

УДК 665.931.72

Получение коллагенсодержащей ихтиосубстанции из вторичных рыбных ресурсов

¹ Астраханский государственный технический университет, г. Астрахань, Российская Федерация

² Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (Первый казачий университет), г. Москва, Российская Федерация

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Олдырев Данил Вячеславович
E-mail: daniloldyrev@gmail.com

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования доступны по запросу у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Олдырев, Д.В., Сергазиева, О.Д., Ярцева, Н.В., & Бахарева, А.А. (2023). Получение коллагенсодержащей ихтиосубстанции из вторичных рыбных ресурсов. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (3), 181-197. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.451>

ПОСТУПИЛА: 13.06.2023

ПРИНЯТА: 15.09.2023

ОПУБЛИКОВАНА: 30.09.2023

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.



Д. В. Олдырев¹, О. Д. Сергазиева², Н. В. Ярцева¹, А. А. Бахарева²

АННОТАЦИЯ

Введение: Промышленная переработка рыб сопровождается увеличением количества вторичных ресурсов и отходов (общее количество отходов может достигать 60 % от общей массы рыбы), что предполагает их переработку в коллагенсодержащие продукты.

Цель: Изучение возможности выделения коллагенсодержащей ихтиосубстанции из отходов рыбных ресурсов Астраханской области и изучение его качественных характеристик.

Материалы и методы: В качестве объектов исследования были выбраны отходы от разделки частиковых видов рыб и коллагенсодержащая ихтиосубстанция, полученная по разработанной технологии. При проведении экспериментов использовались общепринятые стандартные, а также модифицированные современные методы органолептических, физико-химических, микробиологических исследований.

Результаты: На основании массового состава частикового сырья при разделке на филе обосновано использование в качестве сырья чешуи с кожей. Приведена технологическая схема получения коллагенсодержащей ихтиосубстанции. Способ выделения — измельчение образцов, варка при 65–80 °С с принудительным перемешиванием (18–20 об/мин), последующее фильтрование и центрифугирование. Согласно полученным данным кислотность составляет в среднем 4,5, содержание сухих веществ составило 13 % и золы — 3,6 %, что позволит получить высокие показатели динамической вязкости и направить выделенный продукт на дальнейшие испытания для определения области применения.

Выводы: Результаты исследования продемонстрировали возможным получение коллагенсодержащей ихтиосубстанции из кожи с чешуей щуки (*Esox lucius*) и судака (*Lucioperca lucioperca*). Полученный продукт обладает широким спектром свойств, подходящих для различных сфер деятельности. Разработанная технология дает выход продукта до 70 % от массы сырья и обеспечивает высокую стойкость к микроорганизмам при длительном хранении. Совокупность физико-химических свойств дают основу для дальнейшего изучения с целью определения сферы применения. Материалы, получение которых представляется возможным с использованием ихтиосубстанции, являются экологически чистыми и биоразлагаемыми, поскольку в составе не использовались синтетические вещества.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

кожа рыб, чешуя, судак, щука, отходы разделки, гидролизат коллагена, комплексная переработка

Producing Collagen-Containing Ichthyosubstance From Secondary Fishery Resources

¹ Astrakhan State Technical University,
Astrakhan, Russian Federation

² K.G. Razumovsky Moscow State
University of Technologies and
Management (First Cossack University),
Moscow, Russian Federation

CORRESPONDENCE:

Danil V. Oldyrev

Address: 16 Tatishcheva St., Astrakhan,
414056, Russian Federation
E-mail: daniloldyrev@gmail.com

FOR CITATIONS:

Oldyrev, D.V., Sergazieva, O.D.,
Yartseva, N.V., & Bakhareva, A.A.
(2023). Producing collagen-containing
ichthyosubstance from secondary fishery
resources. *Storage and Processing of Farm
Products*, (3), 181-197.
<https://doi.org/10.36107/spfp.2023.451>

RECEIVED: 13.06.2023

ACCEPTED: 15.09.2023

PUBLISHED: 30.09.2023

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



Danil V. Oldyrev¹, Olga D. Sergazieva², Natalya V. Yartseva¹,
Anna A. Bakhareva²

ABSTRACT

Introduction: Industrial processing of fish is accompanied by an increase in the amount of secondary resources and waste, and the total amount of waste can reach 60 % of the total fish weight, which implies their processing into collagen-containing products.

Purpose: To study the possibility of extracting collagen-containing ichthyosubstance from the fish wastes of the Astrakhan Region and study its qualitative characteristics.

Materials and Methods: The following wastes from the separation of pelagic fish species have been chosen as the objects of studies. Collagen-containing ichthyosubstance obtained according to an improved technology was also used as an object of research. At carrying out of experiments generally accepted standard, and also modified modern methods of organoleptic, physico-chemical, microbiological researches have been used.

Results: The use of scales with skin as raw material for filleting has been substantiated on the basis of the mass composition of the partial raw material. The technological scheme of obtaining collagen-containing ichthyosubstance is given. The method of extraction - grinding samples, cooking at 65–80 °C with forced mixing (18–20 rpm), followed by filtration and centrifugation. According to the data obtained the acidity is on the average 4.5, the dry matter content is 13 % and ash content – 3.6 %, which will allow to obtain high indices of dynamic viscosity and to send the separated product for further testing to determine the application field.

Conclusion: The results of the study demonstrated that it is possible to obtain collagen-containing ichthyosubstance from the skin of pike (*Esox lucius*) and pikeperch (*Lucioperca lucioperca*) scales. The resulting product has a wide range of properties suitable for various applications. The optimized technology gives a product yield of up to 70 % of the weight of raw materials and provides high resistance to microorganisms during long-term storage. The combination of physico-chemical properties provides a basis for further studies in order to determine the scope of application. The materials that can be obtained using ichthyosubstance are environmentally friendly and biodegradable, since no synthetic substances have been used in their composition.

KEYWORDS

fish skin, scales, pike, pikeperch, cutting waste, collagen hydrolyzate, complex processing

ВВЕДЕНИЕ

Около 40 % общего веса вылова рыбы в Мировом океане составляют побочные продукты, состоящие из кожи, плавников, костей, чешуи, внутренностей и т. д. Использование этих побочных продуктов важно для повышения их коммерческой ценности, а также для предотвращения загрязнения окружающей среды. Все национальные экономики заинтересованы в разрешении проблемы по повышению ценности отходов рыбных ресурсов для интенсификации и устойчивого развития экономики замкнутого цикла (Cooney et al., 2023; Thirukumaran et al., 2022; Siddiqui et al., 2023; Välimaa et al., 2019; Ruiz-Salmón et al., 2021;).

Разработки способов переработки рыбных отходов сегодня связаны с синтезированием биодизеля, например, с помощью наноманитного катализатора (Smaisim et al., 2022). Также рассматривается производство биогаза при помощи анаэробного сбраживания рыбных отходов (Ivanovs et al., 2018). Однако настоящую популярность вторичные рыбные ресурсы за рубежом получили как источник получения желатина (Lv et al., 2019). На основе желатина из рыбной кожи и вспомогательных материалов, учеными была получена упаковочная пленка. Пленка обладает высокой антиоксидантной и антимикробной активностью и позволяет продемонстрировать потенциал преобразования отходов в активные упаковочные пленки, которые можно использовать в пищевой и других смежных областях (Getachew et al., 2021).

Полимеры на нефтяной основе (такие как полиэтилен, полипропилен, поливинилхлорид, полистирол и т. д.) как неразлагаемые отходы вызывают большую обеспокоенность ученых из Китая в отношении сохранения безопасности окружающей среды. Для решения проблемы была разработана экологически чистая пищевая пленка, позволяющая сохранить свежесть фруктов путем объединения желатина, полученного из отходов рыбной чешуи, хитозана, а также наночастиц карбоната кальция. Готовая нанокompозитная пленка продемонстрировала многофункциональные свойства: УФ-поглощение, антимикробное действие, экранирование кислорода, отличные механические свойства и нетоксичность,

а также нанокompозитная пленка на белково-полисахаридной основе гидрофильна и легко смывается с фруктов перед едой (Fu et al., 2021).

