

На правах рукописи



СУШИНА АНАСТАСИЯ ДМИТРИЕВНА

**ПОЛУЧЕНИЕ КОПТИЛЬНО-ВОДОРОСЛЕВОГО БИОГЕЛЯ НА ОСНОВЕ
БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ФУРЦЕЛЛЯРИИ
(*FURCELLARIA LUMBRICALIS*) И ОБОСНОВАНИЕ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ В
ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОМ ГОРЯЧЕМ КОПЧЕНИИ РЫБЫ**

4.3.5. «Биотехнология продуктов питания и биологически активных веществ»

АВТОРЕФЕРАТ

Диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Калининград

2024

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Калининградский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «КГТУ»).

Научный руководитель: **Мезенова Ольга Яковлевна** - доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой пищевой биотехнологии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Калининградский государственный технический университет», Почетный работник рыбного хозяйства России, Заслуженный работник высшего образования РФ

Официальные оппоненты: **Табакаева Оксана Вацлавовна**, доктор технических наук, доцент, профессор базовой кафедры пищевой и клеточной инженерии Передовой инженерной школы «Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Дальневосточный федеральный университет» (ФГАОУ ВО «ДВФУ»)

Подкорытова Антонина Владимировна, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник отдела инновационных технологий Департамента технического регулирования Государственного научного центра Российской Федерации Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» (ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»)

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет (ФГБОУ ВО «Дальрыбвтуз»)

Защита состоится 24 декабря 2024г. В 14:00 на заседании диссертационного совета Д 37.02.007.04, созданного на базе ФГБОУ ВО «КГТУ» по адресу: г. Калининград, ул. Профессора Баранова, 43, Калининградский государственный технический университет, Зал заседаний диссертационных советов (ауд. 101).

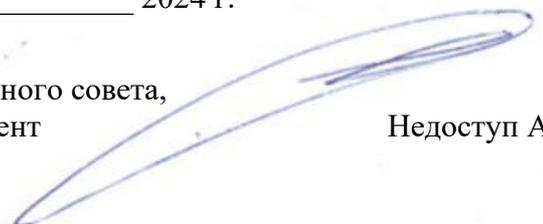
С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» https://klgtu.ru/upload/dissertations/sushina/sushina_diss.pdf

Отзывы на автореферат следует посылать на адрес: 236022, г. Калининград, Советский проспект, 1, КГТУ, диссертационный совет Д 37.02.007.04, ученому секретарю Недоступу А.А., а также на электронный адрес: nedostup@klgtu.ru

Автореферат разослан « ____ » _____ 2024 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат технических наук, доцент

Недоступ Александр Алексеевич



1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В Национальной программе «Стратегия развития рыбохозяйственного комплекса РФ на период до 2030 года» в качестве основных задач названы повышение качества и безопасности рыбной продукции, экологичности производственных процессов, внедрение инновационных технологий. Данные задачи актуальны для коптильного производства, где традиционно рыбу обрабатывают коптильным дымом, получаемым при пиролизе древесины. В результате в копченую рыбную продукцию попадают канцерогенные полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) и другие вредные вещества, а окружающая среда загрязняется коптильными выбросами, при этом технологическая среда используется всего на 10-20%. Такое производство является экологически и пожароопасным, поскольку связано с трудно управляемой дымогенерацией, при этом регулирование процессов получения коптильной среды и продукции заданного качества практически невозможно. Другой проблемой традиционного горячего копчения рыбы является ее низкий срок годности (48-72 ч) из-за недостатка консервирующих факторов и невысокая пищевая ценность. При высокотемпературном пиролизе древесного сырья разрушаются его полезные компоненты, а горячая и химически агрессивная коптильная среда способствует деградации белков, липидов, витаминов и других биологически активных веществ (БАВ) рыбы (Курко, 1980; Ким, Ким 2010-2014; Мезенова, 2018).

Совершенствование процесса копчения развивается по нескольким направлениям. Прогрессивной технологией является бездымное копчение, при котором применяются различные жидкие коптильные среды заданного химического состава, не содержащие канцерогенных веществ, что существенно повышает безопасность продукции и экологичность производства, упрощает процесс и позволяет регулировать качество. Перспективным представляется обогащение коптильных сред натуральными БАВ-ми растительного происхождения, что повышает биологическую ценность копченой рыбы, ее стойкость в хранении, гармонично разнообразит ее органолептические свойства (Мезенова, Ключко, 2022). Среди обогащающих добавок видится перспективным введение в натуральные бездымные коптильные среды фикоколлоидных экстрактов морских водорослей.

В акватории Балтийского моря Калининградской области широко распространены красные водоросли *Furcellaria lumbricalis*. Их ценные биологически активные вещества (каррагинаны, каротиноиды, антоцианы, витамины, минеральные вещества и др.) широко применяются в пищевой промышленности, биотехнологии и фармацевтике (Блинова, 2007; Васьковский, 2004; Осовская, 2020; Паршина, 2022; Подкорытова, 2005-2021; Приходько, 2020; Табакаева О.В. и др.). Благодаря водорастворимым сульфатированным полисахаридам (каррагинаны, фурцелларан) и богатому набору ценных БАВ из водорослей получают разнообразные фикоколлоидные материалы и соответствующие продукты с полифункциональными свойствами.

Введение в стандартизированные коптильные среды экстрактов фуцеллярии позволяет получить новый вид коптильной среды – коптильно-водорослевый биогель (КВБ), обладающий повышенной вязкостью и модифицированными функциональными свойствами. Такая коптильная среда за счет возросшей адгезии легко наносится на поверхность продукта за один прием иммерсионной обработки, что существенно упрощает технологию бездымного копчения (Burt, 2018; Wu, 2021; Villamiel, 2022) и позволяет быстрее достичь заданных органолептических эффектов - цвета, аромата и вкуса копчености. После подсушки биогель образует на поверхности рыбы своеобразную защитную пленку, которая помогает сохранить ее тканевую влагу и питательные вещества во время последующей термической обработки, а также защитить липиды от окисления при хранении. При этом улучшаются цвет, консистенция, аромат и вкус копченой рыбы. Кроме того, биогель обогащает рыбу биологически активными веществами фуцеллярии, многие из которых являются функциональными ингредиентами и проявляют антиоксидантный, антисептический, красящий и вкусо-ароматический эффекты. В итоге повышаются биологическая ценность, привлекательность и хранимоспособность готовой копченой продукции.

Использование коптильно-водорослевого биогеля на основе фикоколлоидных экстрактов красных водорослей Балтийского моря, содержащих функциональные биологически активные вещества, представляется перспективным при горячем копчении рыбы. Это позволит повысить качество, безопасность и стойкость в хранении готового продукта, обеспечить ресурсосбережение сырья, безотходность и экологичность производства, перевести на новый уровень процесс копчения, что в целом будет способствовать развитию пищевой биотехнологии в рыбоперерабатывающей отрасли и решению продовольственной проблемы в целом.

Степень разработанности темы исследования

Переработкой морских макрофитов и пресноводных водорослей с получением ценных пищевых композиций занимались многие авторы: Ю.Г. Вафина Л.Х., Вишневская Т.И., Ефремова О.А., Захарова Н.В., Игнатова Т.А., Кадникова И.А., Кушева О.А., Коровкина Н.В., Макарова С.В., Подкорытова А.В., Репина О.И., Родина Т.В., Соколова В.М., Суховерхов С.В., Табакаева О.В., Чимиров Ю. И., Шашкина И.А., Phan Thi Khanh Vinh, Bui Minh Ly, Tran Thi Thanh Van, Le Nhu Nau, Nguyen Quoc Cuong, Villamiel T., Wang S., Li J. и другие. Исследования по совершенствованию технологии копченой рыбы проводили Абрамова Л.С., Антипов С.Т., Аферина Е.А., Бражная И.Э., Воскресенский Н.А., Гончаров А.М. Глебова Е.В., Гроховский В.А., Ильичев А.Ф., Ершов М.А., Касьянов Г.И., Ким Э.Н., Ким И.Н., Ким Г.Н., Китаев С.Ю., Кочелаба (Ключко) Н.Ю., Курко В.И., Лапшин И.И., Лаптева Е.П., Мезенова О.Я., Никитин Б.Н., Нехамкин Б.Л., Николаенко О.А., Остриков А.Н., Одинцов А.Б., Проскура Ю.Д., Радакова Т.Н., Родина Т.Г., Сафронова Т.М., Слапогузова З.В., Слуцкая Т.Н., Сысоев В.В., Шахов С.В., Шокина Ю.В., Шубкин С. Ю., Allen V.M., Burt J.R., Peter E. D., Sink J.D., Rozum, J. R., Toth L. и другие. Анализ

опубликованных материалов свидетельствует об актуальности соединения потенциалов красных водорослей и современных бездымных коптильных сред при горячем копчении рыбы.

