

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2025-8-1-134-143>

Поступила 13.12.2024

Поступила после рецензирования 31.03.2025

Принята в печать 02.04. 2025

© Глухарев А. Ю., Бордиян В. В., Кузина Т. Д., Кучина Ю. А., Деркач С. Р., 2025



<https://www.fsjour.com/jour>

Научная статья

Open access

ПОЛУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕЛКА ИЗ СТВОРОК РАКОВИН МИДИЙ В СУХОМ РЫБНОМ СОУСЕ

Глухарев А. Ю.*, Бордиян В. В., Кузина Т. Д., Кучина Ю. А., Деркач С. Р.

Мурманский арктический университет, Мурманск, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: АННОТАЦИЯ

соусы, пищевые
концентраты, мидии,
створки раковин,
конхис, белок

Целью работы являлось получение белковых ингредиентов из створок раковин мидий и изучение возможности их использования в технологии сухого соуса с учетом влияния на органолептические, физико-химические показатели и на реологические свойства. Органическая часть створки (конхис) преимущественно состоит из белковых веществ, обладающих низкой степенью растворимости в воде (14,86% при pH = 7), разбавленных растворах кислот (13,56% при pH = 3 и 13,06% при pH = 5) и щелочей (16,51% при pH = 9 и 28,48% при pH = 11). Ферментативная обработка конхиса с использованием панкреатина позволила получить гидролизат с высоким содержанием легкодоступных белковых веществ (53,19%) и со степенью гидролиза, равной 17,54%. Для изучения влияния дозировки гидролизата на свойства соуса было приготовлено четыре образца продукта (1 — с добавлением 3% гидролизата, 2—6%, 3—9%, 4—12%) и один контрольный образец. Результаты показали, что сухие соусы с добавлением гидролизата имели более высокое содержание белка (17,97; 18,21; 18,71; 19,01% в 1, 2, 3 и 4 образцах соответственно) по сравнению с контрольным образцом (17,60%). С помощью органолептической оценки определено влияние гидролизата на внешний вид, цвет, вкус и послевкусие, запах и консистенцию приготовленных соусов: самые низкие оценки (баллы) получил 4 образец соуса, а самые высокие — 1 образец. Рекомендуемая дозировка гидролизата в рецептуре соуса варьируется от 3 до 9%. Показано, что гидролизат не оказывает значительного влияния на реологические свойства приготовленных соусов. Полученные результаты свидетельствуют о возможности переработки раковин моллюсков в ценный белковый ингредиент, применимый в технологии сухих соусов.

БЛАГОДАРНОСТИ: Авторы благодарят Министерство науки и высшего образования РФ за поддержку научно-исследовательской лаборатории «Химия и технология морских биоресурсов» Мурманского арктического университета, созданной в рамках национального проекта «Наука и университеты» (FENR-2024-0001, соглашение № 075-03-2024-024/1 от 15.02.24).

Received 13.12.2024

Accepted in revised 31.03.2025

Accepted for publication 02.04.2025

© Glukharev A. Yu., Bordiyan V. V., Kuzina N. D., Kuchina Yu. A., Derkach S. R., 2025

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Original scientific article

Open access

PRODUCTION AND USE OF MUSSEL SHELL PROTEIN IN DRY FISH SAUCE

Andrei Yu. Glukharev*, Vlada V. Bordiyan, Taisiya D. Kuzina, Yuliya A. Kuchina, Svetlana R. Derkach

Murmansk Arctic University, Murmansk, Russia

KEY WORDS:

sauses, food
concentrates, mussels,
shell valves, organic
scaffold, protein

ABSTRACT

The objective of the study was to obtain protein ingredients from mussel shell valves and to examine their potential application in the production of dry sauce with regard to the impact on organoleptic and physicochemical parameters, and rheological properties. The organic component of the shells, designated as conchix, is primarily composed of proteinaceous substances with low solubility in water (14.86% at pH 7), as well as in diluted solutions of acids (13.56% at pH 3 and 13.06% at pH 5) and alkalis (16.51% at pH 9 and 28.48% at pH 11). The enzymatic treatment of conchix with pancreatin resulted in the production of a hydrolysate with a high content of readily available protein substances (53.19%) and a degree of hydrolysis of 17.54%. Four product samples with varying proportions of hydrolysate added (1–3% of hydrolysate, 2–6%, 3–9%, and 4–12%) and a control sample were prepared to investigate the impact of hydrolysate dosage on sauce characteristics. Dry sauces with hydrolysate supplementation had higher protein concentrations (17.97%, 18.21%, 18.71%, and 19.01% in samples 1, 2, 3, and 4, respectively) than the control sample (17.60%). An organoleptic evaluation was conducted to ascertain the impact of the hydrolysate on the appearance, color, taste and aftertaste, odor and consistency of the prepared sauces. Sample 4 scored lowest, while sample 1 scored highest. The recommended dosage of hydrolysate in the sauce formulation is between 3 and 9%. The hydrolysate had no significant impact on the rheological characteristics of sauces. The obtained results indicate the possibility of processing shellfish shells into a valuable protein ingredient applicable in the technology of dry sauces.

ACKNOWLEDGEMENTS: Authors thank the Russian Ministry of Science and Higher Education for the support of the Laboratory of Chemistry and Technology of Marine Bioresources founded as part of the national project «Science and Universities» (FENR-2024-0001, agreement No. 075-03-2024-024/1 of 15.02.24).

1. Введение

В настоящее время научные сообщества и специалисты рыбной промышленности уделяют большое внимание совершенствованию методов переработки добываемых водных биоресурсов (ВБР), что главным образом обусловлено образованием большого количества побочных продуктов [1]. Они слабо задействованы в народном хозяйстве и в большинстве случаев просто утилизируются или используются в кормлении пушных зверей, сельскохозяйственных животных и птиц. В рамках реализации «Стратегии развития рыбохозяй-

ственного комплекса РФ на период до 2030 года» одной из основных задач, стоящих перед отечественной рыбоперерабатывающей промышленностью, является развитие производства продукции глубокой переработки ВБР¹. Такое развитие мало- и безотходных технологий, включающих в себя глубокое разделывание объектов водного

¹ Об утверждении Стратегии повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года [Электронный ресурс]: распоряжение Правительства Российской Федерации от 29.06.2016 № 1364-р. Электронный ресурс: <https://docs.cntd.ru/document/420363999>. Дата доступа: 19.11.2024

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Глухарев, А. Ю., Бордиян, В. В., Кузина, Т. Д., Кучина, Ю. А., Деркач, С. Р. (2025). Получение и использование белка из створок раковин мидий в сухом рыбном соусе. *Пищевые системы*, 8(1), 134–143. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2025-8-1-134-143>

FOR CITATION: Glukharev, A. Yu., Bordiyan, V. V., Kuzina, T. D., Kuchina, Yu. A., Derkach, S. R. (2025). Production and use of mussel shell protein in dry fish sauce. *Food Systems*, 8(1), 134–143. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2025-8-1-134-143>

промысла и использование непищевых частей в качестве вторичных сырьевых ресурсов, может значительно усилить продовольственную безопасность РФ и экономику страны.

Побочные продукты, образующиеся в результате переработки ВБР, могут выступать в качестве вторичных сырьевых источников для получения продуктов с высокой добавленной стоимостью (ПВДС), обладающих рядом полезных свойств. Они используются в качестве биоматериалов, имеющих широкую область применения (медицина, антимикробные средства и средства для доставки лекарств, пищевая и косметическая промышленности [2]), а также выступают как ценные пищевые ингредиенты. В работе [3] современными методами (гомогенизацией с высоким усилием сдвига и ультразвуковой обработкой) извлекали из внутренних органов пресноводного сома (*Clarias magur*) пищевой рыбий жир с высоким содержанием полиненасыщенных жирных кислот. Белковые вещества из панцирей креветок *Vannamei* (*Litopenaeus vannamei*) использовались для получения ароматизированного порошка [4]. Авторами Kaushik и др. [5] рассмотрены возможные пути использования продуктов переработки рыбы для получения белковых гидролизатов с биоактивными свойствами. Использование таких ПВДС для обогащения химического состава пищевых продуктов массового спроса с целью корректировки рациона различных групп населения и удовлетворения потребностей в пищевых веществах, энергии, витаминах и минералах является актуальной задачей.

Моллюски, в частности мидии, относятся к одним из наиболее ценных ВБР: их мясо служит отличным источником белковых веществ, полиненасыщенных жирных кислот, витаминов и минеральных элементов, а створки — источником природного кальция. Аквакультура моллюсков активно развивается, что приводит к значительному увеличению их производства, которое по состоянию на 2018 год составило 17,5 млн тонн (около 15% от общего объема произведенной в этом году продукции) [6]. В свою очередь, створки раковин, остающиеся после переработки двусторчатых моллюсков для пищевых целей, являются большой проблемой для производителей, продавцов и потребителей моллюсков, как с практической, так и с финансовой точки зрения [7]. В зависимости от вида мидии на долю раковин может приходиться от 70 до 80% от общей массы побочных продуктов, остающихся после переработки данного организма [8,9].

