

На правах рукописи



ДАМБАРОВИЧ ЛЕОНИД ВАСИЛЬЕВИЧ

**БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ЖИРА
ИЗ ВТОРИЧНОГО РЫБНОГО СЫРЬЯ И ОБОСНОВАНИЕ ЕГО
ПРИМЕНЕНИЯ В ПИЩЕВЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ ПРОДУКТАХ**

4.3.5. Биотехнология продуктов питания и биологически активных веществ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Калининград

2025

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

Научный руководитель:

Агафонова Светлана Викторовна

кандидат технических наук, доцент
доцент кафедры пищевой биотехнологии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Калининградский государственный технический университет»

Официальные оппоненты:

Табакеева 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»)

Петров Борис Федорович

кандидат технических наук, доцент
заведующий кафедрой технологий пищевых производств Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Мурманский арктический университет» (ФГАОУ ВО «МАУ»)

Ведущая организация:

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

Защита состоится 02 октября 2025 г. в 14:00 ч. 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/dambarovich/dambarovich_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 «___» _____ 2025 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат технических наук, доцент

Недоступ Александр Алексеевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В настоящее время актуальным является вопрос по переработке вторичного сырья, образующегося в процессе производства рыбной продукции. К такому сырью относятся головы, хребты, чешуя, кожа, внутренние органы и другие части тела рыб, остающиеся после разделки.

На территории Калининградской области насчитывается около 35 предприятий по производству рыбной продукции. На каждом из них количество неперерабатываемых отходов достигает 40-50 % от массы сырья и варьируется в зависимости от его вида. Например, только при переработке кильки балтийской (*Sprattus sprattus balticus*), используемой в основном для производства консервов «Шпроты в масле», и скумбрии атлантической (*Scomber scombrus*), идущей на выработку консервов, соленой и копченой рыбной продукции, количество рыбных отходов превышает 12 тонн в сутки (Мезенова, 2021-2023; Байдалинова, 2014).

Липиды являются одной из основных фракций химического состава вторичного рыбного сырья. Входящие в состав липидов рыб жирные кислоты (ЖК) представлены в большей степени полиненасыщенными жирными кислотами (ПНЖК), в том числе, ценными омега-3 ЖК (альфа-линоленовая (АЛК), эйкозапентаеновая (ЭПК), докозагексаеновая (ДГК) кислоты). Поэтому данное сырье представляет интерес для получения на его основе жиров – источников эссенциальных жирных кислот и обогащенных ими функциональных продуктов питания. В то же время, высокая склонность жиров рыб к окислительной порче обуславливает нестабильность их качества при получении и хранении (Макарова, 2013; Байдалинова, 2004; Боева, 2016; Сафронова, 2013; Колупаева, 2013; Бойцов, 2012). Такая специфичность рыбного жира приводит к необходимости разработки комплексного подхода к переработке жиросодержащих рыбных отходов с получением жира, а также пищевых или технических продуктов, в зависимости от его качества. Рационально жиры, удовлетворяющие по показателям безопасности требованиям пищевой продукции, использовать для выработки эмульсионных соусов, а жиры с повышенным уровнем гидролитических и окислительных изменений направлять на технические цели, например, получение биотоплива нового поколения – биодизеля.

Качество извлекаемого из рыбных отходов жира во многом зависит от их предварительной обработки. В зависимости от технологии различают термообработанное сырье (головы рыбы горячего копчения, остающиеся при производстве консервов «Шпроты в масле») и натуральное сырье, термонеобработанное (отходы от разделки рыбы при производстве натуральных консервов, соленой рыбы и пресервов). Предварительное термическое воздействие стабилизирует качество жира, поскольку инактивируются ферменты, обуславливающие гидролиз и интенсификацию окислительной порчи жира (Боева, 2010; Сафронова, 2022). Данный фактор следует учитывать при направлении жира на дальнейшую переработку.

Другим важным фактором получения качественного жира при высокой степени его извлечения из сырья является способ его выделения. Традиционно жир из рыбного сырья извлекают методом влажного прессования, однако при этом экстрагируются только резервные (свободные) жиры. Специфичностью рыбных голов, как жиросодержащих рыбных отходов, отличающихся высоким содержанием коллагеновых тканей, является повышенное количество связанных фосфолипидов, входящих в состав липопротеидов мозга и нервной ткани, которые практически не вытапливаются (Артемова, 2013; Медведев, 2014; Махутова, 2020).

Представляется перспективным биотехнологический (ферментативный) способ извлечения жира из рыбных отходов, как щадящий и наиболее эффективный по глубине деградации жиросодержащих коллагеновых тканей вторичного сырья (Мезенова 2023, 2024; Байдалинова, 2014; Боева, 2015; Вострикова, 2018). С учетом появления коммерческих протеолитических ферментов нового поколения их использование в экстрагировании жиров из рыбных коллагенсодержащих отходов представляет научный и практический интерес.

В связи с этим разработка биотехнологического способа извлечения жира из рыбных отходов и режимов, обуславливающих его максимальный выход и наибольшее сохранение качества, а также обоснование рациональных направлений использования, в зависимости от природы и степени негативных изменений, является актуальным.

Степень разработанности темы исследования. Исследования, направленные на получение рыбного жира из вторичного рыбного сырья и обоснование его рационального использования, проводили многие ученые: Агафонова С.В., Артемова А.Г., Артюхова С.А., Байдалинова Л.С., Боева Н.П., Бредихина О.В., Ворслов Л.О., Гропянов Д.А., Громова О.А., Добрян Е.И., Запорожская Л.И., Зайцева М.И., Сафронова Т.М., Скрыбина Н.М., Макарова С.Г., Мезенова О.Я., Исаев В.А., Красковская К.А., Кузнецов Ю.Н., Колупаева Е.А., Николаева С.В., Петров Б.Ф., Плотникова Е.Ю., Ржавская Ф.М., Сытова М.В., Трухин Н.В., Тохириён Б., Хелинг А., Цибизова Д.А., Швейкина К.С., Шишкина А.И., Шульгина Л.В., Ascheiro A., Báez R.V., Calder P.C., Catapano A.L., Chitranjali T., Ewa. S.W., Ferguson J.F., González F.E., Haddock C.K., Harris W.S., Lehner A., Mulvey C.K., Miles E.A., Neuhofer A., Patel P.N., Poston W.C., Quang V., Riedel S.L., Svahn S.L., Tedeschi S.K., Tomasz W., Yates C.M. и др.

Однако биотехнологический способ извлечения жира из различного вторичного рыбного сырья, в зависимости от его вида (копченое, свежее, термообработанное и др.), а также вида фермента, и обоснование использования жира на пищевые или технические цели изучены мало.

Цель и задачи исследования. Целью диссертационной работы является научное обоснование технологии получения жира из вторичного рыбного сырья Калининградской области биотехнологическим способом и его применения в пищевых и технических продуктах.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие **задачи**:

1. Провести анализ современной научно-технической и патентной литературы для выявления основных направлений в технологии извлечения и применения липидов рыб;
2. Обосновать применение вторичного сырья атлантической скумбрии и копченой балтийской кильки для извлечения жира и классифицировать его на основе показателей качества;
3. Получить математические модели процесса ферментации, оптимизировать значения его основных факторов и обосновать технологию получения жира из вторичного рыбного сырья с использованием коммерческих ферментных препаратов протеолитического действия;
4. Обосновать снижение содержания полициклических ароматических углеводородов в жире из копченого рыбного сырья с помощью адсорбционной очистки;
5. Исследовать жирнокислотный состав, показатели качества, безопасности и физиологической эффективности полученных рыбных жиров;
6. Обосновать состав эмульсионного соуса, обогащенного рыбным жиром, технологию его получения, показатели качества, хранимостпособности и функциональности;
7. Обосновать технологическую схему получения биодизеля на основе жира пониженного качества из вторичного рыбного сырья и оценить показатели его качества;
8. Разработать техническую документацию на вторичное жиросодержащее рыбное сырье и получаемые из него продукты пищевого и технического назначения;
9. Апробировать технологию получения эмульсионного соуса и биодизеля в производственных условиях и обосновать экономическую эффективность технологий.

Научная новизна. Впервые научно обоснованы режимы ферментативного способа извлечения рыбного жира из наиболее массового жиросодержащего вторичного рыбного сырья Калининградской области различных способов предварительной технологической обработки – голов и хребтов атлантической скумбрии (натуральное сырье) и голов копченой балтийской кильки (термообработанное сырье). Установлены математические зависимости степени ферментативного извлечения жира и уровня его окислительных изменений для различных видов рыбного сырья и ферментов, на основании которых оптимизированы режимы ферментативной экстракции. Показана эффективность применения адсорбционной очистки активированным углем в снижении содержания полициклических ароматических углеводородов в жире из голов копченой кильки до пищевого уровня. Предложено дифференцирование полученных жиров с учетом критериальных регламентированных показателей безопасности. Обоснована технологическая схема получения биотехнологическим способом жиров пищевого и технического назначения. Установлены показатели физиологической эффективности жиров пищевого назначения, свидетельствующие об их высоком кардиопротекторном потенциале. Оптимизирована рецептура и разработана технология эмульсионного соуса функциональной направленности, обогащенного рыбными жирами пищевого назначения. Обосновано применение жира технического

назначения в технологии биодизеля, соответствующего по основным показателям требованиям действующей документации. Новизна исследования подтверждена патентом RU № 2809512С1.

Теоретическая и практическая значимость работы. Результаты исследования позволяют расширить имеющиеся знания в переработке вторичного жиросодержащего рыбного сырья биотехнологическим способом. Разработаны технологии получения жира пищевого и технического назначения и его использования в производстве функциональной соусной продукции и топливного биодизеля. Предложена эффективная схема очищения жира из копченых рыбных отходов от полициклических ароматических углеводородов.