Цель и задачи исследования. Целью диссертационной работы является научное обоснование использования биопотенциала красных водорослей Балтийского моря *Furcellaria lumbricalis* для получения фикоколлоидного коптильно-водорослевого биогеля и его применения для производства рыбы горячего копчения повышенной биологической ценности в экологически безопасном и ресурсосберегающем процессе.

Для достижения поставленной цели сформулированы **основные задачи**:

1. Исследовать биопотенциал красных водорослей Балтийского моря *Furcellaria lumbricalis*;
2. Обосновать получение коптильно-водорослевого биогеля на основе композиции водного экстракта красных водорослей *Furcellaria lumbricalis* и коптильного ароматизатора «Жидкий дым»;
3. Изучить органолептические, физико-химические и технологические характеристики полученного коптильно-водорослевого биогеля;
4. Получить основные зависимости процессов иммерсионной обработки биогелем рыбы и ее проварки до готовности в технологии горячего копчения;
5. Исследовать хранимоспособность рыбы горячего копчения, изготовленной новым бездымным способом;
6. Изучить основные показатели качества, биологической ценности и безопасности экспериментальных образцов рыбы горячего копчения;
7. Провести производственные испытания разработанной технологии;
8. Разработать техническую документацию и обосновать эффективность технологии.

Научная новизна. Обоснован высокий биопотенциал водорослей Балтийского моря *Furcellaria lumbricalis* по содержанию полисахаридов, витаминов, минеральных и других функциональных веществ, обуславливающих перспективность обогащения ими рыбы бездымного горячего копчения. Разработаны состав и технология коптильно-водорослевого биогеля на основе водного экстракта красной водоросли *Furcellaria lumbricalis* и коптильного ароматизатора «Жидкий дым». Получены сравнительные значения ключевых показателей качества коптильно-водорослевого биогеля и коптильного ароматизатора «Жидкий дым». Установлена математическая зависимость между продолжительностью процесса иммерсионной обработки рыбы КВБ и ее последующей подсушки в процессе собственно копчения с качеством целевого продукта. Получена математическая модель процесса термической обработки рыбы с КВБ, на основе которой оптимизированы температура и продолжительность достижения кулинарной готовности продукта. В системе CIE L*a*b изучены инструментальные показатели цвета (светлота, длина волны, насыщенность) рыбы бездымной технологии, показана их идентичность традиционным

показателям, обоснованы области их локализации в цветовом треугольнике. Изучены биохимические изменения белков и жиров в рыбе бездымного копчения при хранении, обоснованы сроки ее годности. Показана повышенная биологическая ценность обогащенной копченой рыбы в экспериментах с тест-организмами инфузории *Tetrahymena pyriformis*. Обоснованы органолептические и физико-химические показатели копченой продукции, а также ее безопасность по содержанию микробиологических и химических токсикантов. Новизна исследования подтверждена патентом RU № 2792451 «Способ приготовления рыбы горячего копчения».

Теоретическая и практическая значимость работы. Результаты исследования дополняют научные знания в области использования биопотенциала красных водорослей Балтийского моря *Furcellaria lumbricalis*, бездымного копчения рыбы, применения пленок на основе полисахаридных структурообразователей и функциональных ингредиентов водорослей. Разработана и положительно апробирована в промышленности технология рыбы бездымного горячего копчения с применением КВБ, обеспечивающая повышение биологической ценности, хранимоспособности, безопасности продукции и экологичности производства. Установлены основные характеристики, пролонгированные сроки годности готовой продукции при обоснованных условиях хранения. Доказана санитарно-гигиеническая и химическая безопасность продукции.

Разработан пакет технической документации: ТУ 10.20.24–032–3904014891–2023 «Коптильно-водорослевая композиция «Морской дым» и соответствующая технологическая инструкция (ТИ); ТУ 10.20.24–031–3904014891–2023 «Рыба бездымного горячего копчения «Морской дуэт» и соответствующая ТИ по ее изготовлению. Технология положительно апробирована в ООО «Транскомплекс–К» (г. Калининград). Расчет экономической эффективности показал целесообразность внедрения разработки.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности.

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 4.3.5. «Биотехнология продуктов питания и биологически активных веществ» (п. 6, 10, 16, 25, 26, 30).

Методология и методы исследования. Методология исследований направлена на повышение уровня использования биопотенциала красных водорослей Балтийского моря *Furcellaria lumbricalis* при совершенствовании бездымного копчения рыбы на основе научного обоснования получения и применения коптильно-водорослевого биогеля. Используются современные методы исследования (стандартные, общепринятые и оригинальные), включая методы математического моделирования и статистической обработки экспериментальных данных.

Положения, выносимые на защиту:

- соединение биопотенциалов фикоколлоидного экстракта красных морских водорослей *Furcellaria lumbricalis* и коптильных компонентов в форме бездымной коптильной среды

«Жидкий дым» обуславливает получение коптильного-водорослевого биогеля с высокими функциональными свойствами;

- иммерсионная обработка рыбы коптильно-водорослевым биогелем по оптимизированным параметрам технологии горячего копчения обуславливает формирование в готовом продукте заданных эффектов при гармонизации органолептических показателей качества;

- применение коптильно-водорослевого биогеля обеспечивает канцерогенную безопасность копченой рыбы, экологичность и ресурсосбережение производства с получением продукции функционального уровня качества и пролонгированного хранения.

Степень достоверности результатов и апробация работы. Степень достоверности полученных результатов подтверждена применением современных методов исследования, в том числе математического планирования и оптимизации эксперимента, повторностью экспериментов, обработкой результатов методами статистического анализа.

Материалы диссертационных исследований апробированы на 6 международных и всероссийских научно-практических конференциях (НПК): на X-XIII- НПК «Пищевая и морская биотехнология» в рамках IX – XII Международного «Балтийского морского форума» (Калининград, 2021 – 2024 г.г.); на международной научно – практической конференции «Актуальные проблемы прикладной биотехнологии и инженерии» (Оренбург, 2022 г.); на Национальной научно-технической конференции «Перспективы развития пищевой промышленности и общественного питания: техника, технологии и управление качеством» (Влади-восток, 2023 г.); на II Международной научно – практической конференции «Рыбохозяйственный комплекс России: 300 лет российской академической науке» (Москва, 2024 г.). В 2023 году заняла 2-е место в конкурсе на лучшую научно – исследовательскую статью по техническим наукам в журнале «Вестник науки и образования «Северо – Запада России»». Работа выполнена в соответствии с ГБ НИР кафедры пищевой биотехнологии ФГБОУ ВО «КГТУ» по теме 30.36.100.2 «Разработка и совершенствование технологии пищевых продуктов повышенной пищевой ценности» (2021-2024).

Личный вклад автора в 2020 – 2024 гг. заключался в формулировании цели и задач исследовательской работы, разработке схемы и подборе методов исследований, проведении экспериментов и производственных испытаний, анализе результатов, подготовке публикаций, написании автореферата и диссертации.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 11 научных работ, в том числе 4 – в научных журналах из перечня ВАК Минобрнауки РФ, 1 – Патент РФ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 3 глав, выводов, списка литературы, включающего 164 источника, в том числе 43 иностранных. Работа изложена на 179 страницах текста, содержит 41 таблицу, 25 рисунков, 14 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во «**Введении**» обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, представлены научная новизна и практическая значимость работы, сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе «**Обзор литературы**» представлен обзор научной, технической литературы и патентной информации по теме диссертации. Проведен анализ биопотенциала морских водорослей и его применения, достоинства бездымного копчения и характеристика БКС. Рассмотрены способы получения пищевых плёнок на основе полисахаридов и их свойства. На основании аналитического обзора сделаны выводы и сформулированы задачи исследования.

Во второй главе «**Объекты и методы исследования**» представлена схема исследований (рисунок 1), охарактеризованы объекты и методы исследований.