Створки раковин мидий являются продуктом биоминерализации, состоящим на 95–99% из карбоната кальция (CaCO_3) и на 1–5% из органической матрицы [8,10], называемой конхис [11]. Они рассматриваются преимущественно как источник кальция [12,13], в то время как их конхис привлекает мало внимания, хотя является источником белковых веществ, гликополисахаридов, хитина, липидов и пигментов [8]. Эти вещества представляют особый научный интерес и являются ценными пищевыми ингредиентами для получения продуктов питания, а также технических, лекарственных и косметических препаратов.

Основное вещество в органической матрице раковин моллюсков представлено конхиолином. Данное вещество относится к склеропротеинам (фибрилярным белкам), которые образуют наружный слой раковины моллюсков — перистоэпидерм, а также входят в два других слоя, включающих в себя карбонат кальция: остракум и гипостракум [14,15]. В работе Zhang и др. [10] установлено, что большая часть аминокислотных остатков в составе белков конхиолинов органической матрицы раковин моллюсков приходится на аспарагиновую кислоту, глицин и серин, меньшая — на пролин и цистеин. Другими авторами [16] показано, что глицин (29%), валин (24%), лейцин (8,3%), лизин (21%) и аргинин (4,3%) составляют 87% от общего количества аминокислот в белке раковин моллюсков. Таким образом, извлечение органической матрицы из раковин мидий и изучение возможности применения ее белковых веществ в пищевых технологиях являются актуальными задачами в связи с развитием безотходных технологий и с ростом дефицита пищевого белка в мире [17].

Соусы являются важным компонентом различных видов блюд и пищевых продуктов. Они создают широкий спектр вкусовых и ароматических характеристик готового продукта, формируют определенный цвет и нежную консистенцию, улучшают внешний вид блюда, повышают его питательную ценность. Соусы могут облегчить процесс потребления твердой пищи, например, снеков [18].

Соусы имеют большую популярность, как в России, так и за рубежом [18]. За период с 2022 по 2023 гг. продажи соусов в России увеличились на 5,7%: с 1,21 до 1,28 млн тонн; а в 2024 году продажи составили 1,35 млн тонн, согласно последним данным *BusinessStat*².

Соусы подразделяются на две большие группы — горячие и холодные. Технология горячих соусов, в особенности приготовленных на бульонах (мясных или рыбных), на наш взгляд, является наиболее трудоемкой. Она состоит из ряда технологических операций: приготовления бульона; варка с декстринизированной пшеничной мукой, нарезанными и пассированными растительными ингредиентами; смешивание с пряностями, сахаром и пищевой солью; процеживание и доведение до кипения. В дополнение к этому кулинарные соусы обладают низким сроком годности (до 48 часов при температуре хранения 4 °C). Таким образом, заслуживают особого внимания пищевые концентраты кулинарных соусов быстрого приготовления, имеющие определенные преимущества по сравнению с традиционными соусами. Они представляют собой порошкообразный продукт, который состоит из ингредиентов животного и растительного происхождения с разной степенью измельчения. Сухие кулинарные соусы имеют длительный срок годности (от 6 до 12 месяцев) и готовятся в течение 1–10 мин. Помимо этого, затраты на упаковку, транспортировку и хранение сухих соусов значительно меньше. Также их можно использовать в качестве ингредиента во многих продуктах питания.

Процесс непрерывного совершенствования технологии соусов [19,20], а также обогащение их ценными нутриентами (биоактивными соединениями) позволяют создавать новые продукты, которые могут быть интересны с точки зрения улучшения здоровья человека и решения проблем, связанных с ростом ряда алиментарных заболеваний [21].

Соусы обогащали прополисом [22], экстрактами масел тмина и перца [23], что позволяло повысить пищевую ценность, а также придать продукту антиоксидантные свойства. Порошок из косточек фиников использовался в качестве источника пищевых волокон в кетчупе, что вместе с повышением пищевой ценности улучшало реологические характеристики продукта [24]. Wang и др. [25] использовали грацилярию (*Gracilaria*) для изменения вкусовых характеристик соевого соуса за счет увеличенного содержания в продукте пиразин, ненасыщенных спиртов, жирных кислот и свободных аминокислот.

Вопросы выделения эссенциальных компонентов (веществ функциональной направленности) из побочных продуктов переработки мидий и дальнейшего их использования в соусах рассматриваются недостаточно широко, имеются пробелы в этой области знаний. Таким образом, использование ПВДС из ВБР (в особенности белковых веществ из органической матрицы раковин моллюсков) в технологии сухих соусов является востребованной и актуальной задачей в рамках комплексного использования биологических ресурсов, а также повышения качественных характеристик продукта.

В этом исследовании в качестве объекта были выбраны мидии *Mytilus edulis* L., собранные на литоральной зоне Кольского залива, в ряде губ Западного и Восточного побережья Баренцева моря (Мурманская область, Россия). Они встречаются повсеместно на литорали; их биомасса достигает до 2,5 кг/м² и более. В качестве побочного продукта были использованы раковины мидий.

Предыдущими исследованиями было показано, что деминерализация раковин мидий с использованием динатриевой соли этилендиаминтетрауксусной кислоты (трилона Б) позволяет сохранить нативную структуру связующей органической матрицы и вторичную структуру ее ценных белков [26]. В данной работе была поставлена следующая цель: получить высокобелковые ингредиенты (конхис и гидролизат) из створок раковин мидий и определить возможность их использования в технологии сухого кулинарного соуса с учетом влияния на органолептические и физико-химические показатели, а также на реологические свойства готового продукта.

2. Объекты и методы

2.1. Объекты исследования

В качестве объектов исследования были выбраны створки раковин мидий, конхис из створок раковин мидий, белковый гидролизат из конхиса, соусы с использованием белкового гидролизата (сухие смеси и приготовленные).

Для получения конхиса были использованы створки раковин, полученные после разделки мидий *Mytilus edulis* L. Мидии были собраны в летний период (июнь–июль) на Мурманском Восточном (губа Терiberская) и Западном (губы Печенга, Ура) побережьях Баренцева моря (Россия) и хранились до переработки в морозильной камере в течение 2–3 месяцев при температуре минус 25 °C.

Для производства сухого соуса использовали следующие ингредиенты: муку пшеничную высший сорт, пищевой концентрат рыбного бульона, белковый гидролизат из конхиса, соль пищевую экстра, сахар-песок, лук-сушеный, чеснок-сушеный, морковь-сушеную, перец черный молотый, глутамат натрия (E621), лимонную кислоту пищевую (E330).

² Анализ рынка соусов в России в 2020–2024 гг, прогноз на 2025–2029 гг. Структура розничной торговли. М.: BusinessStat, 2025. — 90 с. Электронный ресурс: <https://businessstat.ru/>. Дата доступа: 19.11.2024.

Пищевой концентрат рыбного бульона был получен в лабораторных условиях из свежемороженого набора для ухи, изготовленного в соответствии с российским стандартом (ГОСТ 21607–2021³) и состоящего из рыбных пищевых отходов от разделки лосося и форели (плечевые и позвоночные кости с прирезами мяса, прихвостовые части и срезки мяса). Полученный пищевой концентрат рыбного бульона характеризовался следующим химическим составом: массовая доля воды — 7,91%, белка — 73,06%, жира — 1,46%, золы — 15,55%, углеводов — 2,01%.

2.2. Технологический процесс

Технологический процесс получения конхиса заключался в деминерализации створок раковин мидий в растворе Трилона Б (ООО «Энергохим», Россия) с концентрацией 174 г/дм³ и pH 7,25. Процесс подготовки сырья включал в себя: приемку и хранение живых мидий (1–2 суток) в чистой морской воде при температуре 5–7 °C, мойку, стекание, сортировку и замораживание при температуре минус 25 °C. Перед получением конхиса замороженные мидии размораживались при температуре 3–5 °C, промывались и разделялись, створки промывались, сортировались по размеру и окраске (использовались целые раковины темного цвета, длиной от 3 до 5 см). Затем створки мидии сушились при температуре 20–25 °C и направлялись на деминерализацию. Отделенные от мяса, промытые и высушенные створки помещали в стеклянную емкость с раствором Трилона Б, при этом соотношение створок к раствору составляло 1:8 (масса: объем, г: см³). В процессе деминерализации при температуре 20–25 °C раствор периодически перемешивался с использованием шейкера LS-110 (LOIP, Россия) (8 ч — перемешивание при 120–130 об/мин, 16 ч — релаксация). Каждые 24 ч створки извлекали из раствора и промывали водой. Затем процесс деминерализации продолжали с новым раствором Трилона Б. Продолжительность процесса деминерализации составляла 120 ч. Полученный конхис промывался водой и высушивался в естественных условиях при температуре 20–25 °C в течение суток.

Белковый гидролизат был получен из конхиса ферментативным способом гидролиза с использованием панкреатина (ICN Biochemicals, США)⁴. Конхис измельчали в мельнице и смешивали с водой в массовом соотношении 1:10, доводили pH реакционной среды до 8,5 ед. раствором NaOH (0,1 М) и поднимали температуру до 50 °C, вводили ферментный препарат в количестве 10 г/200 г конхиса. Гидролиз проводили в течение 5 часов при температуре 50 °C и при постоянном перемешивании. По окончании процесса реакционную смесь нагревали до температуры 85–95 °C и выдерживали в течение 5–10 мин для инактивации ферментного препарата, после чего фильтровали через бумажный фильтр. Фильтрат (очищенный раствор гидролизата) нейтрализовали до pH 6,8–7,0 ед. и замораживали при минус 25 °C, затем сушили в лиофильной сушилке BK-FD10T (BioBase, Китай) при температуре минус 60 °C и остаточном давлении 1–5 Па.