Становится глобальной тенденцией предоставлять халяльные продукты питания и другие промышленные материалы для мусульманских общин. В качестве способа обработки рыбных побочных продуктов для соответствия критериям халяля приготовление коллагена и желатина было бы полезно для удовлетворения рыночного спроса. В результате исследований побочных продуктов рыболовства было установлено, что рыбная кожа является хорошим источником халяльного коллагена и желатина, которые демонстрируют удовлетворительное качество по сравнению с продуктами из бычьих источников, которые могут вызывать губчатую энцефалопатию крупного рогатого скота (ГЭКРС) (Nurilmala et al., 2021).

Рыбный желатин содержит большое количество аминокислот, что позволяет применять его для пищевых целей в качестве диетических продуктов. Таким образом, диетическое использование рыбьего желатина потенциально может иметь отличные преимущества для людей с хроническими заболеваниями, такими как гипертония, остеопороз и диабет (Derkach, et al., 2020; Lv et al., 2019).

Учеными из Китая был получен полиэфир, модифицированный коллагеном, из отходов рыбной чешуи. В результате произведенное полиэфирное волокно, модифицированное коллагеном, сохраняет характеристики традиционных полиэтилен-рефталатных волокон, включая прочность, долговечность и устойчивость к сминанию и усадке и его можно в качестве материала для пошива спецодежды (Hou et al., 2022).

В России также ведутся научные разработки по комплексной переработке рыбных ресурсов. Развитие агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года¹ предусматривает использование ресурсосберегающих технологий и увеличение доли продукции с высокой добавленной стоимостью. Одним из перспективных направлений является технология глубокой переработки сельскохозяй-

¹ Распоряжение РФ 2567-р. (2022). *Стратегия развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года*. <https://docs.cntd.ru/document/351735594>

ственного и рыбного сырья. С развитием пищевой промышленности увеличивается образование пищевых и непищевых отходов. Утилизация сжиганием и захоронением таких отходов не может решить глобальную проблему управления отходами. Одним из вариантов решения данной проблемы являются новые научно-технические разработки по превращения биоотходов в биоразлагаемую продукцию с добавленной стоимостью.

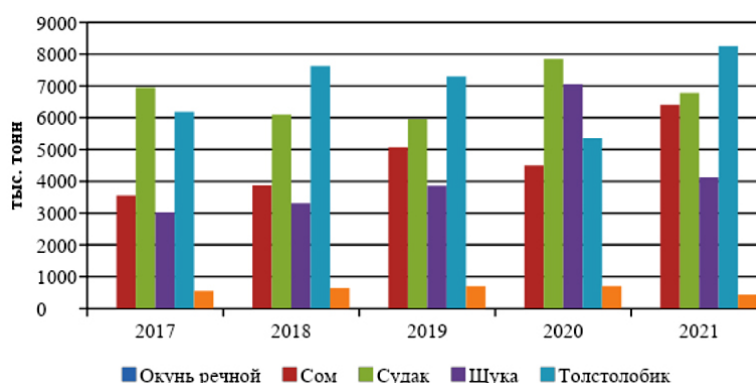
В соответствии с данными статистической отчетности общий объем добычи (вылова) водных биологических ресурсов в 2021 году российскими пользователями во всех районах Мирового океана составил 5053,4 тыс. тонн, что на 78,6 тыс. тонн, или на 1,6 %, выше уровня 2020 года². По данным отраслевой системы мониторинга, размещенных Федеральным агентством по рыболовству, к 10 января 2023 года на территории РФ было выловлено 79,2 тысяч тонн рыбных ресурсов, что на 16,5% больше уровня предыдущего года. Общий вылов (добыча) водных биоресурсов в Волго-Каспийском бассейне составляет 93,9 тыс. тонн³. Данные, размещенные в ежегоднике «Статистические сведения по рыбной промышленности России», по улову РФ некоторых частиковых видов рыб в Каспийском бассейне (включая дельту р. Волга и Волго-Ахтубинскую пойму) за период 2017–2021 г., показывают, что рыбная отрасль продолжает стабильно развиваться (Рисунок 1).

В Астраханском регионе функционирует около 260 предприятий различных форм собственности, осуществляющих деятельность по переработке рыбного сырья и производству рыбной продукции. Объем производства переработанной и консервированной рыбы в регионе в 2021 году составил около 44,3 тыс. тонн. Стоит отметить, что некоторые рыболовные хозяйства расширяют видовое разнообразие объектов за счёт выращивания хищных и растительноядных видов рыб (судак, щука, толстолобик, карась и т.д.)⁴.

Увеличение улова ведет к производству большого объема рыбной продукции, которая, в свою очередь, приводит к образованию большого количества отходов. В настоящее время вторичные рыбные ресурсы используются для создания кормовой муки, рыбного жира, клея, пата жемчужного, витаминных и ферментативных препаратов. Особый интерес вызывает выделение рыбного коллагена из отходов рыбоперерабатывающей промышленности и его использование в пищевых, медицинских, косметологических целях, а также для производства упаковочного материала (Байдалинова с соавт., 2018; Siddiqui et al., 2023; Rajabimashhadi et al., 2023). Отличительные особенности разработок в этой области представлены в Таблице 1.

Рисунок 1

Уловы РФ некоторых частиковых видов рыб в Каспийском бассейне (включая дельту р. Волга и Волго-Ахтубинскую пойму) за период 2017–2021 г.



² Статистические сведения по рыбной промышленности России 2020, 2021 гг. <http://vnro.ru/ru/nauchnaya-deyatelnost/statisticheskie-svedeniya/statisticheskie-svedeniya-po-rybnoj-promyshlennosti-rossii-2020-2021-gg>

³ Рыбаки начали 2023 год ударными темпами по вылову практически во всех рыбохозяйственных бассейнах. <https://fish.gov.ru/news/2023/01/11/rybaki-nachali-2023-god-udarnymi-tempami-po-vylovu-prakticheski-vo-vseh-rybohozyajstvennyh-bassejnah/>

⁴ Состояние и развитие конкурентной среды на рынках товаров, работ и услуг Астраханской области по итогам 2021 года. Инвестиционный потенциал Астраханской области. <https://clck.ru/34LpCB>

Таблица 1

Сравнительная характеристика способов получения структообразователя из вторичных рыбных ресурсов

Технологическая операция							
Прием сырья	Промывка	Измельчение	Обработка сырья	Варка	Фильтрация и очистка	Дополнительные операции	Источник
Кожа рыб части-ковых видов	Операция отсутствует	Измельчение сырья на частицы размером 3,5 мм	Обработка 3 %-ным раствором уксусной кислоты при периодическом помешивании	Операция отсутствует	Сырье отфильтровывают через два слоя капроновой ткани	Операция отсутствует	(Семеньева с соавт., 2015) ⁵
Рыбная чешуя части-ковых видов	Чешую промывают 5 % раствором хлорида натрия при температуре 10–20 °С. С последующей промывкой водопроводной водой	Операция отсутствует	Мацерация и деминерализация сырья раствором кислоты при pH 2–3 в течение 20–36 ч при температуре 20–27 °С с последующей нейтрализацией гидроксидом натрия до pH 5–7	Варка в течение 1–3 часов при температуре 65–75 °С и интенсивном перемешивании	Очистка экстракта при температуре 50–60 °С гидроксидом кальция при pH 9–10 и муравьиной кислотой концентрацией 85 % при pH 3–4.	Нейтрализация гидроксидом натрия до pH 5–7 и с последующим доведением до концентрации сухих веществ 3–30 %	(Долганова с соавт., 2015) ⁶
Кожа рыб части-ковых видов	Кожу промывают в проточной водопроводной воде в течение 20–30 мин	Измельчение сырья на частицы размером 30–50 мм	Сырье оставляют набухать в течение 25–35 мин в растворе янтарной кислоты	Варка в течение 35–45 минут, при температуре не ниже 90 °С в центре содержимого котла и не выше 95 °С – у его стенок	Разделение фракций центрифугированием с последующей декантацией	Твердую фракцию вторично подвергают измельчению и в определенной пропорции смешивают с бульоном	(Гриценко с соавт., 2018) ⁷
Рыбная чешуя части-ковых видов	Промывка, нейтрализация и ополаскивание чешуи в растворе соляной кислоты	Операция отсутствует	Озоление проводят раствором Ca(OH) ₂ в течение 2 часов; обеззоливание проводят раствором соляной или серной или азотной кислоты в течение 3–10 минут	Варку бульона осуществляют последовательно при температуре 55 °С и 65 °С в течение 2–3 часов	Фильтрация бульона на центрифуге	Упаривание бульона и высушивание	(Долганова с соавт., 1996) ⁸

Обзор существующих технологий, представленный в Таблице 1 свидетельствует, что современные способы получения коллагена из водных биоресурсов можно разделить на два вида — химический и фер-

ментативный. При использовании химического способа экстракция коллагена из сырья происходит после кислотной (мацерация) или щелочной (золение) обработки сырья, а ферментативный

⁵ Семеньева, Л. Л., Астанина, М. В., Кузнецова, Ю. Л., Валетова, Н. Б., Гераськина, Е. В., & Таранкова, О. А. (2014). Патент РФ 2567171. *Способ получения уксусной дисперсии высокомолекулярного рыбного коллагена*. М.: качества жизни.