Технология эмульсионного соуса, обогащенного рыбным жиром, успешно апробирована в производственных условиях ООО «Восходящая звезда» (п. Котельниково Калининградской области). Получение биодизеля из жира вторичного рыбного сырья технического назначения подтверждено в производственных испытаниях в ООО «Биотех» (г. Калининград).

На биотехнологию, исходное сырье и целевые продукты разработан пакет технической документации: ТУ 10.20.42-035-00471544-2024 «Субпродукты рыбы жиросодержащие»; ТУ и ТИ 10.41.12.110-036-00471544-2024 «Жиры рыбные пищевого и технического назначения»; ТУ и ТИ 10.84.12.140-037-00471544-2024 «Соус эмульсионный «Омега»; ТУ и ТИ 20.59.59-001-00471544-2024 «Биодизель (этиловые эфиры жирных кислот) из рыбного жира». Показана экономическая эффективность разработанных технологий, позволяющая полезно использовать липидный ресурс рыбных отходов.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 4.3.5. Биотехнология продуктов питания и биологически активных веществ в пунктах 7, 15, 20, 25, 29.

Методология и методы исследования. Методология исследований направлена на углубление научных знаний в области производства и использования жиров из вторичного рыбного сырья. Использованы современные физико-химические, микробиологические методы исследования (стандартные, общепринятые и оригинальные), методы математического моделирования, статистической обработки экспериментальных данных.

Положения, выносимые на защиту:

- режимы биотехнологического способа получения из вторичного рыбного сырья жиров пищевого и технического назначения с применением протеолитических ферментов;
- способ адсорбционного снижения содержания полициклических ароматических углеводородов в жире из вторичного копченого рыбного сырья до пищевого уровня;
- показатели качества, физиологической эффективности и безопасности рыбных жиров, ферментативно извлеченных из вторичного рыбного сырья;

– технологии эмульсионного соуса функционального уровня качества и топливного биодизеля с использованием полученных рыбных жиров пищевого и технического назначения.

Степень достоверности результатов и апробация работы. Степень достоверности полученных результатов подтверждена применением современных методов анализа, воспроизводимостью научных экспериментов с получением повторных данных, обработкой результатов исследований с применением математических и статистических методик.

Материалы представленных в диссертации исследований были апробированы на 9 научных конференциях: VII и IX Международные НПК «Пищевая и морская биотехнология» в рамках VI и VIII Международного «Балтийского морского форума» (Калининград, 2018, 2020 г.г.); Межвузовская научно-техническая конференция студентов и курсантов «Дни науки» (Калининград, 2018 г.); VI Всероссийская конференция молодых ученых, аспирантов и студентов с международным участием, посвященная 150-летию Периодической таблицы химических элементов «Пищевые технологии и биотехнологии» (Казань, 2019 г.); I Международная НПК, посвященная Году науки и технологий «Пищевые технологии: исследования, инновации, маркетинг» (Керчь, 2021 г.); IV Национальная НПК «Актуальные проблемы техники, технологии и образования» (Керчь, 2023 г.); XII и XIII Национальные НПК «Пищевая и морская биотехнология» в рамках XI и XII Международного «Балтийского морского форума» (Калининград, 2023, 2024 г.г.); Международная НПК, посвященная 20-летию Технологического института, «Пищевая индустрия: инновационные процессы, продукты, технологии» (Москва, 2024 г.).

Исследования выполнены в рамках инициативной ГБ НИР ФГБОУ ВО «КГТУ» по теме 30.36.100.2 «Разработка и совершенствование технологии пищевых продуктов повышенной пищевой ценности» (2020 – 2024 гг.) и по договору с СО РАН ИБФ № 5/ИБФ/23 от 27.06.2023 (г. Красноярск) в качестве соисполнителя гранта РНФ № 23-64-10007.

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, в анализе результатов, подготовке публикаций по исследованиям, написании автореферата и диссертации.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 16 научных работ, в том числе 6 – в научных журналах из перечня ВАК Минобрнауки РФ. Получен 1 патент РФ № 2809512С1 «Способ получения рыбного жира из вторичного копченого рыбного сырья».

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка использованной литературы, включающего 179 источников, в том числе 70 иностранных. Работа изложена на 188 страницах текста, содержит 45 таблиц, 18 рисунков, 15 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 биотехнологического потенциала рыбных жиров, методов их получения. Рассмотрены проблемы безопасности рыбных жиров из различных источников, а также актуальные направления их использования.

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

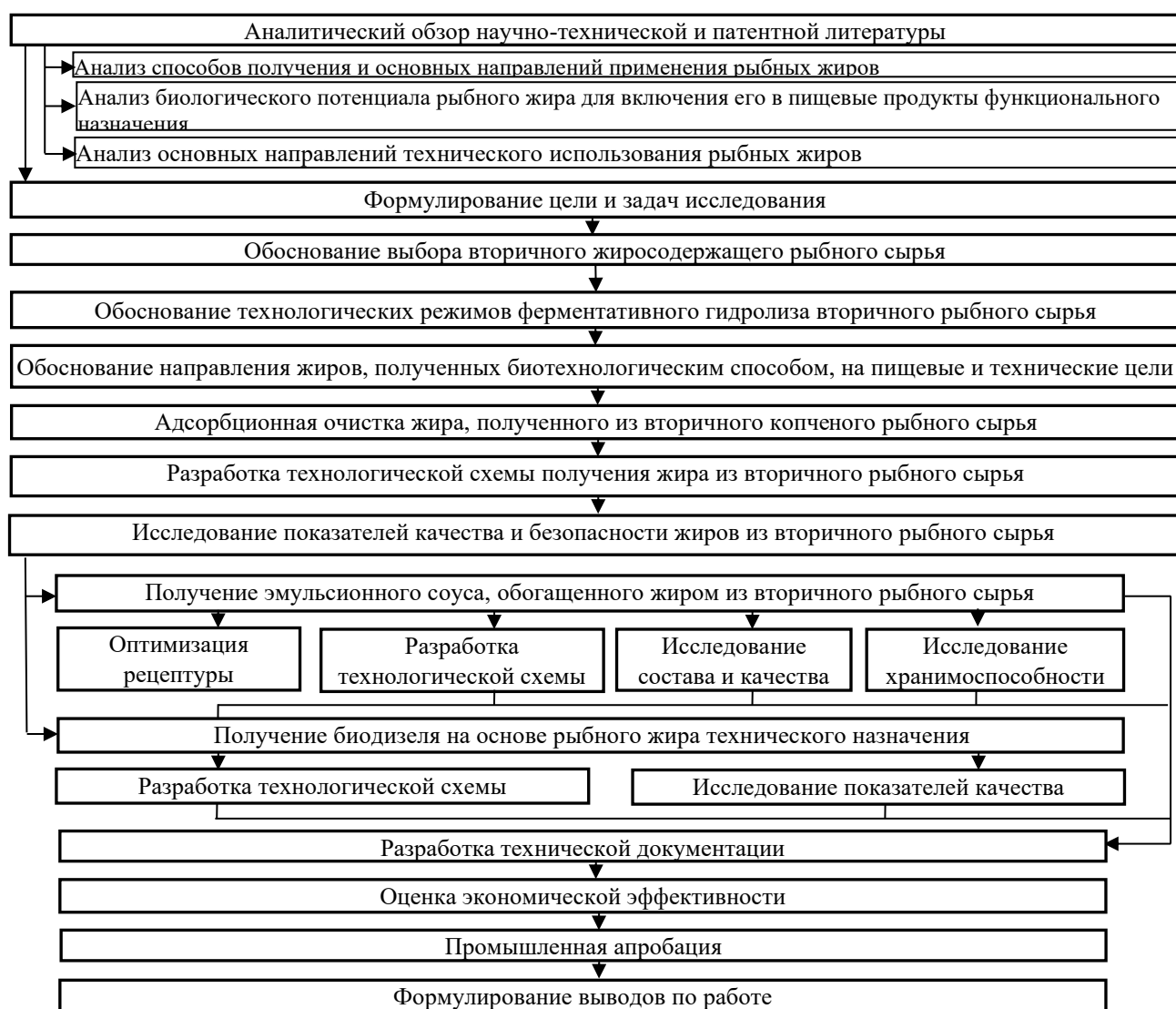


Рисунок 1 – Общая схема исследований

Объектами исследования явились: жиросодержащее вторичное рыбное сырье (головы, хребты скумбрии атлантической (*Scomber scombrus*) и головы балтийской кильки горячего копчения (*Sprattus sprattus balticus*), технология получения рыбных жиров биотехнологическим

способом, рыбные жиры пищевого и технического назначения, а также пищевой и технический продукты на основе полученных жиров – эмульсионный соус и биодизель.

В работе использовали стандартные и общепринятые в исследованиях физико-химические, органолептические и микробиологические методы, математическое моделирование. Эксперименты проводили на базе лабораторий кафедр пищевой биотехнологии, водных биоресурсов и аквакультуры ФГБОУ ВО «КГТУ», научно-исследовательской лаборатории UBF (Альтландсберг, Германия), испытательной лаборатории ООО «КИЦ» (г. Калининград), в Центральной химической лаборатории ВПУ Калининградской ТЭЦ-2 (г. Калининград). Статистическую обработку данных вели с использованием пакетов прикладных программ Microsoft Excel 2010 и Statistica 6.0. Химический состав рыбного сырья, основные показатели безопасности и качества рыбных жиров определяли по ГОСТ 7636-85 и ГОСТ 8714-2014, тиобарбитуровые числа жиров определяли спектрофотометрическим методом, жирнокислотный состав жиров – методом газовой хроматографии. Содержание полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в жире копченой кильки определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. Содержание тяжелых металлов, пестицидов и полихлорированных бифенилов определяли в соответствии с ГОСТ 30178-96, ГОСТ Р 51766-2001, ГОСТ 26927, МВИ. МН 2352-2005. Общий химический состав и показатели качества эмульсионного соуса определяли в соответствии с ГОСТ 31762-2012, эффективную вязкость – с помощью ротационного вискозиметра Брукфильда. Показатели качества биодизеля определяли в соответствии с ГОСТ 32327-2022, ГОСТ 6356-75, ГОСТ 6370-2018, ГОСТ 2477-65, ГОСТ 34193-2017, ГОСТ 6307-75, ГОСТ 6321-92.