Технологический процесс получения сухих рыбных соусов включал в себя следующие операции: термическую обработку (декстринизацию) пшеничной муки в сушильном шкафу при температуре 100–110 °C до белого (слегка кремового) цвета и до влажности 8,0–9,5%; охлаждение муки (до 45 °C); подсушку сухенных овощей (до влажности 6%) и пищевой соли (до влажности 1%); приготовление пищевого концентрата рыбного бульона из рыбных пищевых отходов; измельчение и просеивание сухих ингредиентов; составление рецептурной смеси и перемешивание компонентов в течение 5 мин до однородной массы; упаковывание и маркирование. Восстановление кулинарных соусов проводили следующим образом: смешивали сухую смесь с холодной водой в массовом соотношении 1:10 и доводили ее до кипения, периодически помешивая для лучшего растворения сухих компонентов, после этого варили 1 мин на слабом огне. Далее охлаждали соус до температуры подачи — не менее 75 °C.

2.3. Методы исследования

Отбор проб для исследований осуществляли в соответствии с требованиями стандартами (ГОСТ 31339–2006⁵, ГОСТ 15113.0–77⁶).

Физико-химические показатели (массовые доли: воды, жира, общего и аминного азота, золы, хлористого натрия, хитина) исследуемых образцов определяли в соответствии с российским стандартом (ГОСТ 7636–85⁷).

Массовую долю воды в исследуемых образцах определяли методом высушивания при температуре 100–105 °C в сушильном шкафу до постоянной массы; массовую долю жира — экстракционным методом в аппарате Сокслета (с использованием диэтилового эфира, ч. д. а.); общего азота (с последующим пересчетом на белковые вещества с использованием коэффициента 6,25) — макрометодом (методом Кьельдаля); аминного азота — методом формольного титрования; золы — методом сжигания навески образца в муфельной печи при 550 ± 10 °C; хлористого натрия — аргентометрическим методом; хитина — методом выделения частиц хитина и определения в них азота макрометодом.

Фотографии поверхностного слоя деминерализованных створок раковин мидий (конхиса) получали методом оптической микроскопии с использованием светового оптического микроскопа Olympus CX43 (Olympus Corporation, Япония) с фотонасадкой при увеличении 4×.

Содержание тяжелых металлов и мышьяка определяли методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. Измерения проводили на масс-спектрометре ELAN9000 DRC-e (Perkin Elmer, США) с индуктивно-связанной аргонной плазмой с замкнутой системой охлаждения. Введение образца осуществлялось с помощью перистальтического насоса и пробоподатчика AS-93⁸.

Выход исходного сырья (створок раковин мидий) и продуктов (конхиса и белкового гидролизата) рассчитывали по формуле, % (1):

$$\text{Выход} = \frac{m}{M} \cdot 100, \quad (1)$$

где m — масса створок раковин мидий, конхиса или белкового гидролизата, г; M — масса мидий (размороженных), створок или конхиса, г.

Степень гидролиза (СГ) рассчитывали по формуле, % (2):

$$\text{СГ} = \frac{AA}{OA} \cdot 100, \quad (2)$$

где AA, OA — массовые доли аминного и общего азота, %.

Массовую долю углеводов (У) рассчитывали по формуле, % (3):

$$U = 100 - (B + B + Ж + З), \quad (3)$$

где В, Б, Ж, З — массовые доли воды, белка, жира и золы в продукте соответственно, %.

Определение растворимости в растворах с различной кислотностью (pH) и перевариваемость определяли по стандартным методам (ГОСТ 7636–85⁷, ГОСТ Р 55987–2014⁸).

Структурно-механические показатели (сжатие и липкость) исследовались на текстурометре FRTS-50N (IMADA CO., LTD, Япония). Показатели «сжатие» и «липкость» определяли с использованием дискового индентора FR FR-HA-20J (IMADA CO., LTD, Япония). При определении показателя «сжатие» индентор погружался в испытуемый образец на глубину 5 мм с постоянной скоростью (2 мм/сек), при этом датчиком сопротивления фиксировалась максимальная нагрузка. При определении показателя «липкость» индентор погружался в испытуемый образец с постоянной скоростью (1 мм/сек) и по достижению усилия в 0,1 Н он прекращал погружение и начинал подниматься, при этом фиксировалась нагрузка (усилие отрыва), которую индентор затрачивает на возвращение в исходное положение. Измерения проводились в стандартных условиях. Температура изучаемых образцов в момент измерения составляла 25 °C.

Реологические свойства объектов изучались на реометре Physica MCR302 (Anton Paar, Австрия) с использованием измерительной ячейки «конус-плоскость» CP50–1 (диаметр плоскости — 50 мм, угол между конусом и пластиной — 1°). Перед проведением анализа приготовленные образцы соусов с температурой 65–75 °C пропускали через металлическое сито с размером ячеек 100 мкм для удаления различных включений (овощных компонентов, комочков и др.), после чего охлаждали до температуры измерений $T = 20 \pm 0,03$ °C, поддерживаемой постоянной при помощи элемента Пельтье P-PTD200/GL. Кривые течения соусов получали в режиме установившегося течения при скоростях сдвига в диапазоне 1–100 с^{–1}. Амплитудные и частотные зависимости динамических модулей (сохранения и потерь) измеряли

³ ГОСТ 21607–2021. «Наборы из рыбы для ухи мороженые. Технические условия». М.: Стандартинформ, 2021. — 13 с.

⁴ Оптимальные условия для работы ферментного препарата, согласно паспортным данным: температура 45–50 °C и pH 7,8–8,5.

⁵ ГОСТ 31339–2006. «Рыба, нерыбные объекты и продукция из них. Правила приемки и методы отбора проб». М.: Стандартинформ, 2010. — 4 с.

⁶ ГОСТ 15113.0–77. «Концентраты пищевые. Правила приемки, отбор и подготовка проб». М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. — 6 с.

⁷ ГОСТ 7636–85. «Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа». М.: Стандартинформ, 2010. — 123 с.

⁸ ГОСТ Р 55987–2014. «Корма, комбикормовое сырье. Метод определения переваримости муки из гидролизованного пера in vitro». М.: Стандартинформ, 2020. — 8 с.

в режиме колебательных испытаний: при постоянной угловой частоте $\omega = 6,28$ рад/с в диапазоне значений амплитуды деформации от 0,01 до 100%; при постоянной амплитуде деформации $\gamma = 0,05\%$, соответствующей области линейной вязкоупругости, в диапазоне частот 1–100 с⁻¹. Относительная погрешность прибора составляла не более 10%.

Фотофиксацию образцов осуществляли с использованием камеры смартфона (Apple, США). Образцы помещались на лист фильтровальной бумаги, фотосъемка производилась под прямым углом к плоскости фотографируемого объекта с использованием искусственного освещения (холодный белый свет). Расстояние от камеры до объекта находилось в пределах от 10 до 15 см.

Органолептическая оценка проводилась в соответствии с требованиями межгосударственного стандарта (ГОСТ 15113.3–77⁹) с использованием балльной шкалы. Дегустацию восстановленных соусов проводили при температуре образцов 65–75 °С.

Экспериментальные работы были выполнены на базе научно-исследовательской лаборатории «Химия и технологии морских биоресурсов» Мурманского арктического университета. Определение содержания тяжелых металлов и мышьяка проводили в Институте химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева — обособленное подразделение ФГБУН Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук» (ИХТРЭМС КНЦ РАН).

Все эксперименты проводились в трехкратной повторности. Результаты выражали в виде среднего арифметического значения и стандартного отклонения. Доверительная вероятность была установлена на уровне $P \geq 0,95$. Для статистической обработки экспериментальных данных использовали однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA). Различия между средними значениями считались значимыми при вероятности $P \leq 0,05$. Статистический анализ проводили с использованием программы Microsoft Office Excel 2021.

3. Результаты и обсуждение

Мидии являются известными фильтрующими сестонофагами. Находясь в неблагоприятной окружающей среде, они способны снижать уровень загрязнения прибрежных вод от природных токсинов, а также от тяжелых металлов и от других токсичных веществ, при этом накапливая их в своем теле и створках [27]. Целенаправленная деминерализация створок мидии позволяет удалить из них значительную часть минеральных веществ [26], в том числе и нежелательных микроэлементов (ртуть, свинец, кадмий и др.).

В связи с тем, что мидии были собраны в естественной среде обитания, необходимым условием для использования их створок с целью переработки и получения пищевой продукции была оценка безопасности. Для оценки безопасности используемых створок раковин моллюсков и полученного в результате деминерализации конхиса был проведен анализ содержания в них токсичных элементов: тяжелых металлов и мышьяка. Результаты исследований представлены в Таблице 1.