⁶ Долганова, Н. В., Якубова, О. С., & Иванова, Е. А. (2015). Патент РФ 2568127. *Способ получения рыбного клея*. Астрахань: Астраханский государственный технический университет.

⁷ Гриценко, Е. Г., Долганова, Н. В., & Каткова, А. С. (2018). Патент РФ 2654871. *Способ производства натурального структообразователя из кожи рыб*. Астрахань: Астраханский государственный технический университет.

⁸ Долганова, Н. В., Кубасов, Г. С., Завлин, П. М., Школа, А. В., Михайлов, И. В., & Пименов, Ю. Т. (1991). Патент РФ 2063411. *Способ получения гамма-фракции желатина*. М.: Агропромиздат.

способ, соответственно, заключается в экстракции коллагена с помощью ферментативных препаратов (Rocha-Pimienta et al., 2023; Sousa et al., 2017; Derkach et al., 2020; Shiao et al., 2022).

Недостатками вышеперечисленных патентов, указанных в Таблице 1, являются: использование большого количества химических реагентов, длительность и многостадийность процесса получения, что влечет за собой увеличение конечной стоимости продукта; ограничение по использованию сырья (только кожа, только чешуя, плавательный пузырь и т.д.), а также использование высоких температур при варке и мацерации, которые могут негативно сказаться на качестве получаемого сырья, что влечет за собой увеличение затрат при получении конечного продукта.

Учеными Астраханского государственного технического университета ведутся исследования по созданию технологии переработки маломерных рыб и рыб пониженной ценности, вторичного рыбного сырья для пищевой промышленности, а также разработка технологий создания и производства биоразлагаемых упаковочных материалов на основе вторичных рыбных ресурсов (Иванова с соавт., 2013; Као с соавт., 2011; Покусаева с соавт., 2015; Якубова с соавт., 2004). Целью данного исследования является изучение возможности выделения коллагенсодержащей ихтиосубстанции из отходов рыбных ресурсов Астраханской области и изучение его качественных характеристик.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Место проведения, объекты и инструменты исследования

Экспериментальные исследования проводили в учебно-исследовательских лабораториях кафедры «Технология товаров и товароведение» ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет» (г. Астрахань).

В качестве объектов исследования были выбраны: отходы от разделки частиковых видов рыб — кожа с чешуей, полученные от ручной разделки щуки (*Esox lucius*), судака (*Lucioperca lucioperca*) осеннего вылова. Рыбная кожа с чешуей приобреталась в ООО ТД «Михайловский» города Астрахань, в количестве 15 кг. Ручная разделка осуществлялась в соответствии с рекомендациями Сборника технологических инструкций по обработке рыбы⁹.

Вторичные рыбные ресурсы принимали в соответствии с ГОСТ 31339–2006¹⁰. Отходы консервировали методом высушивания в течение 1,5 часов при температуре 100 °С в сушильном шкафу «ЭКРОС ПЭ-4610» (ГК «ЭКРОС», Россия), с принудительной конвекцией. Кожу с чешуей измельчали на мельнице (ЛМТ-1, Плаун, Россия) с диаметром ячейки 3 мм и направляли на исследования.

В качестве контрольных объектов для сравнения использовали: гамму-фракцию желатина произведенную по патенту Н.В. Долгановой, Г.С. Кубасова, П.М. Завлина, А.В. Школы, И.В. Михайлова, Ю.Т. Пименова (RU 2063411C1 «Способ получения гамма-фракции желатина»¹¹) и рыбный клей, произведенный по патенту Н.В. Долгановой, О.С. Якубовой и Е.А. Ивановой (RU 2568127C1 «Способ получения рыбного клея»¹²) так как они близкие по применяемому сырью для изготовления и области применения. Также объектами исследований являлась: коллагенсодержащая ихтиосубстанция из отходов от разделки частиковых видов рыб, полученная по усовершенствованной технологии. Определение «коллагенсодержащая ихтиосубстанция» было выбрано, исходя из того, что полученный продукт полностью не изучен, однако содержит в своем составе коллаген. Ихтиосубстанция означает, что данное вещество получено из вторичных рыбных ресурсов.

В качестве основного реактива использовалась уксусная кислота по ГОСТ 18270–72¹³ (АО «ВЕКТОН», Россия).

⁹ Сборник технологических инструкций по обработке рыбы. <https://clck.ru/344pYD>

¹⁰ ГОСТ 31339–2006. (2010). Рыба, нерыбные объекты и продукция из них. Правила приемки и методы отбора проб. М.: Стандартинформ.

¹¹ Долганова, Н. В., Кубасов, Г. С., Завлин, П. М., Школа, А. В., Михайлов, И. В., & Пименов, Ю. Т. (1991). Патент РФ 2063411. Способ получения гамма-фракции желатина. М.: Агропромиздат.

¹² Грициенко, Е. Г., Долганова, Н. В., & Каткова, А. С. (2018). Патент РФ 2654871. Способ производства натурального структурообразователя из кожи рыб. Астрахань: Астраханский государственный технический университет.

¹³ ГОСТ 18270–72 (1988). Кислота уксусная особой чистоты. Технические условия. М.: Издательство стандартов.

Оборудование и методы исследования

Для подготовки лабораторной посуды использовался сухожаровая печь «SANYO MOV112F» (SANYO Electric Co, Япония).

Органолептические показатели, включающие в себя внешний вид и цвет определяли путем осмотра. Цвет объектов исследования проверяли при естественном дневном освещении, помещая объект на бесцветное прозрачное стекло, под которое подкладывают лист белой бумаги. При проведении органолептического анализа с целью определения запаха фиксированную массу образца помещали в коническую колбу с притертой пробкой, нагревали на водяной бане «ЭКРОС ПЭ-4310» (ГК «ЭКРОС», Россия) до температуры 60 °С, затем, открыв пробку, определяли запах.

Активную кислотность определяли потенциометрическим методом на приборе «рН-150МИ» (ООО «Измерительная техника», Россия). Измерения проводили при температуре 20 °С.

Динамическую вязкость проверяли на растворах объектов исследования при фиксированной температуре с помощью ротационного вискозиметра «Fungilab ALPHA L» (Fungilab, Испания) в собственной модификации. При измерении динамической вязкости на ротационном вискозиметре «Fungilab ALPHA L» образцы помещали в подготовленную лабораторную посуду, опускали в центр стакана шпindel вискозиметра типа «L1» (Fungilab, Испания), запускали аппарат согласно руководству по эксплуатации и фиксировали полученные значения, выводимые на дисплее. Шпindel типа «L1» был выбран исходя из того, что момент кручения при его использовании был не ниже 50 % и соответственно лежал в диапазоне 15–95 %, что указано в руководстве по эксплуатации.

Определение сухих веществ проводили гравиметрическим методом. Для этого предварительно взвешенные навески помещали в предварительно высушенные бюксы и высушивали в сушильном шкафу «ЭКРОС ПЭ-4610» (ГК «ЭКРОС», Россия) сначала при температуре до 80 °С с последующим подъемом до 105±5 °С до постоянной массы.

Определение массовой доли белка проводили стандартным способом в модификации Кьельдаля путем отгона и титрования с использованием установок «Turbotherm» (C. Gerhardt GmbH & Co. KG, Германия) и «Vapodest-30» (C. Gerhardt GmbH & Co. KG, Германия).

Золу определяли стандартным гравиметрическим способом путем полного сжигания органических веществ, удалении продуктов их сгорания и определении оставшейся минеральной составной части. Навеску исследуемого материала помещали в предварительно прокаленный до постоянной массы фарфоровый тигель с крышками и озоляли в муфельной печи «LOIP LF — 5/11» (ООО «Завод лабораторной продукции «Фрейм», Россия).