В третьей главе **«Результаты исследований и их обсуждение»** в разделе **«Обоснование выбора вторичного жиросодержащего рыбного сырья»** представлены данные по химическому составу вторичного сырья атлантической скумбрии (головы, хребты, внутренние органы) и копченой балтийской кильки (головы). Количество отходов при выработке пищевой продукции из этих видов рыб в Калининградской области превышает 12 т в сутки. Некоторое количество отходов скумбрии направляется на кормовые цели, однако существенная масса не используется и должна быть утилизирована. С наибольшими трудностями сопряжена реализация голов копченой кильки (отходы шпротного производства), которые содержат коптильные компоненты и не должны скармливаться животным. Ввиду высокого содержания жира эти отходы являются перспективными источниками для его выделения. Диапазон колебаний химического состава исследованных отходов на период 2020-2024 гг. представлен в таблице 1.

Химический состав сырья (табл. 1) зависит от его вида, сезона вылова и наличия предварительной термической обработки, но содержание жира во всех случаях достаточно высокое. В отходах скумбрии жирность тканей достигает до 20 %, а в головах копченой кильки – до 28 %, что свидетельствует о целесообразности использования выбранного сырья для получения жира.

Таблица 1 – Диапазон химического состава вторичного жиросодержащего рыбного сырья, %

Показатель	Содержание во вторичном сырье:	
	скумбрии атлантической	кильки балтийской горячего копчения
Вода	60,3-70,5	45,2-61,1
Жир	9,5-20,3	15,8-28,0
Белок	10,2-20,3	18,1-20,5
Зола	4,8-6,6	5,0-6,3

В разделе «Обоснование технологических режимов ферментативного гидролиза рыбного сырья» представлены данные по оптимизации биотехнологического способа выделения жира из вторичного рыбного сырья. При выделении жира к измельченному рыбному сырью добавляли воду в количественном соотношении 1 часть массы воды к 1 части массы сырья и ферментный препарат (ФП). Для гидролиза использовали ФП протеолитического действия: алкалаза (Alcalase, Novozymes, Дания), протозим (Биопрепарат, Россия) и протосубтилин (Сиббиофарм, Россия). Ферментативный гидролиз проводили в условиях регулируемой температуры (53 ± 2 °C) при постоянном перемешивании в лабораторном шейкере-инкубаторе ПЭ-6410. По окончании гидролиза фермент инактивировали при температуре 85 °C в течение 10 минут, после чего гидролизованную массу центрифугировали при частоте вращения 3500 об/мин., температуре 40 °C в течение 15 мин.

Моделирование и оптимизацию ферментативной экстракции жира проводили в соответствии с ортогональным центральным композиционным планом (ОЦКП) второго порядка для двух факторов: массовой доли ФП (%) и продолжительности гидролиза (мин.). Пределы изменяемых факторов и интервалы варьирования представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Изменяемые факторы, их интервалы и предельные значения при моделировании процесса выделения жира из вторичного рыбного сырья

Факторы	Уровни			Интервал варьирования
	-1	0	+1	
При оптимизации выделения жира из вторичного сырья скумбрии				
ω – массовая доля ФП, % к массе рыбного сырья	0,1	0,5	0,9	0,4
τ – продолжительность гидролиза, мин	30	60	90	30
При оптимизации выделения жира из вторичного сырья копченой кильки				
ω – массовая доля ФП, % к массе рыбного сырья	0,05	0,275	0,5	0,225
τ – продолжительность гидролиза, мин	30	60	90	30

В качестве параметра оптимизации был принят обобщенный безразмерный показатель Y , объединяющий частные отклики: выход жира, % от его общего содержания в сырье («идеальное» значение – 100 %), перекисное число жира (ПЧ), ммоль активного кислорода/кг (за «идеалы» ПЧ были приняты его наименьшие значения для жиров в данной серии экспериментов: 4,1 и 4,5 ммоль акт. кислорода / кг для жира скумбрии и жира копченой кильки соответственно).

Обработка полученных данных по алгоритмам ОЦКП позволила получить натуральные математические модели процесса извлечения жира из отходов скумбрии с помощью ФП алкалаза (формула 1, рис. 2а), протозим (формула 2, рис. 2б) и протосубтилин (формула 3, рис. 2в).

$$Y = 2,729 - 5,304 \cdot \omega_a - 0,075 \cdot \tau_a + 0,056 \cdot \omega_a \cdot \tau_a + 3,106 \cdot \omega_a^2 + 0,0005 \cdot \tau_a^2 \quad (1)$$

$$Y = 0,618 - 0,13 \cdot \omega_{\Pi} - 0,014 \cdot \tau_{\Pi} - 0,003 \cdot \omega_{\Pi} \cdot \tau_{\Pi} + 0,262 \cdot \omega_{\Pi}^2 + 0,0001 \cdot \tau_{\Pi}^2 \quad (2)$$

$$Y = 0,905 - 1,275 \cdot \omega_{\Pi\text{с}} - 0,018 \cdot \tau_{\Pi\text{с}} + 0,005 \cdot \omega_{\Pi\text{с}} \cdot \tau_{\Pi\text{с}} + 1,101 \cdot \omega_{\Pi\text{с}}^2 + 0,0001 \cdot \tau_{\Pi\text{с}}^2 \quad (3)$$

В формулах 1-3 ω_a , ω_{Π} и $\omega_{\Pi\text{с}}$ – массовые доли ФП алкалаза, протозим и протосубтилин соответственно; τ_a , τ_{Π} и $\tau_{\Pi\text{с}}$ – продолжительность гидролиза соответствующими протеазами.

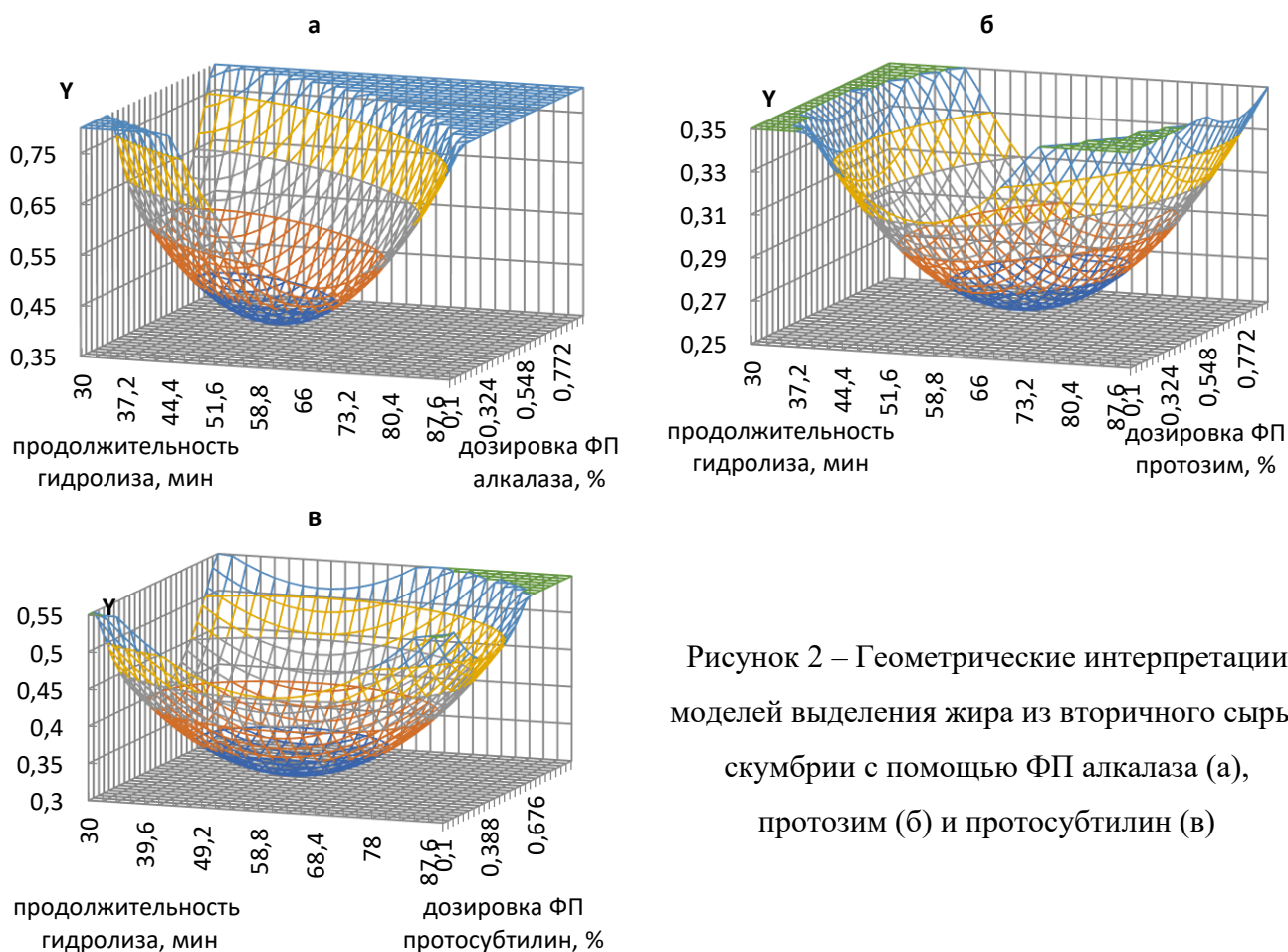


Рисунок 2 – Геометрические интерпретации моделей выделения жира из вторичного сырья скумбрии с помощью ФП алкалаза (а), протозим (б) и протосубтилин (в)