Из данных Таблицы 1 следует, что содержание тяжелых металлов и мышьяка в створках мидий, собранных на Мурманском побережье Баренцева моря (Россия), и в конхисе не превышает предельно допустимые уровни, установленные в Техническом регламенте Таможен-

Таблица 1. Содержание тяжелых металлов и мышьяка в створках раковин мидий и конхисе

Table 1. Heavy metal and arsenic content in mussel shell valves and conchix

Элемент	Содержание элементов, мг/кг				
	ПДУ	Створки раковин мидий			Конхис из створок раковин мидий
		Место сбора моллюсков			
		губа Териберская	губа Печенга	губа Ура	
Ртуть (Hg)	0,2	менее 0,10	менее 0,10	менее 0,10	менее 0,10
Кадмий (Cd)	2,0	менее 0,10	менее 0,10	менее 0,10	менее 0,10
Свинец (Pb)*	10,0	0,11 ± 0,01	0,27 ± 0,03	0,44 ± 0,04	менее 0,10
Мышьяк (As)*	5,0	0,38 ± 0,02	2,53 ± 0,05	2,07 ± 0,06	0,29 ± 0,02

Примечание: предельно допустимые уровни (ПДУ) указаны согласно ТР ТС 021/2011. Данные представляют собой средние арифметические значения ± стандартное отклонение от среднего арифметического значения для группы $n = 3$ при доверительной вероятности $P \geq 0,95$. Средние значения в строках не имеют значимых различий, кроме строк со значком «*» ($P < 0,05$).

ного союза «О безопасности пищевой продукции» (ТР ТС 021/2011)¹⁰. Таким образом, данные показатели безопасности соответствуют требованиям, предъявляемым к сырью, используемому для производства пищевой продукции.

После подтверждения безопасности используемого сырья были изучены свойства деминерализованных створок — конхиса. Деминерализация приводила к изменению в структуре и цвете створки раковины мидии (Рисунок 1).

Как видно из Рисунка 1, первоначально исходная поверхность створки была выпуклой, цвет черный, а после проведения деминерализации она стала плоской, цвет желто-коричневый, при этом размер практически не отличался от исходной створки. Конхис не обладал выраженным запахом и быстро восстанавливался в воде, имел хорошую эластичность. Этот органический матрикс, остающийся после деминерализации, в основном состоит из сложных белков конхиолинов. Окрашивание раствором кумасси это подтвердило: в конхисе преобладают белковые вещества, поэтому вся его структура окрасилась в синий цвет, при этом интенсивность окрашивания зависела от толщины слоя. В работе Ehrlich и др. [11], посвященной деминерализации раковин моллюсков (*P. nobilis*, *L. elliptica*, *M. galloprovincialis*, *H. tuberculata* и др.), наблюдались аналогичные результаты.

Белковые вещества конхиса (конхиолины) относятся к склеропотеинам — белкам, не растворимым в воде и в разбавленных растворах солей, кислот и щелочей. Также эти белки в нативном состоянии не подвергаются расщеплению протеолитическими ферментами [28]. На Рисунке 2 представлена растворимость конхиса в растворах с различной кислотностью. Было отмечено, что растворимость конхиса увеличивается в щелочной среде: 16,5% при pH 9,0 и 28,5% при pH 11. Самая низкая растворимость (13,1%) зафиксирована в районе pH изoelectricной точки белка — при pH 5 [1].

Далее для оценки степени перевариваемости конхиса были смоделированы условия пищеварительного тракта (*in vitro*). Степень перевариваемости характеризуется скоростью атакваемости белков

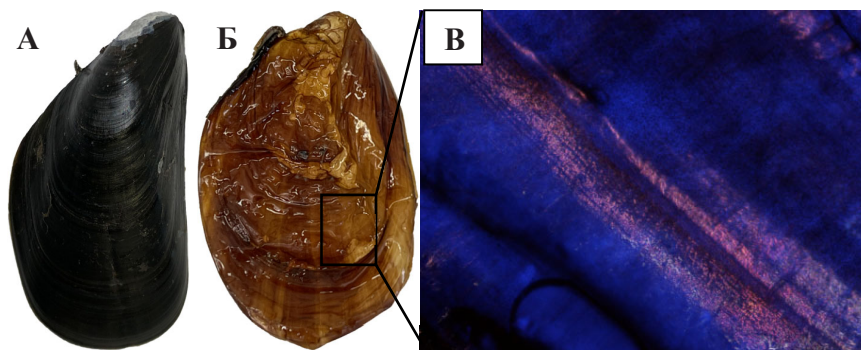
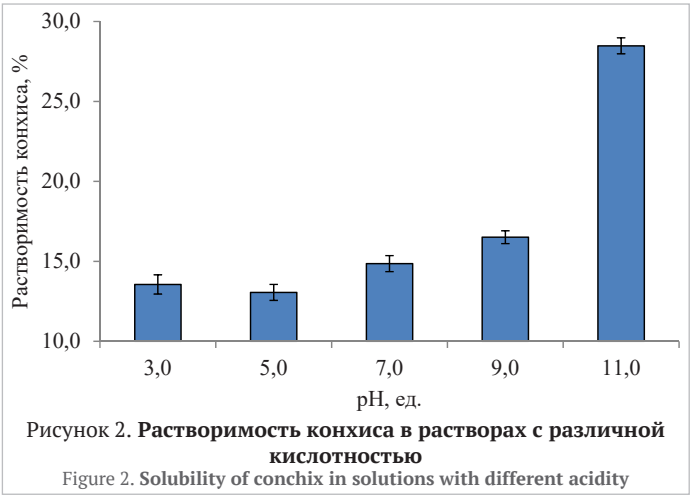


Рисунок 1. Внешний вид створки раковины мидии до (А) и после деминерализации (Б); оптическое изображение конхиса (В), окрашенного раствором кумасси, полученное с увеличением 4×

Figure 1. Appearance of mussel shell valves before (A) and after (B) demineralization; optical image of conchix (B) stained with Coomassie solution, obtained with 4× magnification

⁹ ГОСТ 15113.3–77. «Концентраты пищевые. Методы определения органолептических показателей, готовности концентратов к употреблению и оценки дисперсности суспензии». М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. — 2 с.

¹⁰ ТР ТС 021/2011 Технический регламент Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции» (с изменениями на 8 августа 2019 года), принятый Решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 года № 880.



продукта ферментами желудочно-кишечного тракта. В эксперименте с использованием пепсина конхис показал перевариваемость ниже среднего — 41,9%.

Таким образом, конхис представляет собой перспективное сырье для разработки на его основе высокобелковых продуктов и соответствующих добавок, однако при этом в естественной форме он обладает низкой растворимостью и степенью перевариваемости. Полученные результаты свидетельствуют о том, что необходимо провести гидролиз конхиса для получения растворимых пептидов с лучшей функциональностью, которые можно будет использовать в производстве продуктов питания [29,30].

Предварительными экспериментами определено, что наиболее предпочтительным является ферментативный гидролиз конхиса с использованием ферментного средства животного происхождения — панкреатина. На Рисунке 3 представлен внешний вид белкового гидролизата, полученного из конхиса с использованием панкреатина, в сравнении с исходным сырьем (створками и конхисом). Гидролизат представлял собой порошок с включениями небольших хлопьев кофейного цвета с запахом, свойственным гидролизатам, без постороннего аромата. Гидролизат в виде 1% раствора обладал вкусом, свойственным гидролизованному белку, без привкуса горечи.

Был изучен химический состав и определен выход створок раковин мидий, конхиса из створок мидий и белкового гидролизата из конхиса (Таблица 2).

В Таблице 2 видно, что створки заняли чуть больше половины от массы целой мидии, их выход составил 55,3%. Створки характеризуются высоким содержанием золы — 95,5%, которое после проведения деминерализации существенно снижается. Удаление из створок значительного количества минеральных веществ приводит к получению органической матрицы (биополимера), состоящей на 87,5% из белков, а также включающей в себя небольшое количество хитина (2,7%) и остатки минеральных веществ — золы (3,0%). Обработка (гидролиз) конхиса панкреатином позволила получить продукт, который отличается высоким содержанием легкодоступных белковых веществ (53,2%) со степенью гидролиза 17,5%. Образование хлористого натрия (28,8%) в гидролизате связано с технологическими условиями получения данного продукта: после доведения pH водной фазы до оптимальных значений для эффективной работы ферментного препарата (7,9–8,5 ед.) следует стадия нейтрализации очищенного раствора гидролизата (до pH 6,8–7,0 ед.), при которой выделяется хлорид натрия. Выход конхиса составил 4,3%, белкового

гидролизата — 33,7%. Полученный гидролизат белка представляет особую ценность для разработки обогащенных пищевых продуктов и кормовых добавок с учетом лечебно-профилактических и функциональных свойств биологически-активных пептидов, входящих в состав гидролизатов из мидий [30].

Следующий этап исследования был посвящен разработке сухих рыбных кулинарных соусов. В Таблице 3 представлены рецептуры для приготовления образцов соусов с различными дозировками белкового гидролизата из конхиса (от 3 до 12%) и без него. Гидролизат белка вводили в рецептуру продукта вместо пищевого концентрата рыбного бульона, также было скорректировано количество пищевой соли в рецептуре с учетом ее содержания в гидролизате.