При проведении экспериментов использовались общепринятые стандартные, а также модифицированные современные методы органолептических, физико-химических, микробиологических исследований.

Отбор проб сырья и органолептический анализ проводили методами, изложенными в ГОСТ 7631–85¹⁴, определения физико-химических показателей по ГОСТ 7636–85¹⁵ и ГОСТ 11293–2017¹⁶. Активную кислотность — согласно ГОСТ 25183.9–82¹⁷.

Отбор проб для микробиологических исследований проводили по ГОСТ 31904–2015¹⁸. Определение микробиологической безопасности проводилось в соответствии с ТР ТС 021/2011¹⁹ по КМАФАнМ (ГОСТ

¹⁴ ГОСТ 7631–85. (2009). *Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Правила приемки, органолептические методы оценки качества, методы отбора проб для лабораторных испытаний*. М.: Стандартинформ.

¹⁵ ГОСТ 7636–85. (2010). *Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа*. М.: Стандартинформ.

¹⁶ ГОСТ 11293–2017. (2020). *Желатин. Технические условия*. М.: Стандартинформ.

¹⁷ ГОСТ 25183.9–82. (2010). *Желатин фотографический. Метод определения концентрации водородных ионов*. М.: Стандартинформ.

¹⁸ ГОСТ 31904–2012. (2014). *Продукты пищевые. Методы отбора проб для микробиологических испытаний*. М.: Стандартинформ.

¹⁹ ТР ТС 021/2011. (2011). *О безопасности пищевой продукции*. М.: Таможенный союз.

10444.15–94²⁰), количеству условно-патогенных, патогенных микроорганизмов и микроорганизмов порчи: БГКП (ГОСТ 31747–2012²¹), *Escherichia coli* (ГОСТ 30726–2001²²), *Staphylococcus aureus* (ГОСТ 31746–2012²³), дрожжи и плесневые грибы (ГОСТ 10444.12–2013²⁴), *Listeria monocytogenes* (ГОСТ 32031–2022²⁵), *Salmonella* (ГОСТ 31659–2012²⁶).

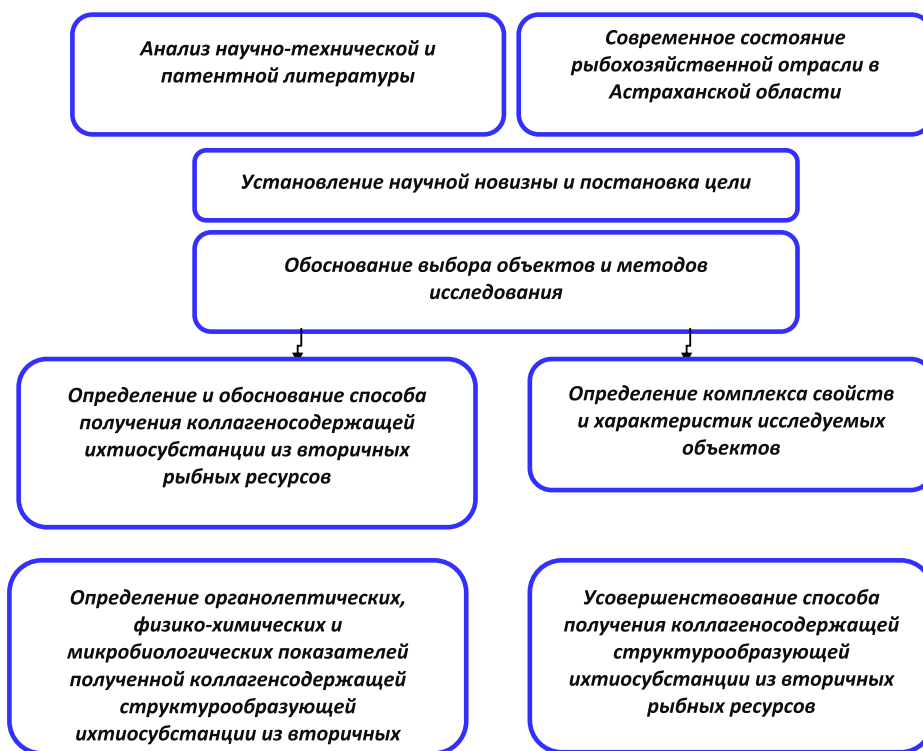
Определение коллагена проводилось в соответствии с ГОСТ 23041–2015²⁷, с последующим перерасчетом данных (Сухих с соавт., 2021).

Процедура исследования

Процесс исследования, постановки эксперимента по получению коллагеносодержащей ихтиосубстанции из вторичных рыбных ресурсов представлен на Рисунке 2.

Рисунок 2

Схема постановки эксперимента



²⁰ ГОСТ 10444.15–94. (2010). *Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов*. М.: Стандартинформ.

²¹ ГОСТ 31747–2012. (2013). *Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества бактерий группы кишечных палочек (колиформных бактерий)*. М.: Стандартинформ.

²² ГОСТ 30726–2001. (2010). *Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества бактерий вида *Escherichia coli**. М.: Стандартинформ.

²³ ГОСТ 31746–2012. (2013). *Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества коагулазоположительных стафилококков и *Staphylococcus aureus**. М.: Стандартинформ.

²⁴ ГОСТ 10444.12–2013. (2014). *Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Методы выявления и подсчета количества дрожжей и плесневых грибов*. М.: Стандартинформ.

²⁵ ГОСТ 32031–2022. (2022). *Продукты пищевые. Методы выявления бактерий *Listeria Monocytogenes**. М.: Стандартинформ.

²⁶ ГОСТ 31746–2012. (2013). *Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества коагулазоположительных стафилококков и *Staphylococcus aureus**. М.: Стандартинформ.

²⁷ ГОСТ 23041–2015. (2019). *Мясо и мясные продукты. Методы определения оксипролина*. М.: Стандартинформ.

Анализ данных

Метрологические характеристики методов при доверительной вероятности $P = 0,95$; Предел повторяемости $r = 0,5\%$; предел воспроизводимости $R = 1\%$; границы абсолютной погрешности $\Delta \pm 10\%$. Для статистической обработки данных использовалось программное обеспечение Statistical Analyzer и STATISTICA. Результаты представлены в виде средних значений пятикратных повторов с расчетом стандартного отклонения. Статистическую обработку результатов осуществляли на основе подсчета средних значений величин и стандартной средней ошибки. Достоверность данных достигалась планированием количества экспериментов, необходимых и достаточных для достижения на-

дежности $P = 0,85-0,95$, при доверительном интервале $\Delta \pm 10\%$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Промышленная переработка рыб сопровождается увеличением количества вторичных ресурсов и отходов в зависимости от вида разделки и способа²⁸, образуя непищевые отходы: кожа, плавники, чешуя, кости и внутренности. Количество непищевых отходов может достигать 60% от общей массы рыбы. Структурообразующими коллагеносодержащими отходами являются чешуя и кожа, которые составляют до 10% от общей массы рыбы (Таблица 2).

Таблица 2

Результаты исследования размерно-массового состава частикового сырья для рыб осеннего вылова²⁹

Виды рыбы	Раз- мерный состав	Массовый состав, %	Массовый состав при ручной разделке на филе, %							
	Длина, см	Масса, г	Голова с груд- ными плавни- ками	Плавники, плава- тельный пузырь, позвоноч- ная кость	Вну- трен- ности всего	Чешуя и кожа	Выход филе	Итого отходов при раз- делке	Потери при раз- делке	Всего отхо- дов и по- терь
Судак	37,0– 61,0 49,0	600,0– 2900 1750	21,0– 21,32 21,60	3,10– 3,15 3,13	5,30– 5,38 5,34	5,0– 5,08 5,04	51,50– 52,27 51,89	49,03– 49,77 49,40	2,10– 2,13 2,12	48,50– 49,23 48,87
Лещ	30,0– 34,0 32,0	542,0– 800,0 942,0	21,60– 21,32 21,46	22,40– 22,74 22,57	12,0– 12,18 12,09	8,10– 8,22 8,16	33,8– 34,31 34,06	64,10– 65,06 64,58	2,10– 2,13 2,12	66,20– 67,19 66,70
Карась	17,30– 20,30 18,80	133,5– 178,5 156,0	18,10– 18,37 18,24	1,0– 1,02 1,01	10,0– 10,15 10,08	10,0– 10,15 10,08	58,70– 59,58 59,14	39,10– 39,69 39,40	2,20– 2,23 2,22	41,30– 41,92 41,61
Сазан	38,50– 38,40 38,45	1184– 1219 1201	17,70– 17,97 17,84	17,40– 17,66 17,53	18,90– 19,18 19,04	8,80– 8,93 8,87	36,20– 36,74 36,47	64,0– 64,96 64,48	2,10– 2,13 2,12	36,0– 36,54 36,27
Щука	61,60– 64,60 63,10	2017– 2420 2218	24,50– 24,87 24,69	4,30– 4,36 4,33	10,90– 11,06 10,98	6,80– 6,90 6,85	39,70– 40,30 40,00	58,20– 59,07 58,64	2,10– 2,13 2,12	60,30– 61,20 60,75
Толсто- лобик	20,0– 26,50 23,25	410,0– 515,0 462,5	23,40– 23,75 23,58	10,10– 10,25 10,18	22,60– 22,94 22,77	5,50– 5,58 5,54	5,50– 5,58 5,54	64,70– 65,67 65,19	2,10– 2,13 2,12	66,80– 67,80 67,30

²⁸ Быков, В. П., Головкина, В. Н., & Ионас, Г. П. (1999). *Справочник по химическому составу и технологическим свойствам рыб внутренних водоемов*. М.: ВНИРО.

