова, О. А. Землянухина // Рыбное хозяйство. – 2020. - № 5. – С. 107-112. (0,75 п.л.; лично соискателем – 0,3 п.л.).

23. **Соколов, А. В.** Пищевая и биологическая ценность второстепенных частей радужной форели, выращенной в аквакультуре / **А. В. Соколов** // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2021 - № 1. – С. 105-111. (0,88 п.л.; лично соискателем – 0,88 п.л.).

#### **Статьи в журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, и входящих в международную базу данных Scopus**

24. Антипова, Л. В. Прудовые рыбы в улучшении структуры питания населения: гигиенические аспекты / Л. В. Антипова, О. П. Дворянинова, **А. В. Соколов** // Гигиена и санитария. – 2016. - № 1. Т. 95. – С. 84-90. (0,88 п.л.; лично соискателем – 0,29 п.л.).

### Статьи в журналах, входящих в международную базу данных Scopus и WoS

25. Dvoryaninova, O. P. Productive feeding of rainbow trout: properties, effects on physiological state and interior indicators / O. P. Dvoryaninova, **A. V. Sokolov** // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Volume number 422 (1) (2020) – P. 012038. (1 п.л.; лично соискателем – 0,5 п.л.).

26. Dvoryaninova, O. P. Identification of composition and structure of functional groups of ferment lysates based on IR spectroscopy / O. P. Dvoryaninova, **A. V. Sokolov**, O. V. Peregonchaya, E. A. Solovyeva, D. A. Syanov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Volume number 640 (3) (2021) – P. 032062. (0,9 п.л.; лично соискателем – 0,3 п.л.).

27. Dvoryaninova, O. P. Determination of characteristic species-specific protein zones of fish fermentolysates using the method of electrophoretic analysis / O. P. Dvoryaninova, **A. V. Sokolov**, O. A. Zemlyanukhina, E. A. Solovyeva, D. A. Syanov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Volume number 6424 (1) (2021) – P. 012130. (0,9 п.л.; лично соискателем – 0,3 п.л.).

### Учебные пособия

28. Дворянинова, О. П. Основы технологии продуктов животного и растительного происхождения: учеб. пособие / О. П. Дворянинова, **А. В. Соколов**. – Воронеж: ВГУИТ, 2016. – 139 с. (8,69 п.л.; лично соискателем – 4,34 п.л.).

### Монографии

29. Дворянинова, О. П. Икорный джус: источники, свойства и применение в технологии рыбопродуктов: монография / О. П. Дворянинова, **А. В. Соколов**. – Воронеж: ВГУИТ, 2019. – 198 с. (12,38 п.л.; лично соискателем – 6,18 п.л.).

30. Дворянинова, О. П. Вторичное сырье рыбной промышленности: ресурсный потенциал, свойства и применение в инновационных технологиях АПК: монография / О. П. Дворянинова, **А. В. Соколов**. – Воронеж: ВГУИТ, 2020. – 272 с. (17 п.л.; лично соискателем – 8,5 п.л.).

### Статьи в журналах

31. Перспективы формирования инновационного производства строительных смесей на основе природных биополимеров / О. П. Дворянинова, Л. В. Антипова, **А. В. Соколов**, Е. Ю. Перешивкина // Экономика. Инновации. Управление качеством. – 2015. - № 1. – С. 352-356. (0,63 п.л.; лично соискателем – 0,15 п.л.).

32. Разработка рецептурных композиций кормов для объектов холодноводной аквакультуры (на примере радужной форели) / О. П. Дворянинова, **А. В. Соколов**, А. Е. Куцова, А. Р. Меркулова // Актуальная биотехнология. – 2019. - № 3 (30). С. 57-59. (0,38 п.л.; лично соискателем – 0,13 п.л.).

33. Dvoryaninova O. P. Prospects for ensuring the production of fish products with a high degree of processing / O. P. Dvoryaninova, **A. V. Sokolov** // Danish Scientific Journal. – 2020. - №36. – P. 66-68. (0,38 п.л.; лично соискателем – 0,18 п.л.).

34. Dvoryaninova O. P. Biopolymers of fish origin: prospects for use in paint coating technologies / O. P. Dvoryaninova, **A. V. Sokolov** // Österreichisches Multiscience Journal. – 2020. - №28. – P. 56-58. (0,38 п.л.; лично соискателем – 0,18 п.л.).

### Патенты на изобретения, свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ

35. Пат. 2621991 C1 RU, МПК А23К 50/80, А23К 10/22. Способ получения корма для прудовых рыб / Дворянинова О. П., Антипова Л. В., **Соколов А. В.**, Спиридонова М. В. - № 2016103802; заявл. 06.02.2016; опубл. 08.06.2017, Бюл. № 16. (1,13 п.л.; лично соискателем – 0,28 п.л.).