Аналогичным образом были получены натуральные математические модели выделения жира из вторичного сырья копченой кильки с помощью ФП алкалаза (формула 4, рис. 3а), протозим (формула 5, рис. 3б) и протосубтилин (формула 6, рис. 3в).

$$Y = 0,336 - 0,731 \cdot \omega_a - 0,008 \cdot \tau_a + 0,009 \cdot \omega_a \cdot \tau_a + 0,587 \cdot \omega_a^2 + 0,00005 \cdot \tau_a^2 \quad (4)$$

$$Y = 0,626 - 1,78 \cdot \omega_{\Pi} - 0,015 \cdot \tau_{\Pi} + 0,016 \cdot \omega_{\Pi} \cdot \tau_{\Pi} + 1,924 \cdot \omega_{\Pi}^2 + 0,0001 \cdot \tau_{\Pi}^2 \quad (5)$$

$$Y = 0,724 - 2,12 \cdot \omega_{\Pi\text{с}} - 0,019 \cdot \tau_{\Pi\text{с}} + 0,027 \cdot \omega_{\Pi\text{с}} \cdot \tau_{\Pi\text{с}} + 1,918 \cdot \omega_{\Pi\text{с}}^2 + 0,0001 \cdot \tau_{\Pi\text{с}}^2 \quad (6)$$

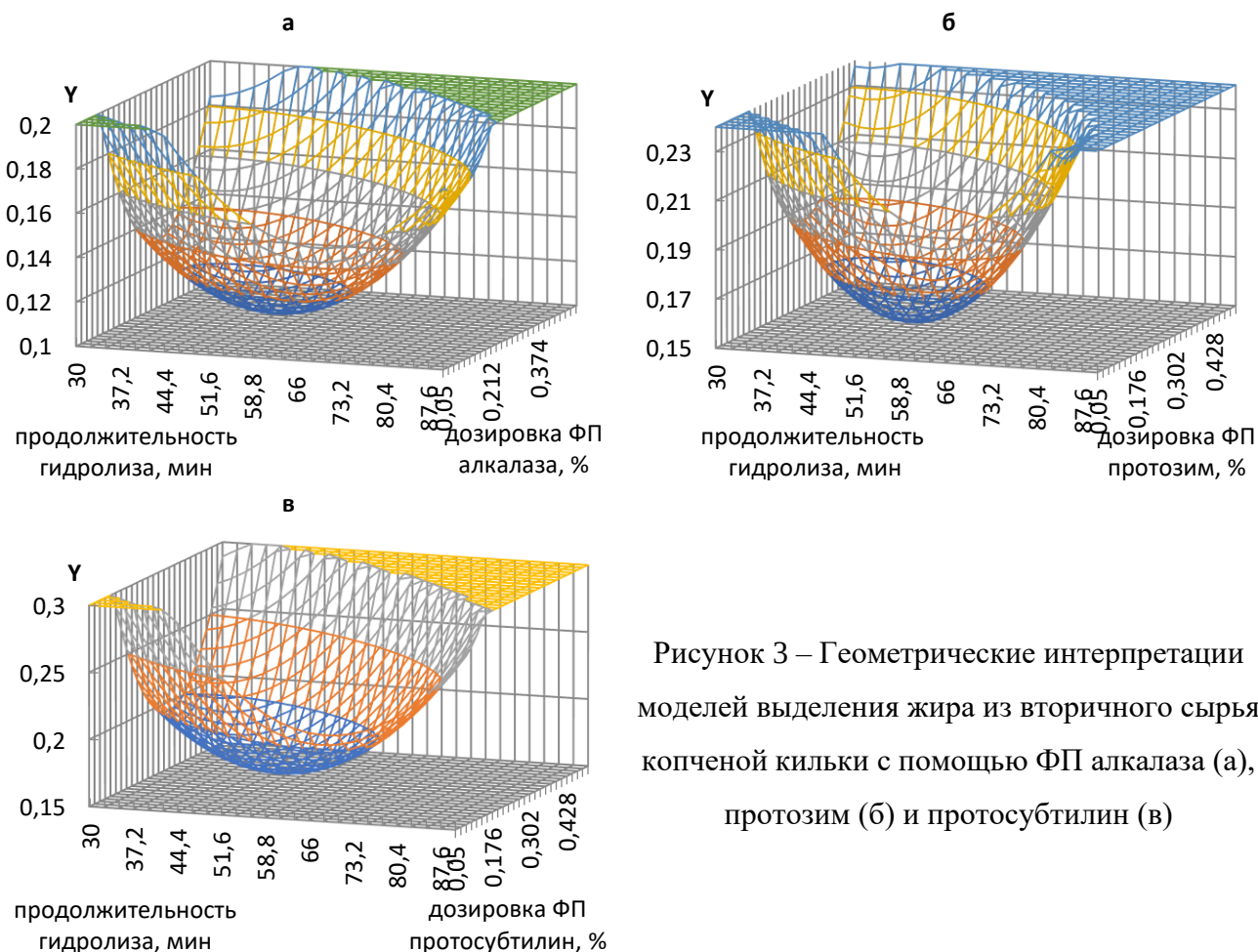


Рисунок 3 – Геометрические интерпретации моделей выделения жира из вторичного сыря копченой кильки с помощью ФП алкалаза (а), протозим (б) и протосубтилин (в)

Экспериментальная проверка полученных оптимальных режимов ферментативного гидролиза вторичного рыбного сыря подтвердила достижение наивысшего выхода жира и наименьших значений ПЧ при ферментативном процессе выделения жира, при этом наилучшие показатели получены при обработке вторичного рыбного сыря ФП алкалаза (табл. 3).

Таблица 3 – Оптимальные параметры ферментативного выделения жира и показатели процесса

Вторичное сырье	ФП	Оптимальные значения факторов		Выход жира, % от содержания в сырье	ПЧ, ммоль акт. кислоты/кг
		дозировка ФП, %	положительность гидролиза, мин		
скумбрии	алкалаза	0,40	52±2	74,6	4,8
	протозим	0,57	60±2	69,8	5,0
	протосубтилин	0,48	53±2	68,7	5,0
копченой кильки	алкалаза	0,22	50±2	75,5	4,6
	протозим	0,25	50±2	69,5	4,6
	протосубтилин	0,15	56±2	71,8	4,8

В разделе «Обоснование направления жиров, полученных биотехнологическим способом, на пищевые и технические цели» представлены результаты исследования показателей гидролитической и окислительной порчи данных жиров, полученных по оптимальным параметрам ферментативной экстракции, за период исследований (табл. 4).

Таблица 4 – Диапазоны значений кислотных и перекисных чисел жиров, выделенных из вторичного рыбного сырья биотехнологическим способом

Показатель	Рыбные жиры, ферментативно экстрагированные из:	
	скумбрии	копченой кильки
КЧ, мг КОН/г	1,5-21,9	1,0-7,2
ПЧ, ммоль активного кислорода/кг	4,1-32,6	4,1-10,5

Жиры, полученные из копченой кильки, характеризовались существенно более низкими значениями кислотных чисел (КЧ) и ПЧ в сравнении с жирами из скумбрии. Это объясняется тем, что килька прибрежного лова, вылавливаемая в Балтийском море, сразу обрабатывается в производстве. Скумбрия является океаническим сырьем, которое после вылова замораживается и хранится до обработки, за этот период в жирах начинаются необратимые изменения. Повышенная устойчивость липидов кильки обеспечивается также за счет ее предварительного горячего копчения, предусмотренного технологией консервов «Шпроты в масле». При этом термическое воздействие приводит к инактивации собственных ферментов, а коптильные компоненты дыма (фенолы и другие ароматические вещества) обеспечивают антиоксидантный эффект.

Жиры, ферментативно экстрагированные из вторичного рыбного сырья, в зависимости от показателей гидролитической и окислительной порчи, дифференцировали на 2 группы – пищевого и технического назначения – согласно критериальным показателям безопасности ТР ЕАЭС 040/2016. В жирах пищевого назначения КЧ и ПЧ не должны превышать регламентированных значений для пищевых рыбных жиров (КЧ не более 4 мг КОН/г, ПЧ не более 10 ммоль активного кислорода/кг). В жирах технического назначения уровни КЧ и ПЧ жира могут быть выше соответствующих показателей пищевой безопасности. При приеме рыбных отходов решение о получении из них жира для пищевых или технических целей принимается на основе анализа КЧ и ПЧ жира, выделенного из выборки центрифугированием навески из средней пробы.

На основании предложенного дифференцирования жиров можно сделать вывод о преимущественном направлении жира из голов копченой кильки на пищевые цели (табл.3). Однако для пищевого использования такого жира необходимо обеспечить в нем безопасное содержание потенциально токсичных ПАУ, попадающих в сырье при копчении и обладающих канцерогенным действием.

Для очистки жира кильки от ПАУ было предложено введение порошкообразного активированного угля CARBOCLEAN-SUN-K (Уралхимсорб), эффективного адсорбента высокомолекулярных соединений, в том числе ПАУ (Ab. Razak N. Afwanisa, 2021). Адсорбент добавляли в количестве 1 % к массе взятого для очистки жира, систему перемешивали в течение 40-45 мин. при температуре 50 ± 2 °C, после чего отделяли активированный уголь центрифугированием.