Таблица 2. Химический состав и выход створок раковин мидий, конхиса из створок раковин мидий и белкового гидролизата из конхиса

Table 2. Chemical composition and yield of mussel shell valves, conchix from mussel shell valves and protein hydrolysate from conchix

Показатель	Створки раковин мидий	Конхис из створок раковин мидий	Белковый гидролизат из конхиса
Массовые доли, %:			
— воды*	менее 1	8,63±0,13	7,50±0,07
— общего азота (ОА)*	0,49±0,03	14,00±0,03	8,51±0,03
— аминного азота (АА)	—	—	1,49±0,09
— белка (ОА·6,25)*	3,08±0,18	87,53±0,20	53,19±0,16
— золы*	95,46±0,01	2,97±0,01	39,22±0,01
— хлористого натрия	—	—	28,84±0,20
— жира	менее 1	менее 1	—
— хитина*	менее 1	2,74±0,04	—
Выход, %*	55,25±2,51	4,26±0,97	33,68±1,35

Примечание: выход определен расчетным методом по формуле (1). Данные представляют собой средние арифметические значения ± стандартное отклонение от среднего арифметического значения для группы n = 3 при доверительной вероятности P>0,95. Средние значения в строках не имеют значимых различий, кроме строк со значком «*» (P<0,05).

Таблица 3. Рецептурный состав для приготовления сухих рыбных кулинарных соусов

Table 3. Recipe for making dry fish culinary sauces

Ингредиент	Количество белкового гидролизата в рецептуре соуса, %				
	0	3	6	9	12
	Дозировка ингредиентов, г/100 г продукта				
Мука пшеничная высший сорт	68,00	68,00	68,00	68,00	68,00
Пищевой концентрат рыбного бульона	12,00	10,00	8,00	6,00	4,00
Белковый гидролизат из конхиса	—	3,00	6,00	9,00	12,00
Соль пищевая экстра	8,00	7,00	6,00	5,00	4,00
Сахар-песок	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Лук-сушеный молотый	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50
Чеснок-сушеный молотый	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
Морковь-сушеная молотая	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Перец черный молотый	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
Глутамат натрия (Е621)	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Лимонная кислота пищевая (Е330)	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20

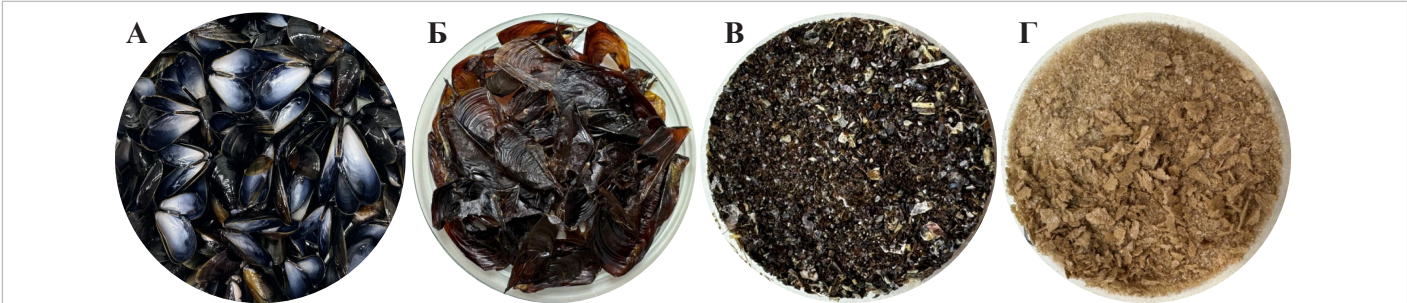


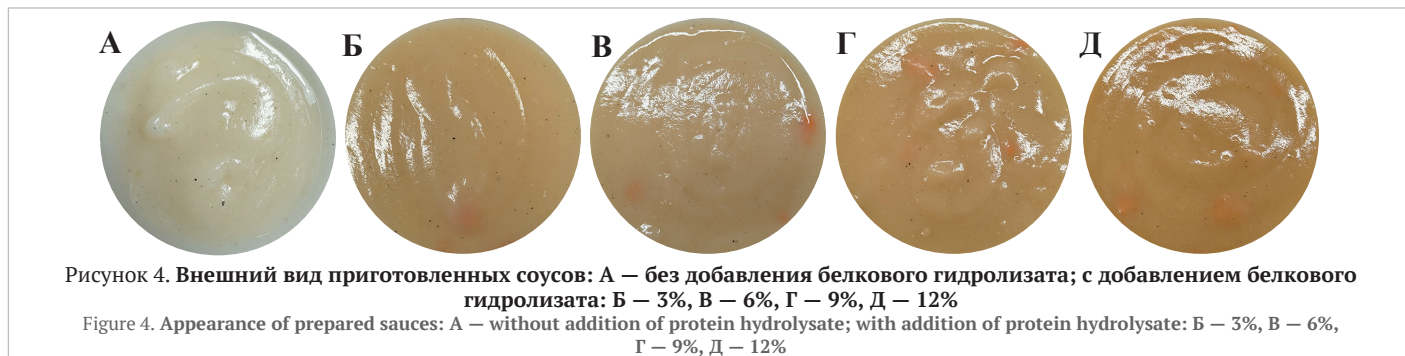
Рисунок 3. Внешний вид створок раковин мидий (А), конхиса целого (Б) и измельченного (В), белкового гидролизата из конхиса (Г)

Figure 3. Appearance of mussel shell valves (A), whole (B) and crushed (B) conchix, protein hydrolysate from conchix (Г)

Таблица 4. Химический состав сухих рыбных кулинарных соусов
Table 4. Chemical composition of dry fish culinary sauces

Показатель	Количество белкового гидролизата в рецептуре соуса, %				
	0	3	6	9	12
Массовые доли:					
— воды, %*	8,65±0,10	8,78±0,05	8,95±0,12	8,35±0,09	8,72±0,04
— белка, %*	17,59±0,12	17,97±0,15	18,21±0,18	18,71±0,20	19,01±0,16
— жира, %	0,75±0,06	0,73±0,05	0,71±0,08	0,69±0,09	0,73±0,01
— золы, %*	10,49±0,01	10,25±0,01	9,86±0,01	9,48±0,01	9,22±0,01
— углеводов, %	62,52	62,27	62,27	62,77	62,32

Примечание: массовая доля углеводов определена расчетным методом по формуле (3). Данные представляют собой средние арифметические значения ± стандартное отклонение от среднего арифметического значения для группы $n = 3$ при доверительной вероятности $P \geq 0,95$. Средние значения в строках не имеют значимых различий, кроме строк со значком «*» ($P < 0,05$).



Был изучен химический состав сухих рыбных кулинарных соусов, полученные результаты представлены в Таблице 4. Отмечено, что увеличение дозировки белкового гидролизата в рецептуре соусов приводит к небольшому увеличению массовой доли белка с 17,6% до 19,01% и к снижению массовой доли золы с 10,49% до 9,22% в продукте. Содержание воды, жира, углеводов в образцах соуса с различной дозировкой гидролизата остается на одном уровне.

Было приготовлено 5 образцов соусов по рецептурам, представленным в Таблице 3: 1 — контроль, без добавления белкового гидролизата, 2 — с введением 3% гидролизата к массе смеси, 3 — с введением 6% гидролизата, 4 — с введением 9% гидролизата, 5 — с введением 12% гидролизата. Также были проведены исследования органолептических показателей и реологических свойств готового продукта.

На Рисунке 4 представлен внешний вид приготовленных соусов. Соусы представляют собой однородную густую массу с вкраплениями овощных компонентов. С увеличением дозировки белкового гидролизата в рецептуре продукта наблюдается изменение цвета образцов соуса от светло-кремового до желто-коричневого. На цвет конечного продукта могут влиять различные факторы. Предполагается, что такие изменения цвета могут быть обусловлены тем, что в створках раковин мидии содержатся природные пигменты, относящиеся к группе каротиноидов [31], которые в результате переработки исходного сырья перешли в гидролизат.

Добавление различных концентраций белкового гидролизата в рецептуру соуса оказывает влияние как на состав готового продукта, так и на его органолептические показатели. При этом некоторые гидролизаты обладают горьким вкусом из-за наличия в их составе специфических пептидов [32]. Поэтому весьма важным требованием является изучение органолептических показателей соуса в зависимости от его состава.

Результаты органолептической оценки приготовленных соусов представлены на Рисунке 5. Определено, что дозировка гидролизата в количестве от 3% до 9% не оказывает негативного влияния на вкус и послевкусие, на запах, а также на консистенцию образцов соусов. При этом установлено прямое влияние добавления гидролизата на цвет соусов, что было отмечено дегустаторами. Несмотря на незначительное снижение некоторых органолептических показателей, отме-

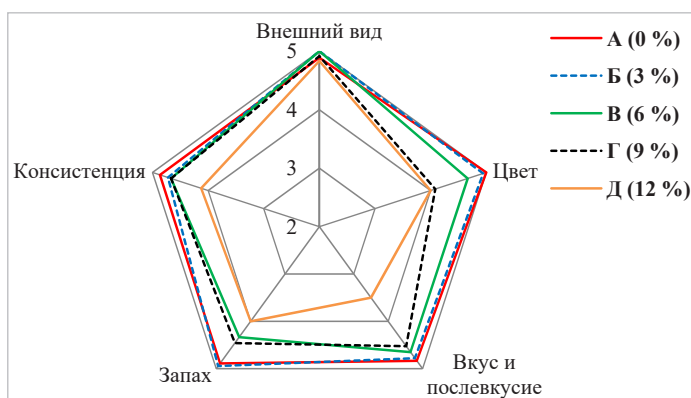


Рисунок 5. Результаты органолептической оценки приготовленных соусов: А — без добавления белкового гидролизата; с добавлением белкового гидролизата: Б — 3%, В — 6%, Г — 9%, Д — 12%

Figure 5. Results of organoleptic evaluation of prepared sauces: А — without addition of protein hydrolysate; with addition of protein hydrolysate: Б — 3%, В — 6%, Г — 9%, Д — 12%

чаются достаточно высокие значения оценок — не ниже 4,1 (82%). Самые низкие оценки получил образец с введением 12% гидролизата. Таким образом, максимально рекомендуемая дозировка гидролизата в рецептуре продукта может составлять 9%, а минимальная — 3%.