36. Пат. 2676312 C1 RU, МПК А23Л 33/10, А23Л 17/30, СПК А23Л 33/10, А23Л 17/30. Способ получения белково-витаминной добавки из икорного джуса / Дворянинова О. П., **Соколов А. В.**, Алехина А. В., Евстратова А. С. - № 2017143574; заявл. 13.12.2017; опубл. 27.12.2018, Бюл. № 36. (1,13 п.л.; лично соискателем – 0,3 п.л.).

37. Пат. 2711792 C1 RU, МПК A23L 17/00, СПК A23L 17/00. Способ производства полуфабрикатов рыбных рубленых замороженных / Дворянинова О. П., **Соколов А. В.** - № 2019108629; заявл. 26.03.2019; опубл. 22.01.2020, Бюл. № 3. (1,38 п.л.; лично соискателем – 0,68 п.л.).

38. Пат. 2703158 C1 RU, МПК A23K 10/22, СПК A23K 10/22. Способ получения белково-минеральной кормовой добавки / Дворянинова О. П., **Соколов А. В.** - № 2019103252; заявл. 06.02.2019; опубл. 15.10.2019, Бюл. № 29. (1 п.л.; лично соискателем – 0,5 п.л.).

39. Пат. 2711801 C1 RU, МПК C09H 1/00, СПК C09H 1/00. Способ получения рыбного клея из костей промысловых рыб / Дворянинова О. П., **Соколов А. В.** - № 2019107262; заявл. 14.03.2019; опубл. 22.01.2020, Бюл. № 3. (0,63 п.л.; лично соискателем – 0,31 п.л.).

40. Пат. 2711915 C1 RU, МПК A23J 1/04, A23J 3/04, СПК A23J 1/04, A23J 3/04. Способ получения белкового гидролизата из вторичного рыбного сырья / Дворянинова О. П., **Соколов А. В.** - № 2019107236; заявл. 14.03.2019; опубл. 23.01.2020, Бюл. № 3. (1 п.л.; лично соискателем – 0,5 п.л.).

41. Пат. RU 2740581 C1, МПК A23L 17/00 (2016.01), СПК A23L 17/00 (2020.08). Способ получения пастообразного рыбного продукта / Дворянинова О. П., Соколов А. В. - № 2020111545; заявл. 20.03.2020; опубл. 15.01.2021, Бюл. № 2. (1 п.л.; лично соискателем – 0,5 п.л.).

42. Пат. RU 2742619 C1, МПК A23L 27/60 (2016.01), СПК A23L 27/60 (2020.08). Майонезный соус / Дворянинова О. П., **Соколов А. В.** - № 2020111539; заявл. 20.03.2020; опубл. 09.02.2021, Бюл. № 4. (1 п.л.; лично соискателем – 0,5 п.л.).

43. Свидетельство № 2019664445 РФ. Программа для моделирования процесса сушки продуктов из рыбы с дополнительным СВЧ-нагревом: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ / Дворянинова О. П., **Соколов А. В.**, Посметьев В. В. - № 2019663589; заявл. 31.10.2019; зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 07.11.2019. (0,13 п.л.; лично соискателем – 0,05 п.л.).

### Список сокращений, используемых в автореферате

АПК – агропромышленный комплекс	ННЖК – ненасыщенные жирные кислоты
БВД – белково-минеральная добавка	ПНЖК – полиненасыщенные жирные кислоты
БЦ – биологическая ценность	ПА – протеолитическая активность
ВВП – валовый внутренний продукт	ПВА – поливинилацетат
ВРС – вторичное рыбное сырье	ЦДТК – показатель дегрануляции тучных клеток
ВСС – влагосвязывающая способность	ПШС – полимерно-цементные смеси
ВУС – влагоудерживающая способность	РС – рыбные смеси
ЗАК – заменимые аминокислоты	РХК – рыбохозяйственный комплекс
ИТЦ – инновационно-технологический центр	СМС – структурно-механические свойства
КД – кормовая добавка	СРС – сухие рыбные смеси
ККО – кость и костный остаток	УЗВ – установка замкнутого водоснабжения
КРАС – коэффициент различия аминокислотного сора	ФТС – функционально-технологические свойства
НАК – незаменимые аминокислоты	ФП – ферментный препарат
	ЭФ – электрофорез

Автор искренне благодарен научному консультанту доктору технических наук, доценту Дворяниновой Ольге Павловне за оказанную помощь, консультации и ценные замечания, сделанные при выполнении диссертационной работы.

Особую благодарность выражает заслуженному деятелю науки Российской Федерации, доктору технических наук, профессору Антиповой Людмиле Васильевне за научные консультации.

Подписано в печать 20.10.2021. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

Усл. печ. л. 2,0. Тираж 100 экз. Заказ 61.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»

Отдел полиграфии ФГБОУ ВО «ВГУИТ»

Адрес университета и отдела полиграфии  
394036, Воронеж, пр. Революции, 19