В разделе «**Адсорбционная очистка жира, полученного из вторичного копченого рыбного сырья**» показаны результаты очистки жира копченой кильки от 4-х наиболее опасных видов ПАУ активированным углём (таблица 5).

Таблица 5 – Содержание ПАУ в жире копченой кильки до и после адсорбционной очистки

Компонент	Содержание в жире из голов копченой балтийской кильки, мкг/кг:	
	до обработки сорбентом	после обработки сорбентом
Бенз(а)пирен	4,56±0,55	0,64±0,08
Бензо(б)флуорантен	1,27±0,19	0,50±0,075
Бенз(а)антрацен	53,18±7,98	24,71±3,71
Хризен	27,36±4,10	7,77±1,16

Наибольшая адсорбирующая способность отмечена в отношении бенз(а)пирена – его содержание уменьшилось на 86 %. При адсорбции удалось снизить концентрацию бензо(б)флуорантена на 60 %, бенз(а)антрацена – на 53,5 %, хризена – на 72 %. Очищенный жир удовлетворяет требованиям безопасности, предъявляемым к копченым рыбным продуктам по содержанию ПАУ (ТР ЕАЭС 040/2016), поэтому может быть использован на пищевые цели.

В разделе «**Технологическая схема получения жира из вторичного рыбного сырья**» представлена схема получения рыбного жира биотехнологическим путем, ключевыми операциями которой являются оценка критериальных показателей безопасности рыбного жира, обработка рыбного сырья протеолитическими ферментами для деструкции тканей, инактивация ферментов, фракционирование ферментированной системы с отделением жира, адсорбционная очистка жира копченой кильки при направлении на пищевые цели, фильтрование и хранение (рис. 4).

В разделе «**Показатели качества и безопасности жиров из вторичного рыбного сырья**» приведены данные, характеризующие природные показатели жиров, а также уровни их гидролитических и окислительных изменений, наличие примесей. Результаты, представленные в таблице 6, позволяют сделать вывод, что жиры пищевого назначения по показателям гидролитической и окислительной порчи соответствуют ТР ЕАС 040/2016 (КЧ не более 4 мг КОН/г, ПЧ не более 10 ммоль акт. кислорода/кг). Тиобарбитуровые числа (ТБЧ) жиров невысокие и составляют 0,059-0,07 ед. оптической плотности.

Жиры технического назначения имеют существенно более высокие значения КЧ, ПЧ, ТБЧ, содержания различных примесей в сравнении с пищевыми жирами, что объясняется эмульгирующими свойствами продуктов гидролиза и окислением компонентов сырья.

Установленное содержание токсичных элементов, пестицидов и полихлорированных бифенилов в ферментативно экстрагированных жирах ниже регламентированных значений в ТР ТС 021/2011 и ТР ЕАЭС 040/2016 для жиров пищевого назначения и свидетельствует о соответствии полученных жиров стандартным требованиям по безопасности (таблица 7).

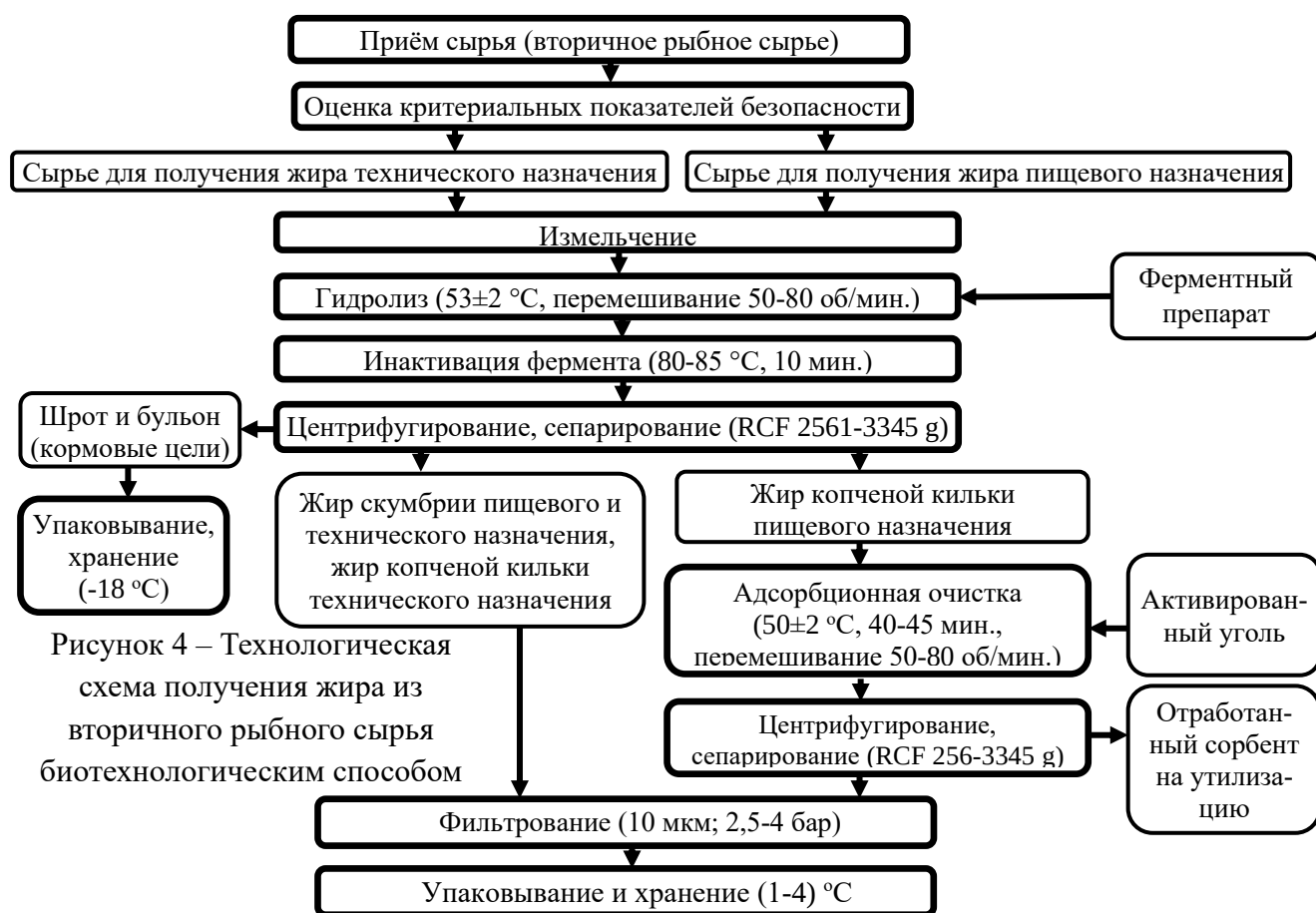


Таблица 6 – Показатели качества и безопасности жиров из вторичного рыбного сырья

Показатель	Жир пищевого назначения из:		Жир технического назначения из:	
	скумбрии	копченой кильки	скумбрии	копченой кильки
Цвет	От желтого до светлого желто-оранжевого	От янтарного до светло-коричневого	От желтого до темно-оранжевого	От янтарного до темно-коричневого
Вкус, запах	Свойственные данному виду жира, без признаков прогорклости	Свойственные данному виду жира, с запахом копчености, без признаков прогорклости	Запах, свойственный данному виду жира	Запах, свойственный данному виду жира, с запахом копчености
Прозрачность при $t > 40^{\circ}\text{C}$	Прозрачный		От прозрачного до опалесцирующего	
Число омыления, мг КОН/г	179,5-182,6	170,5-174,2	201,2-202,9	183,0-196,0
Йодное число, %	176,7-179,6	157,3-159,5	170,7-168,5	150,6-148,8
Кислотное число, мг КОН/г	1,5-3,5	1,0-2,5	12,8-21,9	1,50-7,2
Перекисное число, ммоль активного кислорода/кг	4,1-9,4	4,5-8,4	26,4-32,6	6,1-10,2
Тиобарбитуровое число, ед, оптической плотности	0,070-0,122	0,055-0,095	0,23-0,56	0,08-0,25
Содержание неомыляемых веществ, %	1,5-1,9	1,7-2,0	1,6-2,8	2,8-3,0
Содержание воды, %	0,3-0,4	0,2-0,3	0,7-0,9	0,2-0,4
Содержание примесей нежирового характера, %	0,04-0,1	0,06-0,15	0,6-0,8	0,2-0,3

Таблица 7 – Показатели безопасности жиров пищевого назначения из вторичного рыбного сырья

Показатель	Значения, мг/кг для жира:		Допустимые уровни, мг/кг
	скумбрии	копченой кильки	
Токсичные элементы:			
Мышьяк	0,25±0,09	0,06±0,02	Не более 1,0
Ртуть	0,09±0,02	0,05±0,01	Не более 0,3
Свинец	0,75±0,13	0,15±0,05	Не более 1,0
Кадмий	0,01	0,01	Не более 0,2
Пестициды:			
ГХЦГ (α-, β-, γ-изомеры)	Менее 0,0002	Менее 0,0002	Не более 0,1
ДДТ и его метаболиты (ДДЭ, ДДД)	Менее 0,0002	Менее 0,0002	Не более 0,2
Полихлорированные бифенилы	Менее 0,0002	Менее 0,0002	Не более 3,0

Жирнокислотный состав полученных жиров пищевого назначения (таблица 8) свидетельствует об их высокой биологической ценности.