²⁹ *Нормы отходов, потерь и расхода сырья при производстве кулинарной продукции на предприятиях КАСПРЫБЫ* 15.78.24–139-91. (1992). https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_60924

Данные химического состава кожи и чешуи, влияют на выбор способов экстракции исходного сырья для получения продукции с заданным составом. Кожа частиковых видов рыб толстолобика, леща, карася и сазана содержит большое количество жира (3–17%), что затруднит получение коллагена. Маложирным сырьем (до 1 %) является кожа судака и щуки, что и определило выбор объекта исследования.

Экспериментальное сравнительное содержание коллагена в сырье для получения коллагенсодержащей ихтиосубстанции в различных частях тела судака и щуки представлено на Рисунке 3.

В ходе проведения исследования содержания коллагена в сырье для получения коллагенсодержащей ихтиосубстанции (в различных частях тела судака и щуки, были полученные данные, представленные на рисунке 3, которые согласовываются со справочными данными по химическому составу и технологическим свойствам рыб внутренних водоемов ВНИРО (Быков с соавт., 1999).

На Рисунке 3 представлено содержание коллагена в различных частях тела судака и щуки, % сырого вещества, что подтверждает высокое содержание коллагена в коже и чешуе. Плавательный пузырь также содержит большое количество коллагена,

но процент его от общей массы рыбы очень мал. Плавательный пузырь, чешуя, кожа уже используются в технологиях получения рыбного клея, коллагена, структурообразователя по отдельности. Для сокращения трудоемких операций, в части отделения чешуи от кожи, и длительности технологического процесса, снижения его себестоимости была предложена технология получения коллагеносодержащей продукции.

Сравнительный анализ химического состава объектов исследования на основании справочника по химическому составу и технологическим свойствам рыб внутренних водоемов представлен в Таблице 3.

В Таблице 3 приведены усредненные значения, полученные во время исследования химического состава кожи, чешуи и кожи с чешуей щуки и судака, поскольку химический состав частей меняется в зависимости от размера (длины) и массы исследуемых видов рыб. Как видно из Таблицы 3, кожа с чешуей судака, кожа с чешуей щуки содержит низкое количество жира, не превышает показателей в коже.

Перед обоснованием выбора технологии выделения коллагена важную роль играет размер и строение чешуи. Частиковые виды рыб имеют циклоидную и ктеноидную форму пластинок чешуи.

Рисунок 3

Содержание коллагена в различных частях тела судака и щуки, % сырого вещества

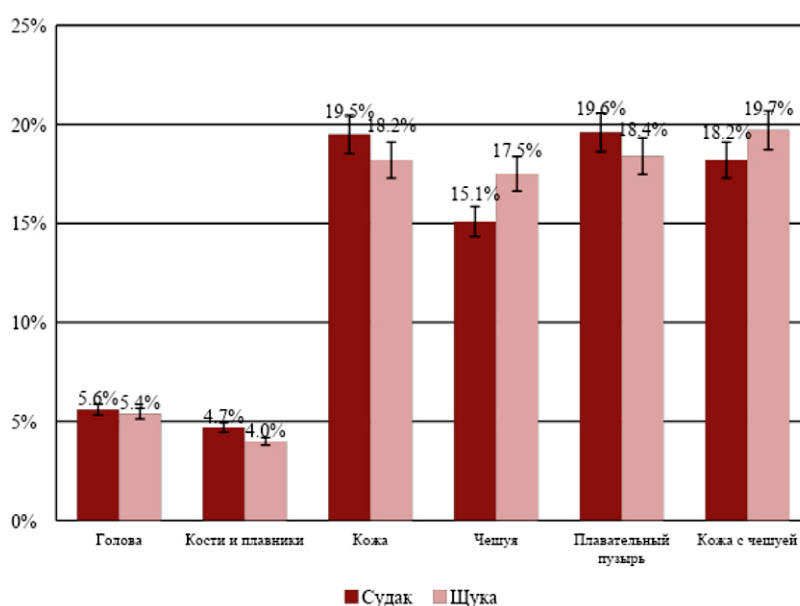


Таблица 3

Химический состав отходов частиковых рыб Волго-Каспийского бассейна

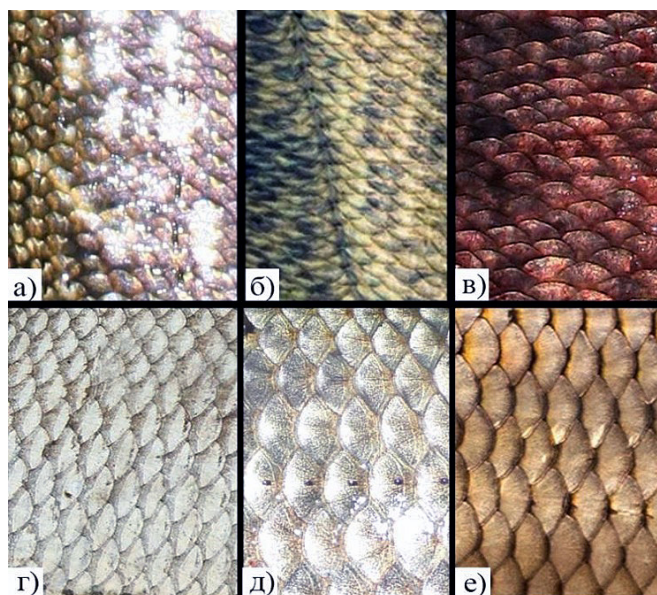
Наименование рыбы	Химический состав				Энергетическая ценность, ккал	Источник
	Влага	Белок	Жир	Зола		
Щука (кожа)	71,90	26,70	0,50	1,40-	125,95	Быков с соавт. ³⁰
Щука (чешуя)	11,10	50,0	0,10	38,50	212,30	(Якубова с соавт., 2004)
Щука (кожа и чешуя)	62,32	36,70	1,01	2,64	156,83	собственные исследования
Судак (кожа)	66,50-	30,60-	1,10	1,80	214,40	Быков с соавт. ³¹
Судак (чешуя)	11,0	49,50	0,10	49,5-	208,0	(Якубова с соавт., 2004)
Судак (кожа и чешуя)	58,87	47,47	1,02	1,72	201,93	собственные исследования

Диаметр чешуи частиковых видов рыб составляет: судак — 3–5 мм; толстолобик, щука — 4–7 мм; лещ — 8–11 мм; карась и сазан — 20–23 мм (Рисунок 4).

Из представленных данных можно сделать вывод, что чешуя наименьшего размера у толстолобика,

Рисунок 4

Внешний вид чешуи некоторых частиковых видов рыб



Примечание. а) щука (*Esox lucius*); б) судак (*Lucioperca lucioperca*); в) толстолобик (*Hypophthalmichthys molitrix*); г) лещ (*Abramis brama*); д) карась (*Carassius auratus gibelio*); е) сазан (*Cyprinus carpio*).

судака и щуки, что будет способствовать лучшей экстракции коллагена, так как размер поверхности чешуи влияет на скорость диффузионного обмена между обрабатываемым сырьем и химическим агентом (Якубова с соавт., 2004).