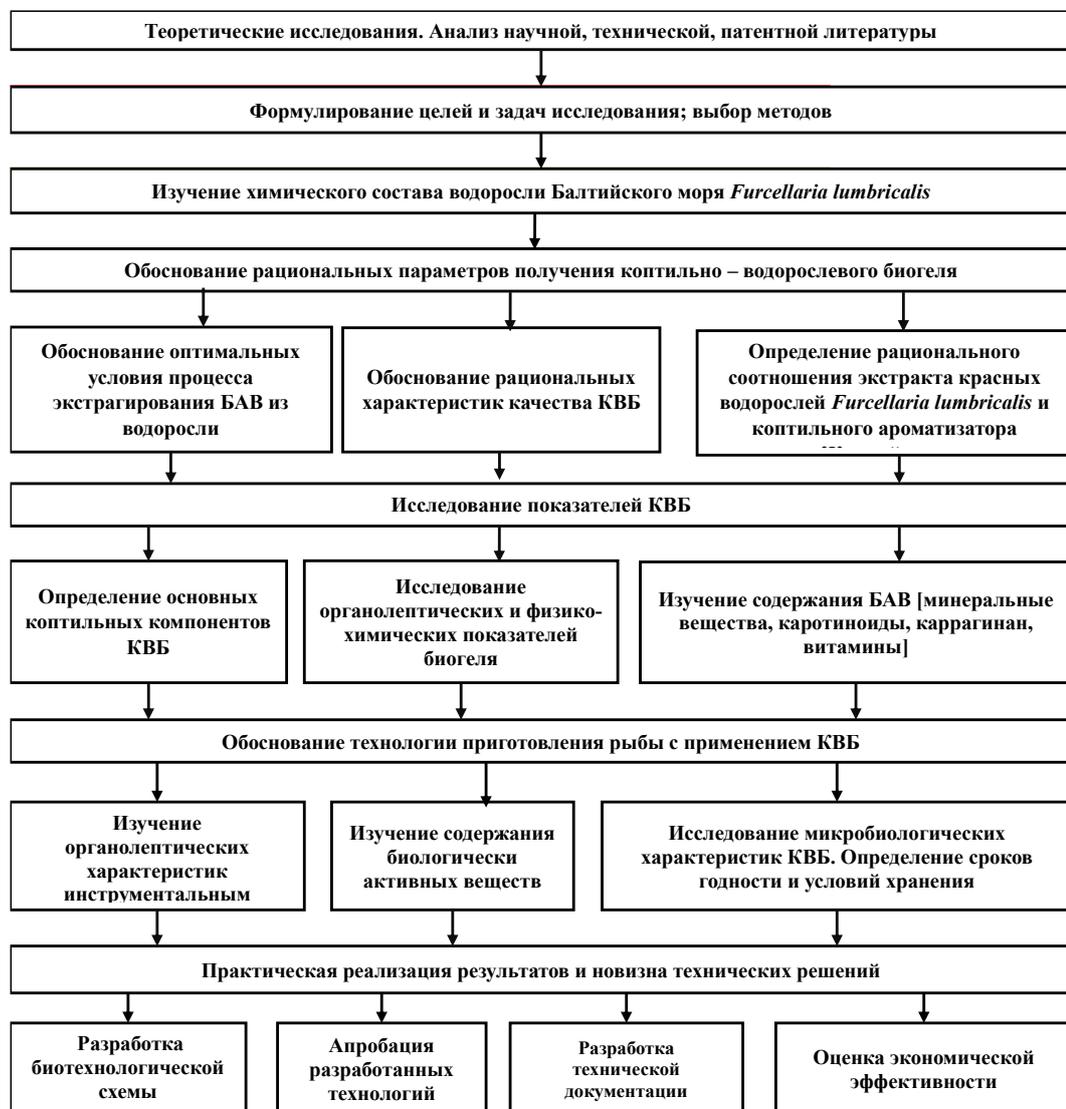


Рисунок 1 – Общая схема исследований

Объектами исследований являлись красные водоросли *Furcellaria lumbricalis* и их экстракты, рыбное сырье (сельдь балтийская (салака) и скумбрия атлантическая), коптильно-

водорослевый биогель, копченая рыбная продукция. Водоросли были собраны в Калининградской области на побережье Балтийского моря в районе мыса Таран. Источником коптильных компонентов был коптильный ароматизатор «Жидкий дым» (ТУ 10.89.19-037-55482687-2017).

В работе использовали стандартные и общепринятые физико-химические, органолептические, микробиологические и биологические методы исследования. Основные эксперименты проводились на кафедре пищевой биотехнологии КГТУ, в научно-исследовательских лабораториях UVF (Альтландсберг, Германия), в лабораторном центре «АтлантНИРО» Атлантического филиала ФГБНУ «ВНИРО». Оптимизацию технологических параметров проводили с применением математического планирования эксперимента. Статистическую обработку данных вели с использованием пакетов прикладных программ Microsoft Excel 2010 и Statistica 6.0.

В третьей главе «**Результаты и их обсуждения**» в разделе «**Обоснование рациональных режимов получения коптильно-водорослевого биогеля**» представлена характеристика биопотенциала водоросли *Furcellaria lumbricalis* по содержанию основных БАВ (таблица 1).

Таблица 1 – Содержание основных химических веществ в сушёной водоросли *F. lumbricalis*

Показатели	Содержание, на сухое вещество
Белки, г/100 г	23,3±0,2
Жиры, г/100 г	0,33±0,1
Легкогидролизуемые полисахариды, г/100 г в т. ч.:	58,6±0,1
- фуцелларан,	7,5±0,1
- каррагинаны	50,67±0,1
- ди- и моносахара	0,43±0,1
Негидролизуемые полисахариды, г/100 г	1,84±0,1
Минеральные вещества, г /100 г	15,9±0,3
Сухие вещества, %	81,9±0,2
Каротиноиды, мг/100 г	1,81±0,02
Лютеин, мг/100 г	1,7±0,1
Кальций, мг/100 г	1104,6±0,1
Цинк, мг/100 г	6,0±0,1
Марганец, мг/100 г	2,5±0,1
Натрий, мг/100 г	215,4±0,1
Калий, мг/100 г	518,8±0,3
Магний, мг/100 г	688,9±0,3
Хром, мг/100 г	0,1±0,1
Медь, мг/100 г	1,7±0,1
Йод, мкг/100 г	58,1±0,2
Водорастворимые витамины, мг/100 г	
B ₁	7,68±0,1
B ₂	15,8±0,1
B ₆	2,3±0,1
Жирорастворимые витамины, мг/100 г	
D ₃	0,051±0,1
E	8,32±0,1
K ₂	0,1±0,1

Из таблицы 1 видно, что красные водоросли *F. lumbricalis* являются богатым источником биологически активных веществ, в том числе водорастворимых фикоколлоидов (в основном, каррагинанов - 50,7%), которые обуславливают повышение вязкости и адгезионных свойств растворов. Водоросли также богаты функциональными компонентами с антиоксидантными и антисептическими свойствами (каротиноиды, лютеин), которые участвуют в реакциях образования коричневого цвета, характерного для копчёностей (Володина, 2013; Подкорытова, 2005). Высокая биологическая ценность водорослей обусловлена широким набором минеральных веществ (кальций, калий, натрий, магний, йод) и витаминов (группы В, Е, D).

На следующем этапе обосновывали получение коптильно-водорослевого биогеля (КВБ) с заданными реологическими и органолептическими свойствами путем смешивания водорослевого экстракта (ВЭ), изготовленного настаиванием восстановленных водорослей в горячей воде ($T = 80-85$ °С) в течение 2-х часов при гидромодуле 1:13, с коптильным ароматизатором (КА) в разных соотношениях (таблица 2). В качестве рациональной пропорции приняли соотношение 3:1, при котором достигаются желаемые вязкостно-адгезионные и органолептические характеристики биогеля.

Таблица 2 – Характеристика образцов КВБ, полученных при разном соотношении ВЭ и КА

Массовое соотношение ВЭ : КА	Реологические характеристики КВБ					Характеристика		
	Вязкость, сПз	Адгезия, мДж, при продолжительности контакта, с				консистенции	цвета	аромата
		10	20	30	40			
1:1	289	782,5	792,6	784,3	753,5	жидкая, слегка неоднородная	светло-коричневый	интенсивной копчености, резкий
1:2	245	701,3	826,6	756,6	721,3			
2:1	412	986,5	1058,6	1258,4	1012,5	слабо вязкая, однородная	коричневый	характерной копчености, с легким водорослевым оттенком
3:1	492	1299,5	2836,5	3621,4	2297,9	вязкая, однородная	коричневый	характерной копчености с выраженным водорослевым оттенком
1:3	201	524,2	575,3	498,5	456,7	очень жидкая	светло-коричневый	интенсивной копчености, без оттенков

В разделе «Технология изготовления коптильно-водорослевого биогеля» на основании анализа результатов исследований предложена технологическая схема получения КВБ (рисунки 2), основными операциями которой являются получение водорослевого экстракта из измельченных и восстановленных водорослей, его фильтрация и охлаждения с последующим смешиванием ВЭ с КА «Жидкий дым» в пропорции 3:1.