Изучение реологических свойств соусов играет важную роль в понимании того, как влияют пищевые ингредиенты, сырье и технологические параметры их обработки на структуру готового продукта и на его качественные характеристики.

На следующем этапе исследования была проведена оценка структурно-механических свойств образцов соусов с использованием текстурометра. Было установлено, что белковый гидролизат, используемый в рецептуре продукта в дозировке 3–12%, не оказывает существенного влияния на изменение структурно-механических показателей приготовленных соусов (Таблица 5). Результаты

Таблица 5. Результаты изучения структурно-механических показателей приготовленных кулинарных соусов
Table 5. Results of the study of structural and mechanical properties of prepared culinary sauces

Показатель	Количество белкового гидролизата в рецептуре соуса, %				
	0	3	6	9	12
Сжатие, Н	0,10±0,01	0,11±0,01	0,10±0,01	0,11±0,01	0,11±0,01
Липкость, Н	-0,05±0,01	-0,05±0,01	-0,06±0,01	-0,06±0,01	-0,06±0,01

Примечание: данные представляют собой средние арифметические значения ± стандартное отклонение от среднего арифметического значения для группы $n = 3$ при доверительной вероятности $P \geq 0,95$. Средние значения в строках не имеют значимых различий ($P < 0,05$).

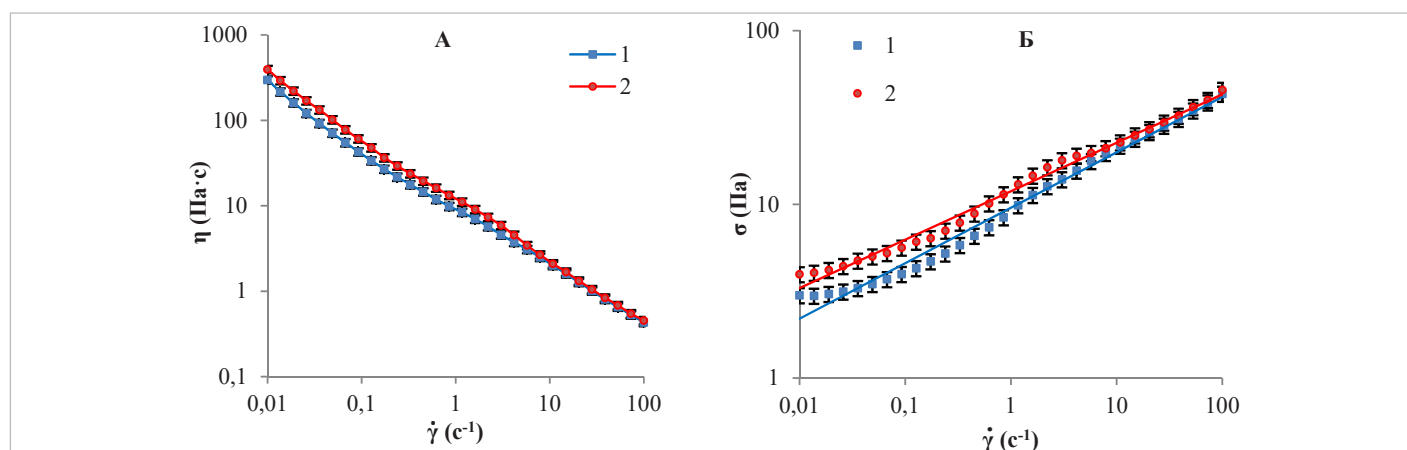


Рисунок 6. Зависимость: А — вязкости; Б — напряжения сдвига приготовленных кулинарных соусов с добавлением белкового гидролизата от скорости сдвига: 1 — соус с добавлением 3% белкового гидролизата; 2 — соус с добавлением 12% белкового гидролизата; данные Б аппроксимированы уравнением (4); $T = 20^\circ\text{C}$

Figure 6. Dependence of the viscosity (A) and yield stress (B) of prepared culinary sauces with the addition of protein hydrolysate on the shear rate: 1 — sauce with the addition of 3% protein hydrolysate; 2 — sauce with the addition of 12% protein hydrolysate; data B is fit to the equation (4); $T = 20^\circ\text{C}$

исследования показателей «сжатие» и «липкость» находились на одном уровне для всех образцов в пределах допустимой погрешности прибора. Полученные результаты можно объяснить тем, что главную роль в загущении соусов играют вещества полисахаридной природы, в особенности крахмал, находящийся в составе пшеничной муки, а также камеди [33]. В работах [34,35] было показано, что концентрация камедей оказывает значительное влияние на изменение структуры соусов (в частности, была установлена положительная корреляция между реологическими показателями и концентрацией добавленного полисахарида). Таким образом, отсутствие изменений данных показателей в настоящей работе обусловлено используемой дозировкой муки, которая в исследуемых образцах соусов остается постоянной.

Далее для изучения реологических свойств соусов на реометре были взяты два образца: 1 — с введением 3% гидролизата к массе смеси, 2 — с введением 12% гидролизата.

На Рисунке 6 приведены кривые течения в форме зависимости вязкости и напряжения сдвига приготовленных соусов от скорости сдвига. Исследованные образцы демонстрируют неньютоновское поведение, заключающееся в изменении вязкости системы при изменении скорости ее деформации, что соотносится с типичным поведением многих других соусов (майонеза [36], сладкого [37] и абрикосового соусов [38]).

Вязкость исследуемых образцов соусов возникает в связи с наличием в объеме единиц течения надмолекулярного размера — преимущественным образом агрегатов макромолекул крахмала, выполняющего функцию загустителя [39]. Поскольку вязкость соуса при росте скорости сдвига уменьшается, можно говорить о сдвиговом разжижении системы, что также наблюдалось в исследовании систем на основе крахмала и молочных белков наряду с тиксотропными свойствами [40].

В связи с определяющей ролью крахмала в системе кривые течения могут быть аппроксимированы степенной функцией (закон Оствальда-де Ваала), используемой для описания взаимосвязи напряжения и скорости сдвига крахмалсодержащих систем [41]:

$$\sigma = K \cdot \dot{\gamma}^n. \quad (4)$$

Величины индексов течения обеих систем удовлетворяют условию $n < 1$, которое выполняется для псевдопластичных жидкостей и, в частности, для других соусов с добавлением полисахаридов в качестве загустителей [42]. Неньютоновский характер течения соуса с 12% введенного гидролизата выражен более ярко. Это объясняется затрудненной ориентацией частиц крахмала в потоке при высокой концентрации белковых молекул, то есть не только увеличением концентрации твердого вещества, но и возможным образованием агрегатов, включая интерполимерные [43].

Исследовано вязкоупругое поведение образцов соусов, отражающее комбинацию как твердо-, так и жидкообразных свойств образцов соусов на основе крахмала с добавлением белкового гидролизата. Получены зависимости компонентов комплексного модуля упругости от амплитуды деформации в режиме гармонических периодических осцилляций (Рисунок 7).

Превышение величины модуля сохранения (G') над величиной модуля потерь (G'') в области малых амплитуд свидетельствует

о преимущественно твердообразном поведении образцов. В данном диапазоне значения компонентов комплексного модуля упругости не зависят от амплитуды деформации; в то же время небольшая ширина диапазона может быть вызвана несформированностью сетки устойчивых зацеплений между участками макромолекул крахмала [39]. Затем имеет место снижение значений модуля накопления. При некотором значении амплитуды деформации наблюдается пересечение амплитудных зависимостей модуля сохранения и модуля потерь. Точка пересечения модулей ($G' = G''$) представляет собой точку, в которой внутренняя структура разрушается. Это приводит к течению материала, что свидетельствует о переходе к преобладанию жидкообразных свойств. Наложение погрешностей значений обоих модулей в этой области, а также модуля потерь во всем исследованном амплитудном диапазоне указывает на то, что добавки гидролизата оказывают преимущественное влияние на твердообразность свойств образца.

Частотные зависимости динамических модулей при постоянной амплитуде деформации, выбранной в линейном вязкоупругом диапазоне, приведены на Рисунке 8.