На основе анализа существующих технологий, представленного в Таблице 1 и учитывая их недостатки, представленные выше, был разработан способ получения коллагенсодержащей ихтиосубстанции.

Отличительными достоинствами технологии являются: использование в технологических операциях чешуи на коже, не прибегая к процессу их разделения; использование органической кислоты малой концентрации, экономически целесообразно с точки зрения доступности и финансовых затрат; установка щадящего температурного режима при варке, а также возможность повторной варки вторичного твердого остатка при тех же режимах. Вторичный твердый остаток представляет собой частицы чешуи и кожи диаметром более 1,00 мм, получаемый после процедуры фильтрования. В дальнейших исследованиях планируется изучить возможность использования данного вторичного остатка в качестве кормовой добавки в рыболовственной отрасли.

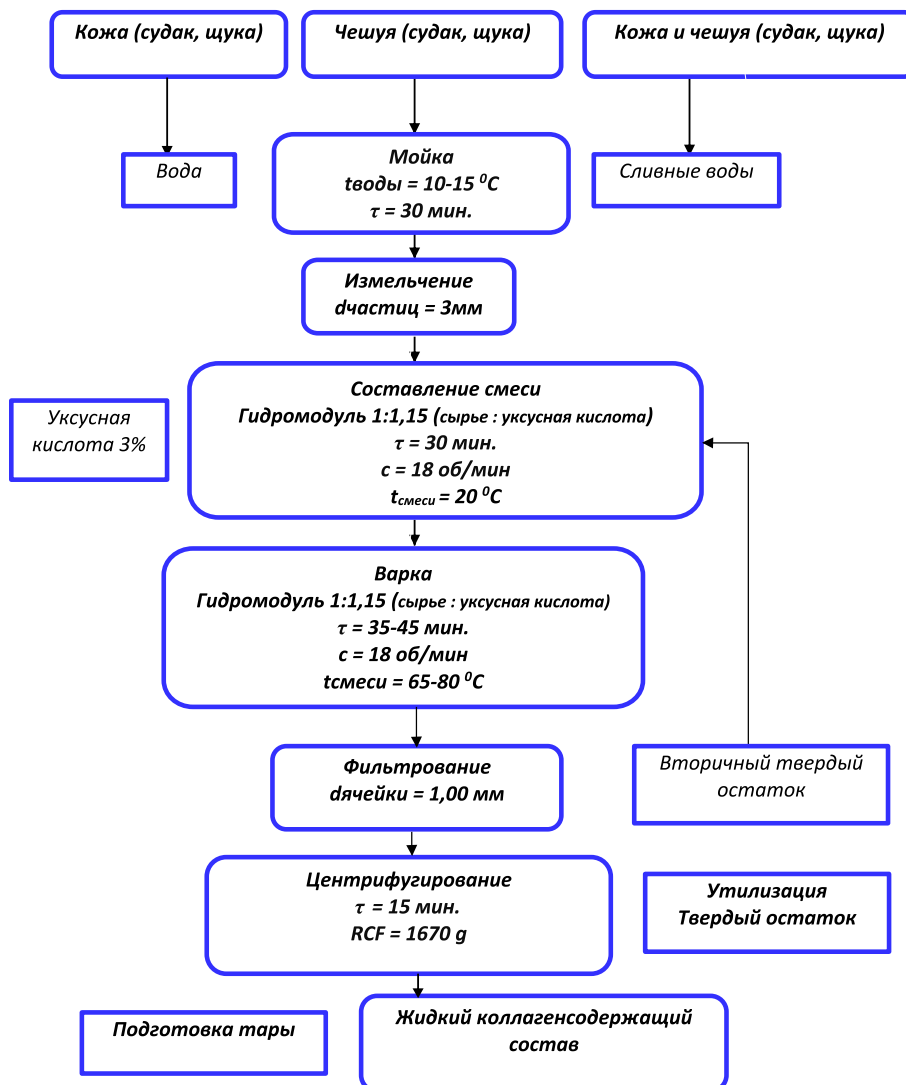
По окончании технологического процесса получали коллагенсодержащую ихтиосубстанцию (Рисунок 6б) и вторичный твердый остаток (Рисунок 6а.). Внешний вид сырья для получения коллагенсодержащей ихтиосубстанции приведен на Рисунке 6.

³⁰ Быков, В. П., Головкова, В. Н., & Ионас, Г. П. (1999). *Справочник по химическому составу и технологическим свойствам рыб внутренних водоемов*. М.: ВНИРО.

³¹ Там же.

Рисунок 5

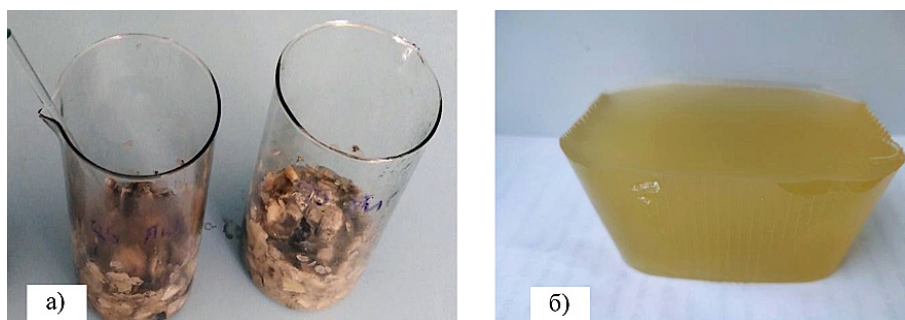
Технологическая схема получения коллагенсодержащей ихтиосубстанции из кожи с чешуей судака и щуки



Примечание. Упаковывание и маркирование в жидком виде, хранение при $t = 4 \pm 2^\circ\text{C}$ не более 200 суток

Рисунок 6

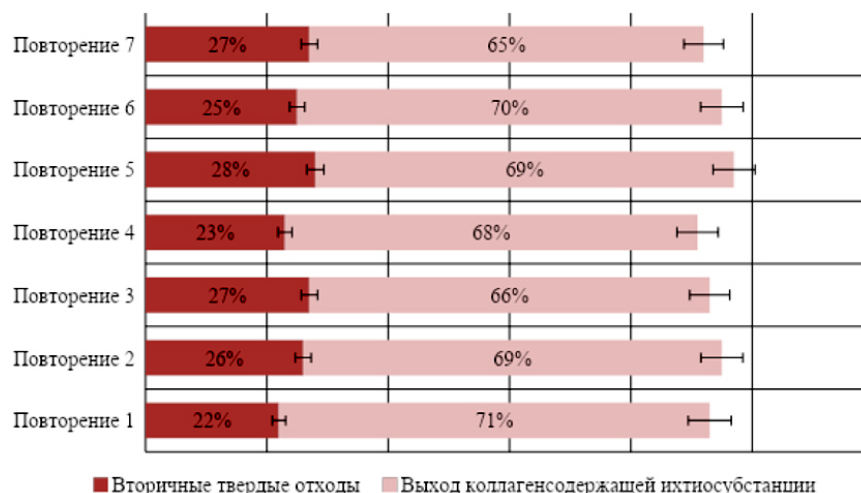
Внешний вид сырья и проученной коллагенсодержащей ихтиосубстанции



Примечание. а – измельченные рыбная чешуя с кожей судака и щуки в растворе уксусной кислоты; б – полученная ихтиосубстанция

Рисунок 7

Динамика выхода полученной коллагенсодержащей ихтиосубстанции из кожи с чешуей судака и щуки, % от массы сырья



Динамика выхода конечного продукта по разработанной технологии демонстрирует (Рисунок 7) практическую возможность получения коллагенсодержащей ихтиосубстанции с использованием кожи с чешуей судака и щуки, процентный выход которого лежит в диапазоне 65–71 %.

Далее исследовали свойства коллагенсодержащей ихтиосубстанции, полученной по разработанной технологии указанной на рисунке 5. Были изучены ее органолептические и физико-химические показатели качества. Результаты органолептического (Таблица 4) и физико-химического (Таблица 5) исследования приведены ниже.

Анализ органолептических показателей демонстрирует что, экспериментальный образец имеет сходные по части показателей органолептические свойства (в частности по показателю «цвет») с другими коллагеносодержащими продуктами.