Таблица 8 – Жирнокислотный состав жиров пищевого назначения из рыбных отходов

Код жирной кислоты	Содержание, % от суммы жирных кислот, в жире:		Код жирной кислоты	Содержание, % от суммы жирных кислот, в жире:	
	скумбрии	копченой кильки		скумбрии	копченой кильки
8:0	0,23±0,01	0,2±0,01	cis 20:0	0,2±0,01	0,2±0,01
10:0	1,4±0,05	0,6±0,02	cis 18:3 n3	11,3±0,3	0,1
14:0	8,6±0,3	4,7±0,1	cis 20:1 n9	1,0±0,03	3,25±0,1
15:0	0,45±0,01	1,1±0,03	cis 20:2 n6	7,1±0,2	0,5±0,02
16:0	13,9±0,4	19,3±0,6	cis 20:3 n3	14,4±0,4	1,0±0,03
16:1 n7	3,4±0,1	5,5±0,2	cis 22:0	0,45±0,01	0,1
17:0	0,3±0,01	1,1±0,03	cis 22:1 n9	0,4±0,01	0,2±0,01
17:1	0,2±0,01	0,7±0,02	cis 20:4 n6	не обнаружена	0,1
18:0	2,1±0,1	2,5±0,1	cis 20:5 n3	8,85±0,3	10,3±0,3
cis 18:1 n9	10,7±0,3	25,2±0,7	24:0	0,1	0,2±0,01
cis 18:1 n7	1,8±0,05	2,7±0,1	cis 24:1 n9	0,3±0,01	0,3±0,01
cis 18:2 n6	1,8±0,05	2,95±0,1	cis 22:5 n3	1,25±0,04	1,3±0,04
cis 18:3 n6	0,1	0,6±0,02	cis 22:6 n3	9,1±0,3	14,9±0,4

Фракция ПНЖК омега-3 представлена альфа-линоленовой (cis 18:3 n3), эйкозатриеновой (cis 20:3 n3), эйкозапентаеновой (cis 20:5 n3) и докозагексаеновой (cis 22:6 n3) кислотами и составляет 44,9 % для жира скумбрии и 27,7 % для жира копченой кильки.

Высокое содержание эссенциальных ПНЖК омега-3, а также соответствие значений показателей физиологической эффективности рыбных жиров требованиям МР 2.3.1.0253-21 свидетельствуют о потенциальном профилактическом действии полученных жиров на сердечно-сосудистые заболевания человека. Данный эффект подтверждается также значениями пищевых индексов качества жиров - коэффициента биологической эффективности, показателей жирнокислотной сбалансированности (соотношение основных ЖК), атерогенности, тромбогенности, каче-

ства, а также гипохолестеринемического показателя (табл. 9). Суточная потребность человека в АЛК (1 г) удовлетворяется потреблением 9 г жира скумбрии, в ЭПК и ДГК (0,25 г) – 1,5 г жира скумбрии и в 1 г жира копченой кильки. Полученные данные подтверждают высокий кардиопротекторный потенциал полученных жиров, так как именно эти ПНЖК омега-3 участвуют в синтезе противовоспалительных, антиагрегантных и гипохолестеринемических медиаторов.

Таблица 9 – Показатели физиологической эффективности жиров пищевого назначения из вторичного рыбного сырья

Показатель	Жир:		Физиологически обоснованное значение для взрослого человека (МР 2.3.1.0253-21)
	скумбрии	копченой кильки	
Сумма НЖК, % от суммы ЖК	27,8	29,9	-
Сумма МНЖК, % от суммы ЖК	17,8	37,8	-
Сумма ПНЖК, % от суммы ЖК	53,9	31,9	-
НЖК : МНЖК : ПНЖК	1,5:1:3	1:1,2:1,1	1 : 1 : 1
Сумма омега-3, % от суммы ЖК	44,9	27,7	-
Сумма омега-6, % от суммы ЖК	9,0	4,2	-
омега-3 : омега-6	4,9 : 1	6,6:1	1 : 5–10
ЭПК + ДГК, % от суммы ЖК	17,95	25,15	0,25 г
АЛК, % от суммы ЖК	11,3	0,13	1,0 г
Коэффициент биологической эффективности БЭ*	1,9	1,1	1
Коэффициент жирнокислотной сбалансированности R_l	0,7	0,95	$R_l \rightarrow 1$
Показатель атерогенности IA^{**}	0,7	0,8	$IA \rightarrow 0$
Показатель тромбогенности IT^{***}	0,15	0,2	$IT \rightarrow 0$
Гипохолестеринемический показатель H/H^{****}	2,5	1,4	$H/H \geq Max$
Показатель качества липидов FLQ^{*****}	18,05	25,3	$FLQ \geq Max$

* показывает отношение содержания ПНЖК к НЖК; ** показывает атерогенный потенциал жира, то есть способность участвовать в формировании холестериновых бляшек на стенках сосудов; *** показывает тромбогенный потенциал жира, то есть его влияние на свертываемость крови и формирование тромбов; **** показывает влияние жира на общий уровень холестерина в крови; *****показывает общее диетическое значение жира и его потенциальное влияние на развитие сердечно-сосудистых заболеваний (Chen, Liu, 2020; Альраджаб, 2023).

О кардиопротекторных свойствах жиров скумбрии и копченой кильки свидетельствуют невысокие значения показателей атерогенности (0,7 и 0,8 соответственно), тромбогенности (0,15 и 0,2) и высокие уровни гипохолестеринемических показателей (2,5 и 1,4). Диетический потенциал жира копченой кильки потенциально оценивается несколько выше жира скумбрии, что выражается в более высоком значении показателя качества липидов (25,3 против 18,05). Оба вида рыбных жиров могут использоваться в качестве добавки к пище для профилактики сердечно-сосудистых заболеваний. Для повышения сбалансированности данных жиров по соотношению омега-3 и омега-6 ЖК, учитывая преобладание в них омега-3 ЖК над омега-6 ЖК целесообразно при проектировании жировых соусов их комбинировать с источниками омега-6 ЖК. Такими источниками являются растительные масла, прежде всего, подсолнечное масло.

В разделе «Получение эмульсионного соуса, обогащенного жиром из вторичного рыбного сырья» приведены результаты по обоснованию рецептуры и основных операций технологии соуса на жировой основе, приготавливаемого по типу «соусов майонезных», с добавлением рыбных жиров с целью получения продукта функционального уровня качества. Предварительно был проведен анализ стабилизационных систем, обеспечивающих эмульсионную консистенцию соуса. В результате был выбран комплекс, включающий 4 %-ный раствор пектина и 1 %-ный раствор ксантановой камеди, которые вносились в количестве 8 и 16 % соответственно к массе жировой фракции соуса. В качестве дополнительного стабилизатора консистенции использовали яичный порошок, для достижения благоприятных органолептических показателей соуса использовались вкусовые компоненты – соль, сахар, горчичный порошок, а также CO_2 -экстракт гвоздики, как источник ароматических веществ и натуральных антиоксидантов. Оптимизацию рецептуры эмульсионного соуса проводили с помощью математического моделирования на основе ОЦКП второго порядка для двух факторов: массовой доли соответственно рыбного жира в жировой фракции ($\omega_{\text{ж}}$), % и яичного порошка ($\omega_{\text{яп}}$), % к массе жировой фракции. В качестве параметра оптимизации использовали безразмерный показатель Y , включающий частные отклики: стойкость эмульсии СЭ («идеал» 100 %) и эффективная вязкость B («идеал» 60 Пз, что соответствует вязкости майонеза «Провансаль»).

Математическая модель рецептуры эмульсионного соуса «Омега» (формула 7, рис. 5) позволила оптимизировать натуральные значения факторов ($\omega_{\text{ж}} = 19,6\%$ и $\omega_{\text{яп}} = 4,6\%$).

$$Y = 2,223 - 0,248 \cdot \omega_{\text{ж}} + 0,097 \cdot \omega_{\text{яп}} - 0,007 \cdot \omega_{\text{ж}} \cdot \omega_{\text{яп}} + 0,007 \cdot \omega_{\text{ж}}^2 + 0,004 \cdot \omega_{\text{яп}}^2 \quad (7)$$

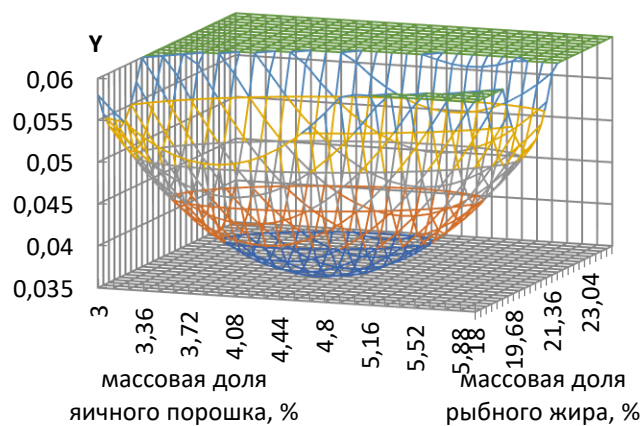
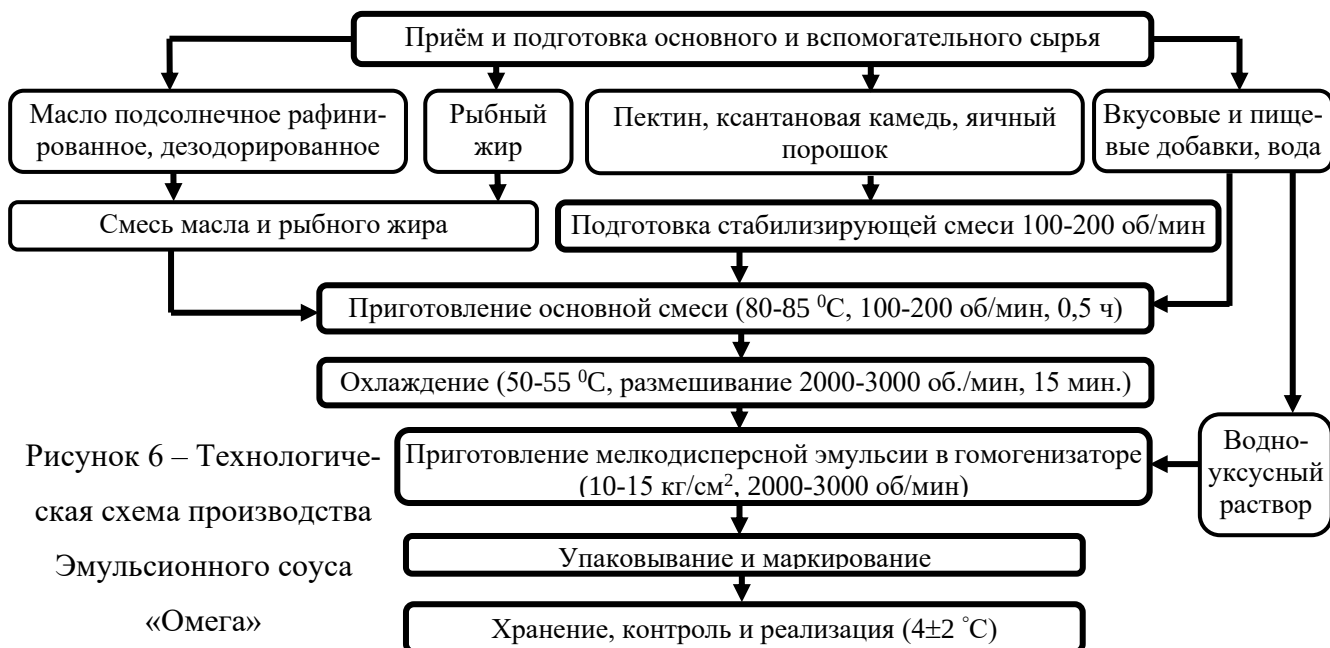