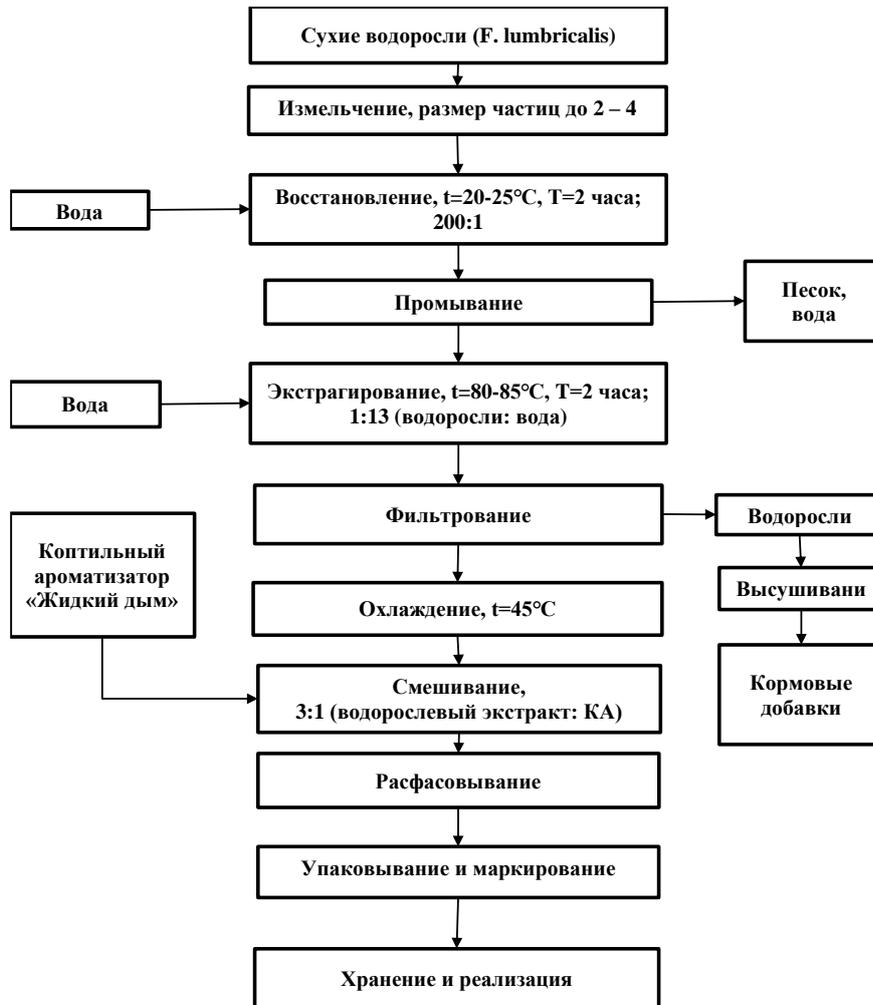


Рисунок 2 – Технологическая схема получения коптильно-водорослевого биогеля «Морской дым»

В разделе «Оценка качества и безопасности коптильно-водорослевого биогеля» сравнительно изучали показатели качества двух бездымных коптильных сред (таблица 3) - новой в форме КВБ, содержащей биологически активные вещества фуцеллярии, и традиционной (КА «Жидкий дым»), являющейся водным раствором натуральных коптильных компонентов.

Таблица 3 – Показатели качества КВБ и КА «Жидкий дым»

Наименование показателя	КВБ	КА
Органолептические показатели (внешний вид, цвет, запах, консистенция)	Вязко-текучая однородная жидкость коллоидной консистенции коричневого цвета; выраженный и приятный аромат копчености, сбалансированный с легкими водорослевыми оттенками	Водная невязкая жидкость темно-коричневого цвета с резким запахом копчености
Массовая доля:		
- органических кислот (в пересчете на уксусную кислоту), %	2,3±0,1	13,2±0,1
- фенольных соединений (в пересчете на гваякол), %	1,9±0,1	3,2±0,1
- карбонильных соединений (в пересчете на фурфурол), %	5,6±0,1	18,5±0,3
- каротиноидов, % на сухое в-во	2,05±0,1	-

Продолжение таблицы 3

- лютеина, % на сухое в-во	1,2±0,1	-
- каррагинанов, % на сухое в-во	44,6±0,1	-
- воды, %	83,2±0,2	89,8±0,6
- сухих веществ, %	16,8±0,2	10,2±0,1
Минеральные вещества, мг/100г		
Кальций	885,6±0,5	-
Калий	424,3±0,3	-
Йод, мкг/100г	41,3±0,1	-
Магний	563,4±0,5	-
Натрий	175,3±0,2	-
Вязкость, при 20°С, сПз	492±1,3	12±0,8
pH	6,3	1,9
Водорастворимые витамины, мг/100г		
B ₁	6,8±0,1	-
B ₂	12,7±0,1	-
B ₆	1,7±0,1	-
Жирорастворимые витамины, мг/100г		
D ₃	0,38±0,1	-
E	6,67±0,1	-
K ₂	0,01±0,1	-

Из таблицы 3 видно, что полученный КВБ, в отличие от КА, содержит ценные БАВы (минеральные вещества, витамины), при этом в нем меньше копильных компонентов (фенольных, карбонильных и кислотных), что обуславливает его повышенную химическую безопасность. Благодаря наличию каррагинанов вязкость КВБ возросла в 41 раз по сравнению с КА (492 сПз против 12 сПз), что обеспечивает существенный рост адгезионных свойств копильной среды и возможность «ламинированной» обработки рыбы иммерсионным способом.

Динамика микробиологических показателей КВБ в процессе хранения при 20 °С (таблица 4) свидетельствует о высоких санитарно-гигиенических показателях новой копильной среды, обусловленных присутствием веществ с антисептическими свойствами (фенолы, кислоты, альдегиды, каротиноиды и др.), и повышенной вязкостью за счет фикоколлоидов (каррагинаны, фукоиданы). Срок годности КВБ при данных условиях хранения рекомендуется 6 месяцев.

Таблица 4 – Микробиологические показатели КВБ в период хранения

Показатель	Требования ТР ТС 021/2011	Продолжительность хранения, мес.				
		0	2	3	6	8
КМАФАнМ КОЕ/г	не более $5 \cdot 10^3$	менее $1,5 \cdot 10^2$		менее $1,5 \cdot 10^3$		
БГКП	не допускается в 1г	не обнаружены				
Плесени, дрожжи КОЕ/г	не более 500 (сумма)	не обнаружены				

КВБ обладает также выраженной фунгицидной активностью, установленной методом лунок в отношении микромицета *Aspergillus niger* (таблица 5), что свидетельствует о повышенных консервирующих свойствах новой копильной среды относительно традиционной (КА).

Таблица 5 – Сравнительные показатели фунгицидной активности КВБ и КА через 72 часа

Микромицеты	Ширина ингибирования, мм		Торможение радиального роста колоний, Т%
	КВБ	Контроль (КА)	
<i>Aspergillus niger</i>	50 ±0,1	63±0,1	20,63±0,1

Технологический процесс изготовления КВБ и показатели его качества вошли в разработанный пакет технической документации: Технические условия ТУ 10.20.24 – 032 – 3904014891 – 2023 «Коптильно-водорослевая композиция «Морской дым»» и соответствующая ТИ.

На следующем этапе в разделе «**Оптимизация иммерсионной обработки рыбы коптильно-водорослевым биогелем**» обосновывали рациональные режимы применения КВБ в технологии горячего копчения рыбы. Для этого использовали иммерсионный способ нанесения КВБ на поверхность рыбы (ее окунание) с последующей подсушкой для формирования из вязко-адгезионной коптильной среды «ламинированной пленки» с заданными эффектами.

Обоснование оптимальных значений продолжительности выдержки в КВБ рыбы (X_1) и ее подсушки при температуре 60°C (X_2), как основных факторов иммерсионной обработки, проводили в модельных экспериментах на кусочках филе скумбрии с применением математического моделирования на основе ортогонального центрального композиционного плана (ОЦКП) 2-го порядка (таблица 6). Обработка экспериментальных результатов позволила получить натуральную математическую модель процесса (формула 1, рисунок 3) и определить оптимальные значения основных факторов с учетом достижения заданных показателей качества.

Таблица 6 – План эксперимента по оптимизации иммерсионной обработки рыбы коптильно-водорослевым биогелем и результаты его реализации

№ опыта	План эксперимента				Частные отклики			Обобщенный параметр оптимизации Y	Дисперсия параметра оптимизации S ² y
	Продолжительность иммерсионной обработки		Продолжительность подсушки рыбы с КВБ		ОЦ, * баллы	ФВ**, мг/100г	МП, ***% к массе рыбы		
	по матрице X ₁	натурально, сек	по матрице X ₂	натурально, мин					
1	+1	55	+1	25	3,2	1,84	1,25	0,17	0,004
2	-1	5	+1	25	2,8	0,32	0,54	1,31	0,066
3	+1	55	-1	5	2,4	1,76	0,24	0,99	0,122
4	-1	5	-1	5	2,8	0,35	0,27	1,55	0,077
5	+1	55	0	15	5,0	1,88	0,46	0,48	0,076
6	-1	5	0	15	2,2	0,34	0,32	1,62	0,039
7	0	30	+1	25	4,2	1,84	1,45	0,03	0,0002
8	0	30	-1	5	3,4	1,78	0,32	0,74	0,107
9	0	30	0	15	5,0	1,86	1,38	0,01	0,00001

*ОЦ - органолептическая оценка; **ФВ - содержание фенольных веществ; ***МП - масса подсушенной пленки

$$Y = 2,71 - 0,01X_1 - 0,24X_2 - 0,00058X_1X_2 + 0,0076 X_2^2 \quad (1)$$

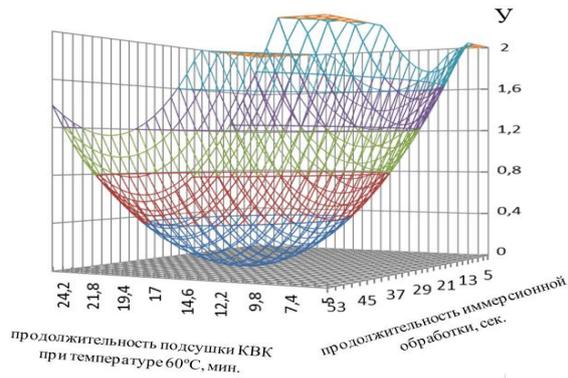


Рисунок 3 – Геометрическая интерпретация математической модели процесса иммерсионной обработки рыбы коптильно-водорослевым биогелем

Оптимальные значения факторов:

X_1 - продолжительность иммерсионной обработки рыбы: 25-30 с;

X_2 - продолжительность подсушки КВБ при температуре 60° С: 15 – 18 мин.