Исследование физико-химических свойств показало, что величина pH соответствует кислой среде — от 4,2 до 4,7, что оказывает подавляющее действие на рост микроорганизмов и позволяет продлить срок хранения продукта. Содержание сухих веществ находится в пределах 10–15 %. Показатель динамической вязкости изменялся в пределах 25–29 мПа · сек, что позволяет спрогнозировать свой-

Таблица 4

Сравнительная характеристика органолептических показателей коллагенсодержащих продуктов

Наименование показателя	Клей из чешуи рыб (контрольный образец)	Жидкая фракция гамма-желатина (контрольный образец)	Полученная коллагенсодержащая ихтиосубстанция (образец)
Внешний вид	Однородная прозрачная слегка опалесцирующая жидкость, без посторонних примесей и включений	—	Студнеобразное вещество полупрозрачное
Цвет	Светло-желтый, разных оттенков	Прозрачный раствор со светло-желтым оттенком	От светло-желтого до светло-коричневого
Запах	Без постороннего	Без постороннего запаха, без специфического запаха	Слабый рыбный запах, с присутствием уксусного запаха

Таблица 5

Сравнительная характеристика физико-химических показателей полученной коллагенсодержащей ихтиосубстанции

Наименование показателя	Клей из чешуи рыб (контрольный образец)	Жидкая фракция гамма-желатина (контрольный образец)	Полученная коллагенсодержащая ихтиосубстанция (образец)
Активная кислотность, pH	5–7	5,5–7,0	4,2–4,7
Динамическая вязкость, мПа · сек	8–17	25–30	25–29
Содержание сухих веществ, %	5–20	10–12	10–15
Содержание золы, %	3,0	1,0–1,5	3,6–5,47
Содержание белка, %	70–85	80–90	84,2–87,94
Содержание жира, %	Данные не представлены	Данные не представлены	4,73–6,6
Посторонние примеси	Не допускаются	Не допускается	Не допускаются

ства биополимера при контроле технологического процесса. Поскольку полученная коллагенсодержащая ихтиосубстанция характеризуется высокой концентрацией белка, изменение ее показателей качества и безопасности непосредственно связано с микробиологическими показателями.

Результаты микробиологических исследований полученной коллагенсодержащей ихтиосубстанции представлены в Таблицах 6, 7, 8.

Культурально–морфологические признаки выделенных микроорганизмов на мясо-пептоном агаре представлены в Таблице 7.

Таблица 6

Микробиологические показатели полученной коллагенсодержащей ихтиосубстанции

Наименование показателя	Допустимые уровни по ТС ТР 021/2011	Коллагенсодержащая ихтиосубстанция
КМАФАнМ, КОЕ/г, не более	5x10 ⁴	1x10 ³
БГКП, не допускается в массе продукта, г	0,1	Не обнаружено
E. coli не допускаются в массе продукта	Не обнаружено	Не обнаружено
S. aureus, не допускается в массе продукта, г	Не обнаружено	Не обнаружено
Плесневые грибы и дрожжи, КОЕ/г, не более	Не обнаружено	Не обнаружено
Listeria monocytogenes, не допускаются в массе продукта, г	25	Не обнаружено
Salmonella не допускаются в массе продукта, г	25	Не обнаружено

Таблица 7

Культурально–морфологические признаки выделенных микроорганизмов на мясо-пептоном агаре

Штамм	Культуральные признаки колоний	Морфологические признаки
1	Круглая форма, плоский профиль, растущий в агар, гладкие края, однородная структура, серый цвет	Грамположительные палочки, не спорообразующие

Таблица 8

Динамика количества МАФАнМ полученной коллагенсодержащей ихтиосубстанции, КОЕ/г

Контрольные точки, сутки хранения	Полученная коллагенсодержащая ихтиосубстанция
Норматив	5x10 ⁴
0	1x10 ³
100	5,4x10 ³
200	1x10 ⁴
300	4,9 x10 ⁴

Опираясь на данные Таблицы 7, можно говорить о явном преобладании палочковидных бактерий. Сравнивая полученные показатели с допустимыми уровнями, прописанными в ТС ТР 021/2011³², было установлено, что все показатели соответствуют допустимой норме (Таблица 6).

Так как область применения, полученной коллагенсодержащей ихтиосубстанции полностью не определена, то в ходе микробиологического анализа показателей установили, что количество КМАФАнМ в полученном продукте не превышает требования, прописанные ТР ТС 021/2011³³ для желатина пищевого и составляет 1×10^5 КОЕ/. Такие показатели БГКП, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, плесневых грибов и дрожжей *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* не были обнаружены в анализируемых пробах гидролизата рыбного коллагена.

На основании исследования научно-технической литературы и патентного поиска было установлено, что для структообразователей из вторичных рыбных ресурсов срок хранения при температуре $4 \pm 2^\circ\text{C}$ составляет не более 200 суток (6 месяцев), поэтому для полученной коллагенсодержащей ихтиосубстанции был выбран предполагаемый период хранения 200 суток. Результаты определения сроков хранения представлены в Таблице 8.

Исходя из результатов, представленных в таблице 8, можно сделать вывод, что для полученной коллагенсодержащей ихтиосубстанции срок хранения при температуре $4 \pm 2^\circ\text{C}$ составляет 200 суток (предполагаемый срок хранения), на 300 сутки наблюдается рост количества МАФАнМ приближающийся к нормативному показателю, поэтому было решено остановиться на предполагаемом сроке хранения в 200 суток.

Полученные и представленные в ходе исследования результаты, по физико-химическим характеристикам схожи с результатами проводимых ранее исследований (Rocha-Pimienta et al., 2023; Valcarcel et al., 2021; Sousa et al., 2017; Иванова с соавт., 2013; Якубова с соавт., 2004), что подтверждает эффективность совместного использования кожи с чешуей щуки (*Esox lucius*) и судака (*Lucioperca lucioperca*). Однако отличительной особенностью разработан-

ной технологии от рассмотренных ранее является экономичность, что выражается в использовании меньшего количества технологических этапов, применение органической кислоты малой концентрации, а также использование щадящих температурных режимов. При этом полученный продукт обладает стойкостью к микроорганизмам, так как кислая среда полученной коллагенсодержащей ихтиосубстанции оказывает консервирующее действие, что положительно сказывается на дальнейшем хранении.

ВЫВОДЫ

Целью данного исследования являлось изучение возможности получения коллагенсодержащей ихтиосубстанции из отходов рыбных ресурсов Астраханской области и изучение его качественных характеристик. На основании исследований представляется возможным получение коллагенсодержащей ихтиосубстанции при совместном использовании кожи с чешуей судака и щуки. Полученная коллагенсодержащая ихтиосубстанция обладает комплексом органолептических и физико-химических показателей, позволяющих применять ее в различные сферы человеческой деятельности. Разработанная технология позволяет получить выход конечного продукта до 70 % от массы исходной сырьевой базы. Выявлена стойкость полученного продукта к микроорганизмам, что способствует длительному хранению аналогично существующим коллагенсодержащим продуктам. Данные преимущества позволяют транспортировать продукт на дальние расстояния, а совокупность физико-химических свойств дают основу для дальнейшего изучения с целью определения сферы ее применения. Продукты и материалы, получение которых возможно с использованием коллагенсодержащей ихтиосубстанции являются экологически чистыми, а также биоразлагаемыми, так как при производстве не использовались синтетические вещества, а в ее состав преимущественно входят белковые соединения, в частности, коллаген.

Полученные данные, будут служить основой для дальнейших исследований возможности примене-

³² ТР ТС 021/2011. (2010). О безопасности пищевой продукции. <https://docs.cntd.ru/document/902320560>

³³ Там же.

ния ихтиосубстанции с целью получения биоразлагаемых упаковочных материалов из вторичных

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Олдырев Данил Вячеславович: концептуализация; разработка методологии исследования; проведение исследования; создание черновика и редактирование рукописи.

Сергазиева Ольга Дмитриевна: концептуализация; разработка методологии исследования; проведение исследования; создание черновика и редактирование рукописи.

Ярцева Наталья Васильевна: проведение исследования; создании черновика и редактирование рукописи.