В изучаемом диапазоне частот значения модуля сохранения выше модуля потерь, что свидетельствует о преимущественно твердообразном поведении — преобладании упругости над вязкостью в поведении образцов соусов. В то же время характерная для гелей биополимеров со стабильной внутренней трехмерной структурой область постоянства значений G' в области малых скоростей сдвига отсутствует. Такая реологическая картина наблюдается при высокой

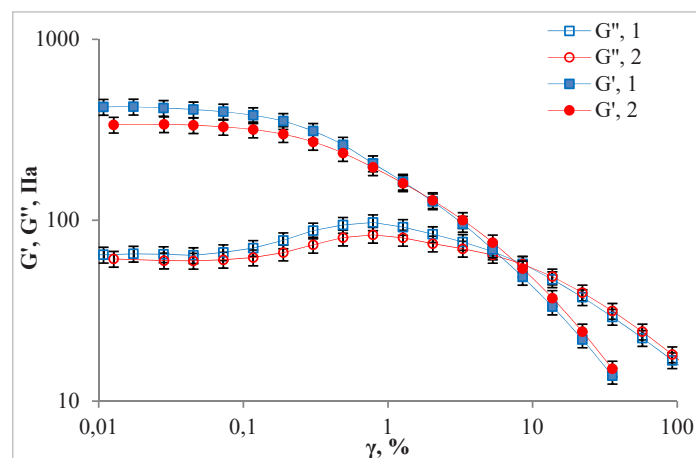


Рисунок 7. Зависимость модулей сохранения (G') и потерь (G'') от амплитуды для образцов соусов, где 1 — соус с добавлением 3% белкового гидролизата; 2 — соус с добавлением 12% белкового гидролизата; $T = 20^\circ\text{C}$, $\omega = 6,28$ рад/с

Figure 7. Dependence of the storage (G') and loss (G'') moduli on the amplitude for sauce samples, where 1 is the sauce with the addition of 3% protein hydrolysate; 2 is the sauce with the addition of 12% protein hydrolysate; $T = 20^\circ\text{C}$, $\omega = 6.28$ rad/s

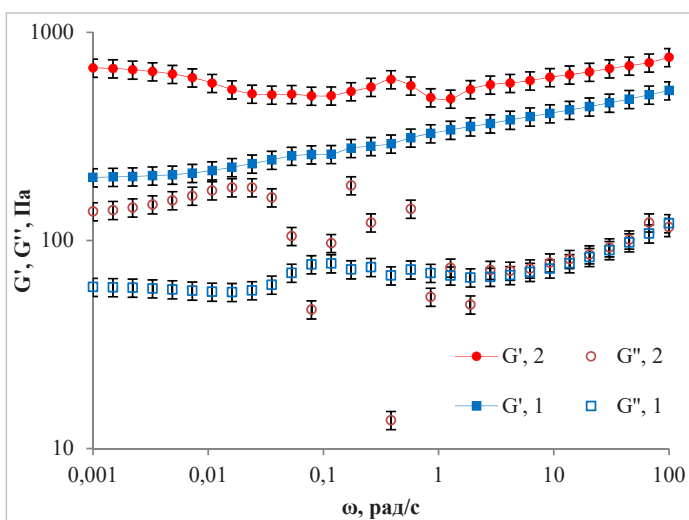


Рисунок 8. Зависимость модулей сохранения (G') и потерь (G'') от частоты для образцов соусов, где 1 — соус с добавлением 3% белкового гидролизата; 2 — соус с добавлением 12% белкового гидролизата; $T = 20^\circ\text{C}$, $\gamma = 0,05\%$
Figure 8. Dependence of the storage (G') and loss (G'') moduli on the frequency for sauce samples, where 1 is the sauce with the addition of 3% protein hydrolysate; 2 is the sauce with the addition of 12% protein hydrolysate; $T = 20^\circ\text{C}$, $\gamma = 0.05\%$

подвижности макромолекулярных цепей и динамической структуре, образованной крахмалом в составе соуса [39]. В немонотонность изменения G' в случае соуса с добавлением 12% белкового гидролизата вклад вносит возможная седиментация в условиях эксперимента крупных крахмальных и белковых агрегатов. В работе [41] подобный характер вязкоупругого поведения демонстрировали водные дисперсии крахмала, подвергавшиеся предварительной тепловой обработке. Сходные формы амплитудных и частотных зависимостей для крахмалосодержащих соусов приводятся также в [42]. Это подтверждает определяющий характер крахмала в отношении реологического поведения изученных образцов.

В то же время полученные данные свидетельствуют о влиянии вводимого гидролизата (в т. ч. его количества) на реологические характеристики соусов. Это влияние выражается в увеличении вязкости, напряжения и динамических модулей. Однако детальное описание этого процесса требует более подробного исследования

механического поведения модельных систем, т. к. взаимодействия различной природы между макромолекулами крахмала и белкового гидролизата [43] усложняют характер течения и предсказуемость их вязкоупругих характеристик [40]. При изменении содержания белкового гидролизата в соусах варьируется и содержание других компонентов — концентрата рыбного бульона и пищевой соли, что также может отражаться на реологических свойствах.

Таким образом, на основании результатов, полученных при выполнении комплексных исследований, была определена возможность получения высокобелковых ингредиентов (конхиса и гидролизата) из створок раковин мидий и использования их в технологии сухого кулинарного соуса. Данные результаты могут быть перспективны с точки зрения развития комплексных технологий переработки побочных продуктов аквакультуры в ПВДС, а также расширения ассортимента инновационных продуктов питания с заданными свойствами, что будет способствовать развитию пищевой отечественной отрасли. Применение комплексных технологий на пищевых предприятиях в сфере переработки ВБР позволит извлечь из вторичного сырья и побочных продуктов ценные питательные и биологически активные вещества, получить функциональные пищевые ингредиенты.

4. Выводы

Были получены ингредиенты с высоким содержанием белка (конхис и гидролизат) из створок раковин мидий *Mytilus edulis* L. и определена возможность их использования в технологии сухого кулинарного соуса. Конхис в связи с низкой растворимостью и плохой перевариваемостью был подвергнут ферментативному гидролизу с использованием панкреатина. Результаты экспериментов показали, что использование белкового гидролизата в технологии сухих соусов позволяет увеличить содержание белка в готовом продукте. На основании органолептической оценки установлена рекомендуемая дозировка белкового гидролизата в рецептуре продукта, которая варьируется от 3 до 9%. Дозировка 3% может использоваться для приготовления соуса, который по органолептическим показателям будет близок к традиционным рыбным соусам. Дозировка 9% подойдет для обогащения продукции ценными и легкодоступными аминокислотами и полипептидами из мидий. Определено, что дозировка гидролизата до 12% не оказывает существенного влияния на реологические свойства приготовленных соусов. Результаты данных исследований позволят расширить базу знаний о возможных способах получения и использования белковых веществ из створок раковин мидий в пищевых продуктах, что может быть полезно для развития технологий переработки побочных продуктов аквакультуры в ПВДС.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / REFERENCES

- Derkach, S. R., Kuchina, Y. A., Kolotova, D. S., Petrova, L. A., Volchenko, V. I., Glukharev, A. Y. et al. (2022). Properties of protein isolates from marine hydrobionts obtained by isoelectric solubilisation/precipitation: Influence of temperature and processing time. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(22), Article 14221. <https://doi.org/10.3390/ijms232214221>
- Wan, M., Qin, W., Lei, C., Li, Q. H., Meng, M., Fang, M. et al. (2021). Biomaterials from the sea: Future building blocks for biomedical applications. *Bioactive Materials*, 6(12), 4255–4285. <https://doi.org/10.1016/j.bioactmat.2021.04.028>
- Dave, J., Kumar, N., Upadhyay, A., Purba, D. T., Kudre, T., Nukthamna, P. et al. (2025). Sustainable fish oil extraction from catfish visceral biomass: A comparative study between high-shear homogenization and highfrequency ultrasound on wet rendering process. *Foods and Raw Materials*, 13(1), 94–106. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2025-1-627>
- Pita Rengga, W. D., Salsabill, K. A., Harianingsih, Oktavia, S. E., Ansori, M. (September 18–19, 2019). *Flavored powder from shrimp shells with bromelain enzymatic process and adding of flour and spices*. Journal of Physics: Conference Series, International Conference on Engineering, Technology and Innovative Researches, Purwokerto, Indonesia. IOP Publishing, 2019. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1367/1/012080>
- Kaushik, N., Falch, E., Slizyte, R., Kumari, A., Hjellnes, V., Sharma, A. et al. (2024). Valorization of fish processing by-products for protein hydrolysate recovery: Opportunities, challenges and regulatory issues. *Food Chemistry*, 459, Article 140244. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.140244>
- FAO. (2020). The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action. Rome. Retrieved from <https://www.fao.org/3/ca9229en/ca9229en.pdf>. Accessed 27 November 2024
- Osa, J. L., Mondragon, G., Ortega, N., Marzo, F. F., Peña-Rodríguez, C. (2022). On the friability of mussel shells as abrasive. *Journal of Cleaner Production*, 375, Article 134020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134020>
- Naik, A. S., Hayes, M. (2019). Bioprocessing of mussel by-products for value added ingredients. *Trends in Food Science and Technology*, 92, 111–121. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.08.013>
- Tokeshi, M., Ota, N., Kawai, T. (2000). A comparative study of morphometry in shell-bearing molluscs. *Journal of Zoology*, 251(1), 31–38. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.2000.tb00590.x>
- Zhang, C., Zhang, R. (2006). Matrix proteins in the outer shells of molluscs. *Marine Biotechnology*, 8, 572–586. <https://doi.org/10.1007/s10126-005-6029-6>
- Ehrlich, H., Martinović, R., Joksinić, D., Petrenko, I., Schiaparelli, S., Wysocki, M. et al. (2020). Conchixes: Organic scaffolds which resemble the size and shapes of mollusks shells, their isolation and potential multifunctional applications. *Applied Physics A*, 126, Article 562. <https://doi.org/10.1007/s00339-020-03728-7>
- Ismail, R., Fitriyana, D. F., Santosa, Y. I., Nugroho, S., Hakim, A. J., Al Mulqi, M. S. et al. (2021). The potential use of green mussel (*Perna Viridis*) shells for synthetic calcium carbonate polymorphs in biomaterials. *Journal of Crystal Growth*, 572, Article 126282. <https://doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2021.126282>
- Borciani, G., Fischetti, T., Ciapetti, G., Montesissa, M., Baldini, N., Graziani, G. (2023). Marine biological waste as a source of hydroxyapatite for bone tissue engineering applications. *Ceramics International*, 49(2), 1572–1584. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2022.10.341>
- Chi, H., Pan, X., Zhang, G. (2023). Structure and function of the periostracum in the bivalve *Perna viridis*. *Micron*, 169, Article 103458. <https://doi.org/10.1016/j.micron.2023.103458>
- Chen, B., Peng, X., Wang, J. G., Wu, X. (2004). Laminated microstructure of Bivalva shell and research of biomimetic ceramic/polymer composite. *Ceramics International*, 30(7), 2011–2014. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2003.12.169>
- Agbaje, O. B. A., Thomas, D. E., Dominguez, J. G., McInerney, B. V., Kosnik, M. A., Jacob, D. E. (2019). Biomacromolecules in bivalve shells with crossed lamellar architecture. *Journal of Materials Science*, 54(6), 4952–4969. <https://doi.org/10.1007/s10853-018-3165-8>
- Boukid, F., Rosell, C. M., Castellari, M. (2021). Pea protein ingredients: A mainstream ingredient to (re) formulate innovative foods and beverages. *Trends in Food Science and Technology*, 110, 729–742. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.040>