В разделе «Обоснование режимов термической обработки рыбы бездымного горячего копчения с применением коптильно-водорослевого биогеля» научно обосновывали режим термического воздействия на скумбрию с нанесенным и подсушенным КВБ, обеспечивающий достижение кулинарной готовности и заданных характеристик качества продукта и процесса. Результаты экспериментов, проведенных по ОЦКП 2-го порядка при варьировании температуры и продолжительности обработки горячим воздухом (X_1 и X_2), и полученная на их основе натуральная математическая модель приведены в таблице 7, формуле 2 и на рисунке 4.

Таблица 7 – План эксперимента и результаты его реализации по оптимизации процесса термической обработки рыбы с иммерсионно нанесенным и подсушенным КВБ

№ опыта	План эксперимента				Частные отклики		Обобщенный параметр оптимизации Y	Дисперсия параметра оптимизации, S^2y
	Продолжительность обработки, мин		Температура горячего воздуха, °С		ОЦ* баллы	ПМ**, % к массе рыбы		
	по матрице X_1	натурально, мин	по матрице X_2	натурально, °С				
1	+1	50	+1	150	5,2	16,5	0,9701	0,0078
2	-1	20	+1	150	12,4	8,5	0,1679	0,0073
3	+1	50	-1	110	6,6	11,5	0,4714	0,0909
4	-1	20	-1	110	14,8	7,2	0,1479	0,0001
5	+1	50	0	130	4,8	14,5	0,7801	0,0703
6	-1	20	0	130	17,8	11,7	0,0282	0,0008
7	0	30	+1	150	14,7	8,53	0,0918	0,0012
8	0	30	-1	110	14,5	14,4	0,2692	0,0069
9	0	30	0	130	16,5	9,6	0,0319	0,0004

*ОЦ - органолептическая оценка; **ПМ-потери массы рыбы

$$Y = +13,59 - 0,031X_1 - 0,21X_2 + 0,00039X_1X_2 + 0,00076X_2^2 \quad (2)$$

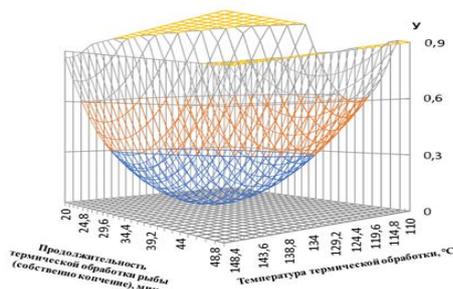


Рисунок 4 – Математическая модель процесса термической обработки рыбы с иммерсионно нанесенным и подсушенным КВБ

Оптимальные значения факторов:

X_1 - продолжительность термической обработки рыбы: 27 -33 мин;

X_2 - температура обработки: 110-130 °С.

Проверка полученных данных в специальных экспериментах при обработке филе салаки и скумбрии показала, что при обоснованных параметрах иммерсионного нанесения КВБ и последующей термической обработки формируются заданные характеристики рыбы горячего копчения (цвет, вкус и аромат копчености) при полной проварке ее мышечной ткани (температура внутри 72-75 °С). При этом минимизируются потери массы рыбы (8,0-10,0%) вместо традиционных (24-30%), что обеспечивает существенное ресурсосбережение сырья (на 16-20%).

Проведенные эксперименты позволили обосновать технологическую схему горячего копчения рыбы с применением КВБ (рисунок 5), обеспечивающую получение гастрономически привлекательной продукции повышенного выхода при безотходном использовании коптильной среды и отсутствии ее выбросов в окружающую среду. На ее основе разработан соответствующий пакет технической документации (ТУ 10.20.24–031–3904014891–2023 «Рыба бездымного горячего копчения «Морской дуэт» и технологическая инструкция ТИ).

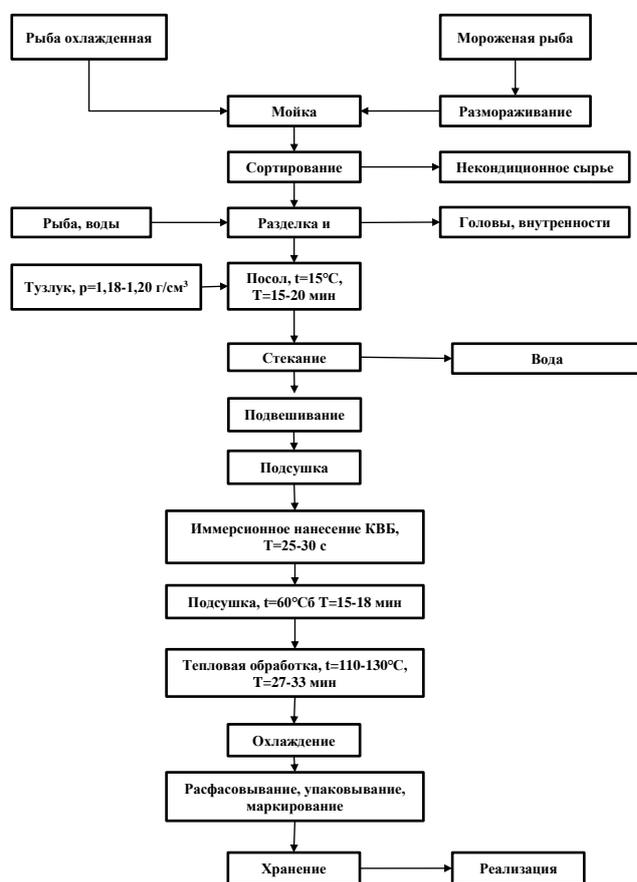


Рисунок 5 – Технологическая схема приготовления рыбы бездымного горячего копчения «Морской дуэт» экологически безопасным способом с применением коптильно-водорослевого биогеля

В разделе «Исследование хранимоспособности готовой продукции» обосновывали срок годности копченой рыбы, обработанной КВБ, путем оценки динамики микробиологических показателей скумбрии (таблица 8, 9) и уровня биохимических изменений ее белков (рисунок 6) при принятых условиях хранения и упаковки: температура плюс $3 \pm 0,5^\circ\text{C}$; упаковка вакуумная и без вакуума.

Из данных таблицы 8 и 9 следует, что разработанная технология обеспечивает сохранение микробиологической безопасности готовой продукции при упаковке без вакуума на протяжении 7

суток хранения, что превышает рекомендуемый срок годности стандартной рыбы горячего копчения в 3,5 раза (3 суток по ГОСТ 7447-2015), при этом в вакуумной упаковке превышения нормативных значений КМАФАнМ в рыбе не наблюдалось в течение 45 суток. Другие регламентированные показатели (БГКП, БГКП, *S. Aureus*, сальмонеллы, *Listeria monocytogenes*, сульфитредуцирующие кластридии, дрожжи и плесневые грибы) не выявлены на протяжении всего эксперимента.