Бахарева Анна Александровна: проведение исследования; визуализация; ресурсное обеспечение.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Байдалинова, Л. С., & Ляпустина, Е. Е. (2018). Выделение натуральных структурообразователей белковой природы из коллагенсодержащего вторичного рыбного сырья. *Известия Калининградского государственного технического университета*, 51, 45–60.
- Baidalinova, L. S., & Lyapustina, E. E. (2018). Isolation of natural protein structure-forming agents from collagen-containing secondary fish raw materials. *Proceedings of the Kaliningrad State Technical University*, 51, 45–60. (In Russ)
- Иванова, Е. А., & Якубова, О. С. (2013). Товароведная характеристика клея, получаемого из чешуи рыб. *Вестник Астраханского государственного технического университета. Рыбное хозяйство*, (3), 162–168.
- Ivanova, E. A., & Yakubova, O. S. (2013). Commodity characteristics of glue obtained from fish scales. *Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Fisheries*, (3), 162–168. (In Russ)
- Као, Т. Х., & Разумовская, Р. Г. (2011). Разработка оптимальных режимов экстракции коллагена из отходов переработки рыб Волго-Каспийского бассейна. *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*, (1), 33–36.
- Kao, T. Kh., & Razumovskaya, R. G. (2011). Development of optimal modes of collagen extraction from fish processing wastes of the Volga-Caspian basin. *News of Higher Educational Institutions. Food Technology*, (1), 33–36. (In Russ)
- Покусеева, О. А., Долганова, Н. В., & Якубова, О. С. (2015). Ихтиожелатин как основа съедобных пленочных покрытий для пищевых продуктов. *Вестник Астраханского государственного технического университета. Рыбное хозяйство*, (2), 123–128.
- Pokusaeva, O. A., Dolganova, N. V., & Yakubova, O. S. (2015). Ichthyogelatin as the basis of edible film coatings for food products. *Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Fisheries*, (2), 123–128. (In Russ)
- Сухих, С. А., Бабич, О. О., Чупахин, Е. Г., & Ульрих, Е. В. (2021). Определение содержания коллагена в коллагенсодержащих субпродуктах. *Инновационные научные исследования*, 4–1(6), 168–173.
- Sukhikh, S. A., Babich, O. O., Chupakhin, E. G., & Ul'rikh, E. V. (2021). Determination of the collagen content in collagen-containing by-products. *Innovative Scientific Research*, 4–1(6), 168–173. (In Russ)
- Якубова, О. С., & Котенко, А. Л. (2004) Чешуя как источник получения ихтиожелатина. *Вестник Астраханского государственного технического университета. Рыбное хозяйство*, (2), 130–135.
- Yakubova, O. S., & Kotenko, A. L. (2004). Scales as a source of ichthyogelatin. *Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Fisheries*, (2), 130–135. (In Russ)
- Cooney, R., de Sousa, D. B., Fernández-Ríos, A., Mellett, S., Rowan, N. J., Morse, A. P., Hayes, M., Laso, J., Regueiro, L., Wan, A. H., & Clifford, E. (2023). A circular economy framework for seafood waste valorisation to meet challenges and opportunities for intensive sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 392, Article 136283. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136283>
- Derkach, S. R., Kuchina, Y. A., Baryshnikov, A. V., Kolotova, D. S., & Voron'ko, N. G. (2019). Tailoring cod gelatin structure and physical properties with acid and alkaline extraction. *Polymers*, 11(10), Article 1724. <https://doi.org/10.3390/polym11101724>
- Derkach, S. R., Voron'ko, N. G., Kuchina, Y. A., & Kolotova, D. S. (2020). Modified fish gelatin as an alternative to mammalian gelatin in modern food technologies. *Polymers*, 12(12), Article 3051. <https://doi.org/10.3390/polym12123051>
- Fu, B., Mei, S., Su, X., Chen, H., Zhu, J., Zheng, Z., Lin, H., Dai, C., Luque, R., & Yang, D. (2021). Integrating waste fish scale-derived gelatin and chitosan into edible nanocomposite film for perishable fruits. *International Journal of Biological Macromolecules*, 191, 1164–1174. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.09.171>
- Getachew, A. T., Ahmad, R., Park, J., & Chun, B. (2021). Fish skin gelatin based packaging films functionalized by subcritical water extract from spent coffee ground.

- Food Packaging and Shelf Life*, 29, Article 100735. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2021.100735>
- Hou, E., Huang, C., Lee, Y., Han, Y., & Chu, H. (2022). A method for the process of collagen modified polyester from fish scales waste. *MethodsX*, 9, Article 101636. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2022.101636>
- Ivanovs, K., Spalvins, K., Blumberga, D. (2018). Approach for modelling anaerobic digestion processes of fish waste. *Energy Procedia*, 147, 390–396. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.07.108>
- Lv, L. C., Huang, Q.Y., Ding, W., Xiao, X. H., Zhang, H. Y., Xiong, L. X. (2019). Fish gelatin: The novel potential applications. *Journal of Functional Foods*, 63, Article 103581. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103581>
- Nurilmala, M., Suryamarevita, H., Husein Hizbullah, H., Jacoeb, A. M., & Ochiai, Y. (2021). Fish skin as a biomaterial for halal collagen and gelatin. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29, 1100–1110. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.09.056>
- Rajabimashhadi, Z., Gallo, N., Salvatore, L., & Lionetto, F. (2023). Collagen derived from fish industry waste: progresses and challenges. *Polymers*, 15(3), Article 544. <https://doi.org/10.3390/polym15030544>
- Rocha-Pimienta, J., Navajas-Preciado, B., Barraso-Gil, C., Martillanes, S., & Delgado-Adámez, J. (2023). Optimization of the extraction of chitosan and fish gelatin from fishery waste and their antimicrobial potential as active biopolymers. *Gels*, 9(3), Article 254. <https://doi.org/10.3390/gels9030254>
- Ruiz-Salmón, I., Laso, J., Margallo, M., Villanueva-Rey, P., Rodríguez, E., Quinteiro, P., Dias, A. C., Almeida, C., Nunes, M. L., Marques, A., Cortés, A., Moreira, M. T., Feijoo, G., Loubet, P., Sonnemann, G., Morse, A. P., Cooney, R., Clifford, E., Regueiro, L., Méndez, D., Anglada, C., Noirot, C., Rowan, N., Vazquez-Rowe, I., & Aldaco, R. (2021). Life cycle assessment of fish and seafood processed products – A review of methodologies and new challenges. *The Science of the total environment*, 761, Article 144094. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144094>
- Shiao, W. C., Wu, T. C., Kuo, C. H., Tsai, Y. H., Tsai, M. L., Hong, Y. H., & Huang, C. Y. (2021). Physicochemical and antioxidant properties of gelatin and gelatin hydrolysates obtained from extrusion-pretreated fish (*Oreochromis* sp.) scales. *Marine Drugs*, 19(5), Article 275. <https://doi.org/10.3390/md19050275>
- Siddiqui, S. A., Schulte, H., Pleissner, D., Schönfelder, S., Kvangarsnes, K., Dauksas, E., Rustad, T., Cropotova, J., Heinz, V., & Smetana, S. (2023). Transformation of seafood side-streams and residuals into valuable products. *Foods*, 12(2), Article 422. <https://doi.org/10.3390/foods12020422>
- Smaisim, G. F., Prabu, N. M., A P, S., & Abed, A. M. (2022). Synthesis of biodiesel from fish processing waste by nano magnetic catalyst and its thermodynamic analysis. *SSRN Electronic Journal*, 35, Article 102115. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2022.102115>
- Sousa, S. C., Vázquez, J. A., Pérez-Martín, R. I., Carvalho, A. P., & Gomes, A. M. (2017). Valorization of by-products from commercial fish species: extraction and chemical properties of skin gelatins. *Molecules*, 22(9), Article 1545. <https://doi.org/10.3390/molecules22091545>
- Thirukumaran, R., Anu Priya, V. K., Krishnamoorthy, S., Ramakrishnan, P., Moses, J. A., & Anandharamakrishnan, C. (2022). Resource recovery from fish waste: Prospects and the usage of intensified extraction technologies. *Chemosphere*, 299, Article 134361. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134361>
- Valcarcel, J., Fraguas, J., Hermida-Merino, C., Hermida-Merino, D., Piñeiro, M. M., & Vázquez, J. A. (2021). Production and physicochemical characterization of gelatin and collagen hydrolysates from turbot skin waste generated by aquaculture activities. *Marine Drugs*, 19(9), Article 491. <https://doi.org/10.3390/md19090491>
- Välimaa, A., Mäkinen, S., Mattila, P. H., Marnila, P., Pihlanto, A., Mäki, M., & Hiidenhovi, J. (2019). Fish and fish side streams are valuable sources of high-value components. *Food Quality and Safety*, 3, 209–226.