Рисунок 5 – Геометрическая интерпретация модели рецептуры эмульсионного соуса «Омега»

На основании полученных данных была разработана технологическая схема производства эмульсионного соуса «Омега», основными операциями которой являются прием и подготовка основного и вспомогательного сырья, подготовка стабилизирующей смеси, приготовление основной и мелкодисперсной смеси, упаковывание и маркирование готовой продукции (рис. 6).

Готовый эмульсионный соус имел однородную сметанообразную консистенцию, характеризовался свойственными майонезной продукции вкусом и ароматом, с легким рыбным запахом и оттенком копчености (при использовании жира копченой кильки). Содержание жира в

продукте составило $66,5 \pm 1,0$ %. Органолептические и физико-химические показатели качества соуса «Омега» установлены ТУ 10.84.12.140-037-00471544-2024 «Соус эмульсионный «Омега», технологический процесс регламентирован в соответствующей ТИ.



На основе данных о жирнокислотном составе жировой фракции соуса «Омега» были рассчитаны показатели его физиологической эффективности (табл. 10).

Таблица 10 – Показатели физиологической эффективности жировой фракции соуса «Омега»

Показатель	Содержание в жировой фракции эмульсионного соуса на основе подсолнечного масла			Физиологически обоснованное значение для взрослого человека (МР 2.3.1.0253-21)
	без обогащения	обогащенного жиром скумбрии	обогащенного жиром копченой кильки	
Σ НЖК, % от суммы ЖК	11,3	16,25	16,9	-
Σ МНЖК, % от суммы ЖК	26,0	23,5	29,6	-
Σ ПНЖК, % от суммы ЖК	62,7	60,0	53,4	-
НЖК:МНЖК:ПНЖК	1:2,4:5,5	1:2,5:3,7	1:1,8:3,1	1:1:1
Сумма омега-3, % от суммы ЖК	0,1	13,6	8,35	-
Сумма омега-6, % от суммы ЖК	62,6	46,5	45,5	-
омега-3 : омега-6	1:626	1:3,4	1:5,4	1:5-10
ЭПК + ДГК, % от суммы ЖК	0	5,4	7,5	0,25 г
АЛК, г / 100 г жира	0,1	3,5	0,1	1,0 г
БЭ	5,55	3,7	3,2	1

Обогащение жировой фракции эмульсионного соуса, получаемого на основе подсолнечного масла, рыбными жирами позволило дополнить состав продукта эссенциальными омега-3 жирными кислотами, в том числе, ЭПК и ДГК, что существенно улучшило соотношение омега-3 : омега-6 в соусе, приблизив его к рекомендуемому 1:5-10. 50 % суточной потребности чело-

века в ЭПК и ДГК удовлетворяется употреблением 7 г соуса, обогащенного жиром скумбрии, и 6 г соуса, обогащенного жиром копченой кильки. По содержанию этих эссенциальных жирных кислот соус «Омега» можно отнести к функциональному продукту и рекомендовать к употреблению для профилактики сердечно-сосудистых заболеваний.

При хранении в условиях различной температуры в образцах соусов не отмечено роста плесеней и дрожжей, а также накопления бактерий р. *Proteus*. Установлено увеличение КМАФАнМ на 60-е сутки хранения – до $5,0 \times 10^3$ КОЕ/г (табл. 11).

Таблица 11 – Динамика роста КМАФАнМ в образцах соусов

Образец	Температура хранения, °С	КМАФАнМ, КОЕ/г, на сутки хранения:					
		Фон	7	14	30	45	60
Соус «Омега»	4±2	$1,0 \times 10^3$	$1,0 \times 10^3$	$1,0 \times 10^3$	$3,0 \times 10^3$	$4,0 \times 10^3$	$5,0 \times 10^3$
	20±2	$1,0 \times 10^3$	$1,0 \times 10^3$	$3,0 \times 10^3$	$3,0 \times 10^3$	$4,0 \times 10^3$	$5,0 \times 10^3$

С учетом роста при хранении показателей окисления (ПЧ), а также ухудшения органолептических показателей образцов рекомендуемый срок годности соуса «Омега» при температуре 4±2 °С составил 45 суток, при температуре 20±2 °С – 30 суток.

В разделе «Получение биодизеля на основе рыбного жира технического назначения» отмечена актуальность развития в России биоэнергетики и изготовления экологически безопасных видов топлива (биодизеля), что нашло отражение в Национальном проекте «Технологическое обеспечение биоэкономики» (2025-2035 гг.).

На основе рыбного жира технического назначения обоснована технологическая схема производства биодизеля из рыбного жира (рис. 10), которая включает подготовку жира нейтрализацией, переэтерификацию в реакторе в присутствии серной кислоты и этанола при температуре 75-80 °С в течение 6-8 ч, удаление побочного продукта реакции – глицерина, промывку полученных этиловых эфиров жирных кислот горячей водой, отстаивание смеси с последующим фракционированием и удалением воды с получением готового продукта.



Рисунок 10 – Технологическая схема получения биодизеля из рыбного жира

Показатели качества полученного биодизеля (таблица 12) свидетельствуют о возможности его использования в составе биодизельного топлива с содержанием от 6 % об. до 20 % об. базового био-

дизельного топлива для дизельных двигателей разного типа. Полученный биодизель по таким характеристикам, как кинематическая вязкость, температура вспышки, плотность, массовая доля механических примесей, содержание воды, зольность, присутствие водорастворимых кислот и щелочей, испытание на медной пластинке соответствует ГОСТ 33131-2014 «Смеси биодизельного топлива (В6-В20)».

Таблица 12 – Показатели качества полученного образца биодизеля из жира скумбрии атлантической

Наименование показателя	Значение:	
	для полученного биодизеля	установленное ГОСТ
Кинематическая вязкость при 20 °С, мм ² /с	31,4±0,5	19-41
Температура вспышки, °С	свыше 190	не менее 52
Плотность при 20 °С, г/см ³	0,9108±0,001	не более 0,9634
Массовая доля механических примесей	отсутствие	отсутствие
Содержание воды, %	0,005±0,001	не более 0,05
Зольность, %	менее 0,002	не более 0,01
Водорастворимые кислоты и щелочи	отсутствие	отсутствие
Испытание на медной пластинке	1 класс	не менее 3 класса
Кислотность, мг КОН/100 см ³	0,08±0,01	не более 0,3

В четвертой главе «Промышленная апробация и оценка экономической эффективности технологии» приведены данные о внедрении и эффективности разработанных технологий. Получение эмульсионного соуса положительно апробировано в производственных условиях ООО «Восходящая звезда» (Калининградская область, п. Котельниково). Промышленные испытания биодизеля прошли успешно в ООО «Биотех» (г. Калининград). Эффективность биотехнологического способа получения жира из рыбных отходов и производства с его применением эмульсионного соуса «Омега» и биодизеля в форме этиловых эфиров подтверждена расчетами. При производстве 125 т соуса в год и 300 т биодизеля при рентабельности 10 % сроки окупаемости проекта составят соответственно 1,1 года и 4,7 года.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Научно обоснована ферментативная технология получения жира из наиболее массового вторичного рыбного сырья Калининградской области – отходов от разделки атлантической скумбрии и копченой балтийской кильки. Обосновано применение полученных жиров в зависимости от критериальных показателей безопасности для производства пищевого эмульсионного соуса функционального уровня качества и топливного биодизеля.