Таблица 8 – Микробиологическая характеристика опытных образцов скумбрии горячего копчения, обработанной КВБ, при хранении в полимерной упаковке без вакуума

Наименование показателя	Значение по ТР ТС 040/2016	Содержание микроорганизмов в процессе хранения, сут.					
		0 (ФТ*)	3	4	5	7	10
КМАФАнМ, КОЕ/г, не более	1×10^4	менее $1,5 \times 10^2$	менее $1,5 \times 10^2$	менее $1,5 \times 10^2$	$1,5 \times 10^2$	$2,4 \times 10^3$	$1,1 \times 10^6$

*-фоновая точка

Таблица 9 – Микробиологические показатели экспериментальных образцов скумбрии горячего копчения, обработанной КВБ, при хранении в полимерной упаковке с вакуумированием

Наименование показателя	Значение по ТР ТС	Содержание микроорганизмов в процессе хранения, сут.						
		10 (ФТ*)	20	30	35	40	45	50
КМАФАнМ, КОЕ/г, не более	1×10^4	менее $1,0 \times 10^2$	менее $1,0 \times 10^2$	менее 3×10^2	$3,4 \times 10^2$	$1,5 \times 10^3$	$1,8 \times 10^3$	$2,5 \times 10^4$

*-фоновая точка

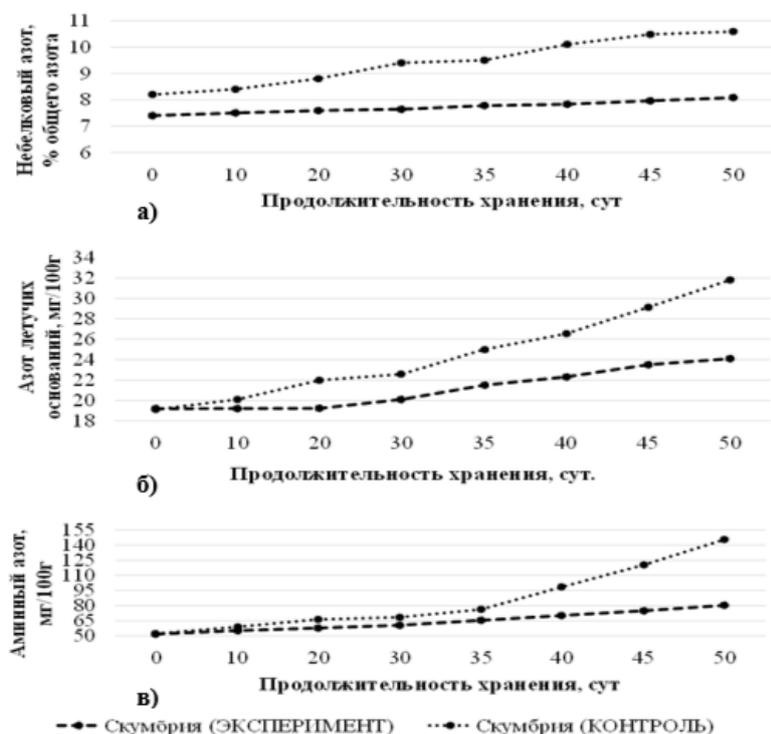


Рисунок 6 – Изменение в процессе хранения скумбрии горячего бездымного копчения содержания: а) небелкового азота (НБА); б) азота летучих оснований (АЛО); в) аминок азота (АА)

Из анализа экспериментальных данных по накоплению продуктов деградации белка (рисунок б) видно, что в образцах рыбы, обработанной КВБ (эксперимент), белки обладают повы-

шенной стойкостью. Накопление в них НБА, АЛО, АА происходит менее интенсивно, чем в рыбе дымового копчения (контроль), примерно на 20 – 26%. Нежелательные изменения белков в контрольном образце наблюдаются через 35 суток, а в экспериментальном - после 45 суток.

В процессе хранения копченой скумбрии в вакуумной упаковке сравнительно определяли показатели степени гидролиза и окисления липидов: перекисное, альдегидное и кислотное числа жира (рисунок 7). Результаты показали, что в рыбе с КВБ жиры более устойчивы к порче, чем при традиционном дымовом копчении. Их повышенная стабильность обусловлена как прямым барьерным эффектом образующейся коптильно-водородослевой пленки, так и синергическим антиоксидантным воздействием компонентов водоросли (каротиноидов, флавоноидов и антоцианов) и коптильной среды (фенолов, ароматических альдегидов и кислот).

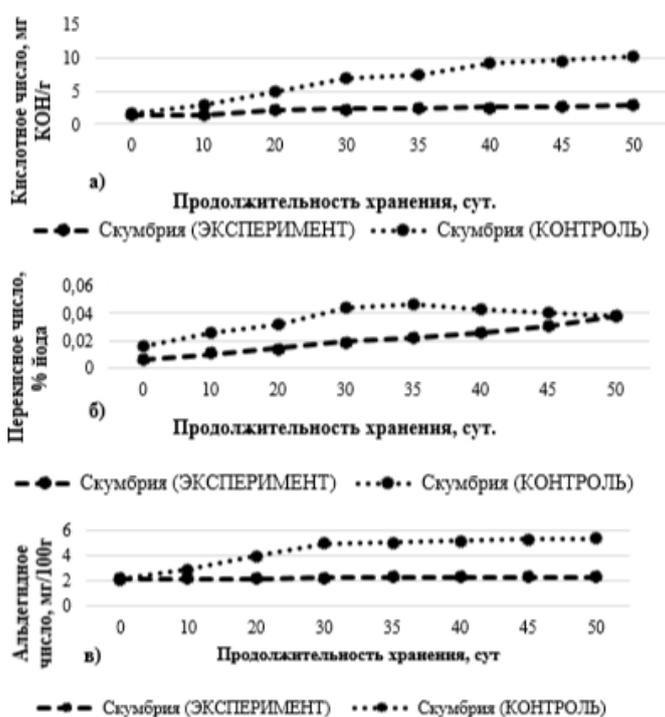


Рисунок 7 – Сравнительное изменение кислотного числа (а), перекисного числа (б) и альдегидного числа (в) липидов скумбрии, обработанной КВБ (эксперимент) и коптильным дымом (контроль) в процессе хранения

С учетом полученных данных о повышенной стойкости новой копченой рыбной продукции ее срок годности может быть принят 7 и 45 суток при хранении соответственно в полимерной упаковке без вакуума и с вакуумом при температуре плюс $3 \pm 0,5^\circ\text{C}$.

В разделе «Оценка качества готовой продукции» сравнительно изучали различные показатели качества и биологической ценности копченой рыбы.

Для исследования процесса формирования цвета, как основного показателя качества рыбы горячего копчения, использовали его инструментальное измерение в системе CIE L*a*b. Цветовые характеристики копченых образцов скумбрии и салаки, приготовленных дымовым (контроль) и бездымным способами (эксперимент), приведены в таблице 10. Полученные данные близки по значениям, что свидетельствует о сформированности у рыбы бездымной обработки заданного уровня окрашивания и позволяет его обосновать по объективным показателям.

Таблица 10 – Сравнительные характеристики цвета копчёных образцов скумбрии и салаки дымового и бездымного копчения, полученных в системе CIE L*a*b

Образец	Светлота, L, кд/м ²	Координаты цветности		Насыщенность, С	Угол цве- тового тона, Н°	Длина волны, λ, нм	Значение цве- тового разли- чия, ΔE
		a	b				
Скумбрия дымового горячего копчения (контроль)							
Контроль	70,1	16,1	74,25	74,25	78,01	581,64	-
Скумбрия горячего копчения с применением КВБ (эксперимент)							
1	81,2	12,2	71,3	72,3	80,2	622,3	12,1
2	70,9	16,1	69,9	71,7	77,1	582,3	4,4
3	69,7	18,2	71,3	71,5	75,6	537,8	3,6
4	71,1	16,3	74,1	75,9	77,6	585,4	0,9
5	71,2	20,1	72,2	74,9	74,5	602,3	4,5
6	71,3	16,3	76,3	78,1	77,9	585,2	2,4
7	73,4	17,2	75,8	77,6	77,2	576,8	3,7
8	76,1	19,3	71,3	73,9	74,8	605,2	7,3
9	69,4	17,9	71,8	74,1	76,0	582,3	3,1
Салака горячего копчения (контроль)							
Контроль	90,6	7,2	42,5	43,1	80	572,9	-
Салака горячего копчения (эксперимент)							
1	91,4	2,3	45,1	45,1	66,9	575,2	5,3
2	88,3	7,2	44,5	45,1	82,1	575,7	2,8
3	90,3	7,1	43,1	43,6	81,9	573,4	0,4
4	91,4	8,9	42,5	43,4	83,6	510,3	1,9
5	90,3	9,3	43,2	44,2	83,8	569,5	2,1
6	93,8	7,2	41,9	42,5	82,1	575,6	3,4
7	91,3	7,9	42,1	42,8	82,8	538,6	1,4
8	94,3	8,2	41,5	42,3	83,1	584,6	4,1
9	90,5	6,1	41,3	41,8	82,1	573,4	1,6

Области локализации желаемого цвета скумбрии и салаки, выкопченных по оптимизированным режимам (рисунок 8), имеют следующие соответствующие диапазоны: длина волны (нм) 575-582 и 570 – 572; светлота (кд/м²) 70 – 73 и 90 – 92; насыщенность (%) 74 – 78 и 43 – 44%; угол цветового тона (Н°) 76 – 78 и 80 – 83. Зоны на цветовом треугольнике в системе CIE L*a*b имеют цвета от светло-золотистого (салака), до золотисто-коричневого (скумбрия).

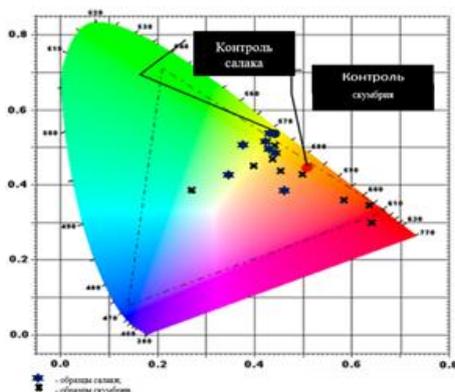


Рисунок 8 - Области локализации цветовых характеристик копченой рыбы в системе CIE L*a*b

Результаты экспериментов по сравнительной оценке основных показателей качества и пищевой ценности копченой рыбы приведены в таблицах 11 и 12.

Таблица 11 – Некоторые показатели качества скумбрии бездымного горячего копчения, выкопченной с применением КВБ и дымовым способом

Способ копчения	ОЦ*, баллы	Потери массы, %	Содержание, мг/100 г		Массовая доля, %				
			карбонильные вещества	фенольные вещества	белка	воды	зола	поваренной соли	адгезива
Бездымная обработка КВБ	17,4	8,5	2,5	1,9	17,2	58,7	1,6	2,5	1,24
Дымовая обработка	16,6	23,2	15,4	4,4	16,6	53,1	1,4	2,8	-

*ОЦ- органолептическая оценка (по 20-балльной шкале)

Из таблицы 11 видно, что образцы, приготовленные разными способами копчения, по химическому составу практически не отличаются. Однако у рыбы с КВБ значительно снижены потери массы (на 63%), что обусловлено защитным эффектом фикоколлоидной пленки и сокращением времени обработки. В результате на 14,7% повышается выход готовой продукции, консистенция рыбы становится сочнее, а в производстве значительно экономится сырье. В рыбе, обработанной КВБ, существенно снижается содержание копильных веществ (карбонильных и фенольных – соответственно на 84% и 56,8%), что свидетельствует об уменьшении уровня потенциальной токсичности продукции по копильным компонентам. Повышенный уровень сбалансированности органолептических оттенков вкуса и запаха у образцов рыбы горячего копчения с КВБ (эксперимент) относительно контроля показан на рисунке 9.

● - Скумбрия (ЭКСПЕРИМЕНТ) ● - Скумбрия (КОНТРОЛЬ)



Рисунок 9 – Профилограмма органолептической оценки вкуса и запаха образцов скумбрии горячего копчения различных способов обработки

Таблица 12 – Содержания витаминов и минеральных веществ в мышечной ткани скумбрии бездымной обработки с применением КВБ

Витамины, мг/100 г			Каротиноиды, мг/100 г	Минеральные вещества, мг/100 г				
В ₁	В ₂	В ₆		Натрий	Кальций	Йод	Магний	Калий
1,5	0,7	0,4	1,6	68,3	70,4	0,045	35,4	164,8

Из таблицы 12 следует, что при употреблении 100 г новой продукции степень удовлетворения в ценных функциональных ингредиентах составит: В₁ – 100%; В₂ – 38,8%; В₆ – 20%;

натрий – 5,3%; кальций – 7,0%; йод – 30%; магний – 8,4%; калий – 4,7%; каротиноиды – 32%. Таким образом, рыбу новой технологии копчения можно отнести к функциональным пищевым продуктам (ГОСТ Р 54059-2010) по содержанию витаминов группы В, йода и каротиноидов.

На следующем этапе исследования проводили сравнительную оценку биологической ценности образцов копченой скумбрии разных способов приготовления экспресс-методом с применением тест-культуры *Tetrahymena pyriformis* (рисунок 10, таблица 13).

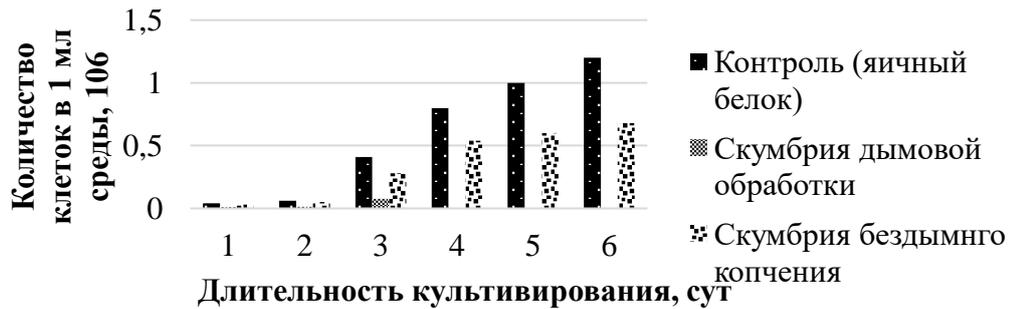


Рисунок 10 – Динамика изменения численности популяции инфузории *Tetrahymena pyriformis* в среде культивирования, содержащей исследуемые образцы

Таблица 13 – Сравнительная характеристика относительной биологической ценности образцов скумбрии горячего копчения

Объект исследования	Показатели биологической ценности		
	ОБЦ, % к контролю*	КБА**	КЭБ, %***
Эталон (яичный белок)	100	2,58	24,9
Скумбрия (эксперимент)	68	0,54	11,2
Скумбрия (контроль)	18,8	0,23	5,2

*ОБЦ - Относительная биологическая ценность; ** - Коэффициент биологической активности; *** - Коэффициент эффективности белка

Результаты экспресс-оценки ОБЦ образцов копченой скумбрии (рисунок 10 и таблица 13) показали существенное преимущество разработанной технологии по сохранению биопотенциала сырья и повышению биологической ценности копченой рыбы. Показатель ОБЦ экспериментальных образцов скумбрии (68%) в 2,1 раза превышал таковой в контрольном образце (18,8%), а коэффициенты КБА и КЭБ превосходили их значения в контроле соответственно в 2,3 и 2,2 раза.

На следующем этапе исследования изучали показатели химической безопасности скумбрии бездымного горячего копчения в соответствии с требованиями действующего технического регламента ТР ТС 040/2016. Показано, что скумбрия, обработанная КВБ, полностью безопасна по содержанию токсичных элементов, пестицидов и санитарно-гигиенических показателей, ПХБ, гистамина и бенз(а)пирена. Установленные содержания значительно ниже допустимых, что особенно важно для канцерогенной безопасности по наличию ПАУ: при нормируемом

уровне бенз(а)пирена не более 0,005 мг/кг его фактическое содержание составило 0,0001 мг/кг, т.е. в 50 раз меньше допустимого. Это позволяет считать разработанную продукцию и предлагаемую технологию экологически безопасными.

В разделе «**Производственные испытания разработанной технологии**» приведены данные по выпуску опытной партии скумбрии бездымного горячего копчения в условиях предприятия ООО «Транскомплекс - К» (г. Калининград). Выработанная продукция по качеству соответствовала требованиям ТУ 10.20.24 – 031 – 3904014891 – 2023 «Рыба бездымного горячего копчения «Морской дуэт»». По результатам дегустации разработанная технология рекомендована к внедрению.

В разделе «**Оценка экономической эффективности разработки**» обоснована экономическая рациональность выпуска копченой рыбы с применением КВБ. Рентабельность производства составила 19%, срок окупаемости предлагаемого проекта – 5,8 года.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе биопотенциала красных водорослей Балтийского моря *Furcellaria lumbricalis* и достоинств коптильного ароматизатора «Жидкий дым» научно обосновано получение фикоколлоидного коптильно-водорослевого биогеля с функциональными свойствами и его применение в экологически безопасном и ресурсосберегающем горячем копчении рыбы повышенной биологической ценности.

По результатам исследования можно сделать следующие **выводы**:

1. Изучен биопотенциал красной водоросли Балтийского моря *Furcellaria lumbricalis* по содержанию биологически активных веществ, установлен высокий уровень содержания функциональных пищевых ингредиентов (% на сухое в-во): каррагинан – 50,67%; каротиноиды – 1,81%; лютеин – 1,7 мг/100г; минеральные вещества (мг/100 г): Ca – 1104,6; Mg – 688,9; K₂ – 518; Na – 215,4; I – 58,1 мкг/100г; витамины (мг/100г): B₂ – 7,68; E – 8,32; B₁ – 7,68; B₆ – 2,3; K₂ – 0,1; D₃ – 0,051.

2. Обоснованы рациональные параметры получения коптильно-водорослевого биогеля на основе композиции водного экстракта красных водорослей *Furcellaria lumbricalis*, приготовленного при температуре экстрагирования 80 – 85°C в течение 2-х часов, и коптильного ароматизатора «Жидкий дым» путем их смешивания при соотношении 3:1, что обуславливает формирование заданных реологических и органолептических характеристик новой бездымной коптильной среды, необходимых для адгезионного нанесения на поверхность рыбы.