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Анализ научных и патентных источников показал, что перспективным способом получения рыбного жира является биотехнологический, основанный на применении протеолитических ферментных препаратов; актуальным направлением пищевого применения жира из вто-

ричного рыбного сырья является введение его в состав эмульсионных продуктов; в случае повышенной порчи жира рационально его направлять на производство биодизеля;

2. Обоснован выбор вторичного рыбного сырья – голов атлантической скумбрии и копченой балтийской кильки – в качестве эффективных источников жира, что обусловлено его высоким содержанием (9,5-20,3 и 15,8-28,0 % соответственно) и масштабностью отходов. Обоснованы критериальные показатели качества жиров, полученных биотехнологическим способом, обуславливающие их направление на пищевые или технические цели;

3. Получены математические модели, связывающие выход жира из вторичного рыбного сырья с дозировкой ферментного препарата и продолжительностью гидролиза, в зависимости от вида фермента. Для каждого вида сырья и ферментного препарата установлены оптимальные значения варьируемых факторов гидролиза, обуславливающие извлечение из данного сырья наибольшего количества жира при наименьшей степени его окисления;

4. Обосновано применение активированного угля для адсорбционной очистки экстрагированного жира из голов копченой кильки для эффективного снижения содержания полициклических ароматических углеводородов до безопасного пищевого уровня: бенз(а)пирена – на 86 %, бензо(б)флуорантена – на 60 %, бенз(а)антрацена – на 53,5 %, хризена – на 72 %;

5. Установлены показатели физиологической эффективности, качества и безопасности пищевых рыбных жиров, соответствующие требованиям МР 2.3.1.0253-21 и ТР ЕАЭС 040/2016: содержание полиненасыщенных жирных кислот в жире из голов скумбрии – 53,9 %, в том числе омега-3 ЖК – 44,9 %, в жире из голов копченой кильки – 31,9 %, в том числе омега-3 ЖК – 27,7 %. Рассчитанные коэффициенты биологической эффективности, жирнокислотной сбалансированности, атерогенности, тромбогенности, гипохолестеринемический показатель обуславливают их применение для профилактики сердечно-сосудистых заболеваний;

6. Получена математическая модель рецептуры эмульсионного соуса, обогащенного рыбным жиром, на основе которой установлены оптимальные дозировки жира и яичного порошка; разработана технология соуса «Омега», обеспечивающая получение продукта функционального уровня качества по содержанию ПНЖК, ЭПК и ДГК. Установлены показатели качества и безопасности соуса при хранении, рекомендуемый срок годности 45 суток при температуре 4 ± 2 °С;

7. Методом переэтерификации рыбного жира технического назначения с этиловым спиртом при обоснованных условиях получен опытный образец биодизеля, установлены его показатели качества, соответствующие ГОСТ 33131-2014, которые подтверждают возможность его использования в составе смеси биодизельного топлива.

8. Разработана и утверждена техническая документация: ТУ 10.20.42-035-00471544 «Субпродукты рыбы жиросодержащие мороженые», ТУ и ТИ 10.41.12.110-036-00471544-2024 «Жир рыбный пищевого и технического назначения», ТУ и ТИ 10.84.12.140-037-00471544-2024

«Соус эмульсионный «Омега»; ТУ и ТИ 20.59.59-001-00471544-2024 «Биодизель (этиловые эфиры жирных кислот) из рыбного жира».

9. Технологии получения эмульсионного соуса и биодизеля апробированы в производственных условиях ООО «Восходящая звезда» и ООО «Биотех». Оценка экономической эффективности разработок свидетельствует о рациональности их внедрения.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах

Статьи, опубликованные в журналах, рекомендуемых ВАК Минобрнауки:

1. **Дамбарович Л. В.**, Агафонова С. В. Ферментативная экстракция жира из вторичного сырья атлантической скумбрии и его использование в функциональном питании // Вестник Международной академии холода. – 2022. – № 2. – С. 48-55. DOI: 10.17586/1606-4313-2022-21-2-48-55.

2. Мезенова О. Я., Агафонова С. В., Романенко Н. Ю., Калинина Н. С., Волков В. В., **Дамбарович Л. В.** Потенциал и перспективы использования жира из копченых рыбных отходов // Известия КГТУ. – 2023. – № 70. – С. 103-114. DOI 10.46845/1997-3071-2023-70-103-114.

3. Агафонова С. В., Мезенова О. Я., **Дамбарович Л. В.** Оценка безопасности и биологической ценности очищенного жира из вторичного шпротного сырья // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2023. – № 4(393). – С. 123-128. DOI: 10.26297/0579-3009.2023.4.21.

4. Мезенова О. Я., Агафонова С. В., Романенко Н. Ю., Жила Н. О., Калинина Н. С., Волков В. В., **Дамбарович Л. В.** Исследование процесса ферментативного выделения жира из вторичного рыбного сырья для использования в качестве биотехнологического субстрата // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. – 2024. – Т. 12, № 4. – С. 62-73. DOI: 10.14529/food240407.

5. Мезенова О. Я., Агафонова С. В., Романенко Н. Ю., Калинина Н. С., Волков В. В., Киселев Е. Г., Жила Н. О., **Дамбарович Л. В.** Оценка потенциала липидов вторичного рыбного сырья в качестве биотехнологического субстрата для синтеза целевых продуктов // Известия КГТУ. – 2024. – № 74. – С. 78-91. DOI: 10.46845/1997-3071-2024-74-78-91.

6. Мезенова О. Я., Агафонова С. В., Романенко Н. Ю., Калинина Н. С., Волков В. В., **Дамбарович Л. В.**, Федоров Д. С., Федорова О. С., Ячников Д. В. Исследования по оптимизации ферментативного процесса выделения жира из вторичного рыбного сырья для использования в биотехнологии // Вестник Международной академии холода. – 2024. – № 3. – С. 43-55. DOI: 10.17586/1606-4313-2024-23-3-43-55.

Патент:

7. Патент № 2809512 Российская Федерация, МПК A23L 17/00, A23D 9/00. Способ получения рыбного жира из вторичного копченого рыбного сырья: № 2023108915: заявл. 07.04.2023; опубл. 12.12.2023 / С. В. Агафонова, О. Я. Мезенова, **Л. В. Дамбарович**; заявитель ФГБОУ ВО «КГТУ». – 13 с.

Научные статьи в других журналах и материалах конференций

8. **Дамбарович Л. В.**, Агафонова С. В. Соус на основе подсолнечного масла, обогащенный полиненасыщенными жирными кислотами рыбного сырья // Балтийский морской форум: Материалы VI Международного «Балтийского морского форума», в 6 томах, Калининград, 03–06 сентября 2018 г. Том 4. – Калининград: Калининградский государственный технический университет, 2018. – С. 3-6.

9. **Дамбарович Л. В.** Вторичное рыбное сырье как источник ПНЖК ряда омега-3 // Дни науки: Материалы межвузовской научно-технической конференции студентов и курсантов на базе ФГБОУ ВО «КГТУ» Калининград, 02–15 апреля 2018 г. – Калининград: Калининградский государственный технический университет, 2018. – С. 65-68.

10. **Дамбарович Л. В.,** Агафонова С. В. Соус на основе подсолнечного масла, обогащенный полиненасыщенными жирными кислотами рыбного сырья // Пищевые технологии и биотехнологии: материалы XVI Всероссийской конференции молодых ученых, аспирантов и студентов с международным участием, посвященной 150-летию Периодической таблицы химических элементов: в 3 частях, Казань, 16–19 апреля 2019 г. Том 2. – Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2019. – С. 268-271.

11. **Дамбарович Л. В.,** Агафонова С. В. Жир из вторичного сырья скумбрии в технологии обогащенных эмульсионных продуктов // Балтийский морской форум: материалы VIII Международного «Балтийского морского форума»: в 6 т., Калининград, 05–10 октября 2020 г. Том 4. – Калининград: Калининградский государственный технический университет, 2020. – С. 24-29.

12. Агафонова С. В., Мезенова О. Я., **Дамбарович Л. В.** О возможности использования жира из вторичного сырья атлантической скумбрии *Scomber scombrus* в качестве источника незаменимых жирных кислот в питании человека // Пищевые технологии: исследования, инновации, маркетинг: сборник трудов по материалам I Международной научно-практической конференции, посвященной Году науки и технологий, Керчь, 23–25 сентября 2021 г. – Керчь: Керченский государственный морской технологический университет, 2021. – С. 16-21.

13. **Дамбарович Л. В.** Жир из вторичного рыбного сырья в аспекте получения биотоплива // Балтийский морской форум: Материалы XI Международного «Балтийского морского форума». В 8-ми томах, Калининград, 25–30 сентября 2023 г. – Калининград: Калининградский государственный технический университет, 2023. – С. 38-42.

14. Агафонова С. В., Мезенова О. Я., **Дамбарович Л. В.** Рыбный жир из вторичного сырья копильных производств – направление использования в пищу // Материалы пула научно-практических конференций, Сочи, 23–27 января 2023 г. / Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского; Керченский государственный морской технологический университет; Луганский государственный педагогический университет; Луганский государственный университет имени Владимира Даля. – Керчь: Керченский государственный морской технологический университет, 2023. – С. 199-203.

15. Мезенова О. Я., Агафонова С. В., Романенко Н. Ю., Волков В. В., Калинина Н. С., Киселев Е. Г., Жила Н. О., **Дамбарович Л. В.** Исследование показателей качества жира из вторичного рыбного сырья для его использования в биотехнологическом процессе получения биоразлагаемых полимеров // Пищевая индустрия: инновационные процессы, продукты и технологии: Сборник материалов Международной научно-практической конференции, посвящённой 20-летию Технологического института, Москва, 16 мая 2024 г. – Москва: ООО «Сам Полиграфист», 2024. – С. 767-772.

16. Мезенова О. Я., Агафонова С. В., Романенко Н. Ю., Калинина Н. С., Волков В. В., **Дамбарович Л. В.,** Жила Н. О., Киселев Е. Г. Оценка перспективности использования липидов, ферментативно экстрагированных из рыбных отходов, в синтезе продуктов биотехнологии // Материалы XII Международного «Балтийского морского форума». В 6-ти томах, Калининград, 30 сентября – 4 октября 2024 г. – Калининградский государственный технический университет, 2024. – С. 130-134.