3. Исследованы органолептические, физико-химические и функционально-технологические характеристики коптильно-водорослевого биогеля: вязкость 450 – 600 сПз, содержание основных компонентов: кислот – от 1,5 до 2,5%; фенольных веществ – от 1,0 до 2,0%;

карбонильных соединений – от 4,0 до 6,5%, каррагинанов – от 6 до 10%. Рекомендуемый срок годности биогеля составил 6 месяцев.

4. Получены математические модели процессов нанесения биогеля на поверхность рыбы и ее проварки до кулинарной готовности, связывающие обобщенные показатели качества готовой продукции при иммерсионной обработке полуфабриката коптильно-водородослевым биогелем с ключевыми факторами процесса; рассчитаны и экспериментально подтверждены оптимальные значения: продолжительность иммерсионной обработки рыбы КВБ (25 – 30 с) и продолжительность подсушки при 60 °С (15 – 18 мин.); продолжительности термической обработки рыбы (27 – 33 мин.) и температура термической обработки (110 – 130°С). На основе полученных данных обоснована технология рыбы горячего копчения повышенной биологической ценности.

5. Исследована хранимоспособность рыбы бездымного горячего копчения по динамике микробиологических характеристик, показателей биохимических изменений в белках и липидах. Установлено, что копченая рыба с КВБ сохраняет санитарную безопасность и органолептические показатели при упаковывании без вакуума при температуре хранения плюс $3 \pm 0,5^\circ\text{C}$ на протяжении 7 суток, что превышает рекомендуемый срок годности рыбы дымового горячего копчения в 3,5 раза. Срок годности продукции, упакованной под вакуумом, при температуре хранения плюс $3 \pm 0,5^\circ\text{C}$ составляет 45 суток.

6. В сравнительных испытаниях изучены инструментальные показатели цвета копченой рыбы, обработанной дымовым и бездымным способами, в системе CIE L*a*b. Установлены минимальные отличия цветовых различий в контрольных и опытных образцах. Обоснованы координаты цветности и области локализации основных показателей цвета рыбы бездымного копчения в цветовом треугольнике CIE L*a*b (скумбрия горячего копчения: длина волны 575–582 нм; светлота 70–73 кд/м², насыщенность 74–78%, угол цветового тона 76–78 Н°; салака: длина волны 570–572 нм; светлота 90–92 кд/м²; насыщенность 43–44%; угол цветового тона – 80–83 Н°).

7. Исследованы основные показатели качества, биологической ценности и безопасности экспериментальных образцов рыбы горячего бездымного копчения. Установлено пониженное содержание в ней основных коптильных компонентов относительно рыбы дымовой обработки (фенольных и карбонильных веществ соответственно на 57% и 84%) при более высокой органолептической оценке. Показана повышенная относительная биологическая ценность продукции по росту тест-организма *Tetrahymena pyriformis* против рыбы дымового копчения (на 68%). Обоснована безопасность рыбы с КВБ по содержанию токсичных элементов и функциональный уровень качества. Степени удовлетворения физиологической потребности при употреблении 100 г скумбрии, приготовленной новым способом, составляет: витаминов В₁, В₂, В₆ – соответственно на 100%; 38,8%; 20%; йода - на 30%; каротиноидов - на 32%.

8. На базе предприятия ООО «Транскомплекс-К» проведены производственные испытания, подтвердившие перспективность промышленного изготовления копченой рыбы с применением коптильно-водорослевого биогеля.

9. На разработанные продукты подготовлена и утверждена техническая документация: ТУ и ТИ 10.20.24 – 032 – 3904014891 – 2023 «Коптильно водорослевая-композиция «Морской дым»»; ТУ и ТИ 10.20.24 – 031 – 3904014891 – 2023 «Рыба бездымного горячего копчения «Морской дуэт»». Обоснована экономическая эффективность внедрения новой технологии в производство.

Список работ, в которых опубликованы основные положения научно – квалификационной работы (диссертации)

Статьи, опубликованные в журналах, рекомендуемых ВАК Минобрнауки:

1. Сушина А.Д., Мезенова О.Я. Исследование получения и применения коптильной композиции на основе экстрактов красных водорослей *Furcellaria Lumbricalis*. // Вестник Международной академии холода. 2022. № 1. С.53-60. DOI: 10.17586/1606-4313-2022-21-1-53-60
2. Мезенова О. Я., Самбурская Н. В., Сушина А. Д., Мёрзель Й.-Т. Использование потенциала красных водорослей в технологии бездымного копчения рыбы // Вестник Международной академии холода. 2022. № 4. С. 29–36. DOI: 10.17586/1606-4313-2022-21-4-29-36
3. Сушина А. Д., Мезенова О. Я. Безопасность и качество рыбы бездымного горячего копчения с применением коптильно-водорослевой композиции // Известия КГТУ. 2024. № 72. С. 92–102. DOI:10.46845/1997-3071-2024-72-92-102
4. Сушина А.Д., Мезенова О.Я. Оценка качества рыбы бездымного горячего копчения, приготовленной с применением коптильно-водорослевой композиции. // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2024. № 1. С.123-128. DOI: 10.26297/0579-3009.2024.1.20

Патент:

5. Патент № 2792451 Российская федерация, МПК А23В 4/044 (2006.01), А23L 17/00 (2016.01). Способ приготовления рыбы горячего копчения: № 2022116674: заявл. 20.06.2022: опубл. 22.03.2023 / О.Я. Мезенова, А.Д. Сушина; заявитель ФГБОУ ВО «КГТУ». – 17 с.

Научные статьи в других журналах и материалах конференций

6. Сушина А. Д., Мезенова О. Я. Исследование получения коптильного геля на основе экстракта красных водорослей Балтийского моря / А. Д. Сушина, О. Я. Мезенова // Материалы IX Международного Балтийского морского форума 4-9 октября 2021 года. Том 4. X Юбилейная Международная научно-практическая конференция «Пищевая и морская биотехнология». - Калининград: БГАРФ, 2021. - С. 144-151.
7. Сушина А. Д., Мезенова О. Я. Исследование реологических характеристик коптильно-водорослевой композиции при приготовлении рыбы горячего копчения / А. Д. Сушина, О. Я. Мезенова // Материалы X Международного Балтийского морского форума. 26 сентября -1 октября 2022 года. Том 4. XI Национальная научно-практическая конференция с международным участием «Пищевая и морская биотехнология». — Калининград: БГАРФ, 2022. - С. 158-164.
8. Сушина А. Д., Мезенова О. Я. Применение коптильной композиции на основе экстрактов красных водорослей *Furcellaria lumbricalis* в технологии горячего копчения рыбы / А. Д. Сушина, О. Я. Мезенова // Материалы Международной научно-практической конференции «Ак-

туальные проблемы прикладной биотехнологии и инженерии». 21 июня 2022 г. - Оренбург: ОГУ, 2022. - С. 128-132

9. Сушина А. Д., Мезенова О. Я. Сравнительное исследование качества рыбы бездымного горячего копчения в процессе хранения / А. Д. Сушина, О. Я. Мезенова // Материалы XI Международного Балтийского морского форума. 25-30 сентября 2023 года. Том 4. XII Национальная научно-практическая конференция с международным участием «Пищевая и морская биотехнология». - Калининград: БГАРФ, 2023. - С. 97-103.

10. Сушина А.Д., Мезенова О.Я., Максимова, С.Н. Технология получения экологически безопасной копчёной рыбы / А.Д. Сушина, О.Я. Мезенова, С.Н. Максимова // Перспективы развития пищевой промышленности и общественного питания: техника, технологии и управление качеством: материалы Национальной научно-технической конференции. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2023. – С. 181-185.

11. Сушина А.Д., Мезенова О.Я. Биотестирование копченой рыбной продукции с использованием *Tetrahymena pyriformis* / А.Д. Сушина, О.Я. Мезенова // Материалы II Международной научно-практической конференции «Рыбохозяйственный комплекс России: 300 лет российской академической науке». – Москва: Издательство ВНИРО, 2024. – С. 557 – 561.

Список сокращений и условных обозначений

БАВ – биологически активное вещество;

БКС – бездымная коптильная среда;

КА – коптильный ароматизатор;

КБА – коэффициент биологической активности;

КВБ – коптильно-водорослевый биогель;

КОЕ – колониеобразующая единица;

КМАФАнМ – количество мезофильных анаэробных и факультативно - анаэробных микроорганизмов;

КЭБ – коэффициент эффективности белка;

ОБЦ – относительная биологическая ценность;

ОЦКП – ортогональный центральный композиционный план;

ПАУ – полициклические ароматические углеводороды;

ТУ – технические условия;

ТИ - технологическая инструкция;

ТР ТС – технический регламент Таможенного союза;

Подписано в печать 17.10.2024. Формат 60x86/16. Тираж 100 экз. Объем 1,1 п.л. Заказ № ____.

Калининградский государственный технический университет

236022, Россия г. Калининград, Советский проспект, д. 1

Отпечатано в типографии ФГБОУ ВО «КГТУ».

236022, Россия г. Калининград, Советский проспект, д. 1