18. Harper, M. M., Cunningham, P. M., Hayes, J. E. (2024). Serving a dip with a salty snack promotes energy intake. *Food Quality and Preference*, 120, Article 105257. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2024.105257>
19. Wang, J., Xie, Z., Feng, Y., Huang, M., Zhao, M. (2024). Co-culture of *Zygosaccharomyces rouxii* and *Wickerhamiella versatilis* to improve soy sauce flavor and quality. *Food Control*, 155, Article 110044. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.110044>
20. Chen, C., Hou, S., Wu, C., Cao, Y., Tong, X., Chen, Y. (2023). Improving protein utilization and fermentation quality of soy sauce by adding protease. *Journal of Food Composition and Analysis*, 121, Article 105399. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2023.105399>
21. Tan, C., McClements, D. J. (2021). Application of advanced emulsion technology in the food industry: A review and critical evaluation. *Foods*, 10(4), Article 812. <https://doi.org/10.3390/foods10040812>
22. Sheir, M. A., Serrapica, F., Ahmed, R. A. (2023). An innovative use of propolis in the production of dipping sauce powder as a functional food to mitigate testicular toxicity induced by cadmium chloride: Technological and biological evidence. *Foods*, 12(16), Article 3069. <https://doi.org/10.3390/foods12163069>
23. El Haggag, E. F., Mahmoud, K. F., Ramadan, M. M., Zahran, H. A. (2023). Tomato-Free wonder sauce: A functional product with health-boosting properties. *Journal of Functional Foods*, 109, Article 105758. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2023.105758>
24. Alqahtani, N. (2020). Physico-chemical and sensorial properties of ketchup enriched with khalas date pits powder. *Scientific Journal of King Faisal University*, 21(1), 172–176. <https://doi.org/10.37575/b/agr/2030>
25. Wang, L., Wang, Z., Chen, Y., Chen, J., Pan, M., Cheong, K. L. et al. (2024). The effect of adding *Gracilaria* on flavor and quality of low-salt fermented soy sauce. *LWT*, 210, Article 116890. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.116890>
26. Derkach, S., Kravets, P., Kuchina, Y., Glukharev, A., Tyukina, O., Bordiyan, V. et al. (2023). Mineral-free biomaterials from mussel (*Mytilus edulis* L.) shells: Their isolation and physicochemical properties. *Food Bioscience*, 56, Article 103188. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103188>
27. Ozuni, E., Andoni, E., Castrica, M., Balzaretti, C. M., Brecchia, G., Agradi, S. et al. (2024). Human exposure to heavy metals and possible public health risks via consumption of mussels *M. galloprovincialis* from the Albanian sea coast. *Chemosphere*, 368, Article 143689. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.143689>
28. Gaurowitz, F. (1963). The chemistry and function of proteins. New York, Academic Press, 1963
29. Свириденко, Ю. Я., Мягконосов, Д. С., Абрамов, Д. В., Овчинникова, Е. Г. (2017). Научно-методические подходы к развитию технологии белковых гидролизатов для специального питания. Часть 1. Технология производства и технические характеристики гидролизатов. *Пищевая промышленность*, 5, 48–51. [Sviridenko, Yu. Ya., Myagkonosov, D. S., Abramov, D. V., Ovchinnikova, E. G. (2017). Theoretical and practical aspects of development technology of manufacturing protein hydrolyzates for special nutrition use. Part 1. Technology of production and technical characteristics of hydrolyzates. *Food Industry*, 5, 48–51. (In Russian)]
30. Derkach, S., Kuchina, Y., Kolotova, D., Bordiyan, V., Luneva, S., Alloyarova, Y. et al. (2024). Protein hydrolyzates from *Mytilus edulis* L. mussel: Physicochemical and antioxidant properties. *BIO Web of Conferences*, 130, Article 05006. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202413005006>
31. Бородин, А. В., Задорожный, П. А. (2020). Трансформация каротиноидов морского двусторчатого моллюска *Cerastoderma glaucum* (Bruguier, 1789) при питании культурой зеленой микроводоросли. *Журнал эволюционной биохимии и физиологии*, 56(6), 430–438. [Borodina, A. V., Zadorozhny, P. A. (2020). Transformation of carotenoids in the marine bivalve mollusk *Cerastoderma glaucum* while feeding with a culture of green microalgae. *Journal of Evolutionary Biochemistry and Physiology*, 56(6), 430–438. <https://doi.org/10.31857/S0044452920060030> (In Russian)]
32. Свириденко, Ю. Я., Мягконосов, Д. С., Абрамов, Д. В., Овчинникова, Е. Г. (2017). Научно-методические подходы к развитию технологии белковых гидролизатов для специального питания. Часть 2. Функциональные свойства белковых гидролизатов, зависящие от специфичности протеолитических процессов. *Пищевая промышленность*, 6, 50–53. [Sviridenko, Yu. Ya., Myagkonosov, D. S., Abramov, D. V., Ovchinnikova, E. G. (2017). Theoretical and practical aspects of development technology of manufacturing protein hydrolyzates for special nutrition use. Part 2. Functional properties of protein hydrolyzates that depend on the specificity of proteolytic processes. *Food Industry*, 6, 50–53. (In Russian)]
33. Román, L., Reguilón, M. P., Gómez, M. (2018). Physicochemical characteristics of sauce model systems: Influence of particle size and extruded flour source. *Journal of Food Engineering*, 219, 93–100. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.09.024>
34. Sikora, M., Kowalski, S., Tomasik, P., Sady, M. (2007). Rheological and sensory properties of dessert sauces thickened by starch — xanthan gum combinations. *Journal of Food Engineering*, 79(4), 1144–1151. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.04.003>
35. Wang, T., Zhang, M., Fang, Z., Liu, Y., Gao, Z. (2016). Rheological, textural and flavour properties of yellow mustard sauce as affected by modified starch, xanthan and guar gum. *Food and Bioprocess Technology*, 9, 849–858. <https://doi.org/10.1007/s11947-016-1673-6>
36. Бредихин, С. А., Мартыха, А. Н., Андреев, В. Н., Каверина, Ю. Е., Короткий, И. А. (2022). Исследование реологических свойств майонеза с нетрадиционным сырьем. *Техника и технология пищевых производств*, 52(4), 739–749. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2402> [Bredikhin, S. A., Martekha, A. N., Andreev, V. N., Kaverina, Yu. E., Korotkiy, I. A. (2022). Rheological Properties of Mayonnaise with Non-Traditional Ingredients. *Food Processing: Techniques and Technology*, 52(4), 739–749. (In Russian)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2402>
37. Aussanasuwannakul, A., Pondicherry, K., Saengprakai, J. (2022). Rheological and tribological characterization of herbal sweet sauce with different stabilizing systems. *CyTA — Journal of Food*, 20(1), 158–171. <https://doi.org/10.1080/19476337.2022.2107706>
38. Levent, O., Alpaslan, M. (2018). Effect of processing parameters on some physicochemical properties, sugar profile and rheological characterization of apricot sauce. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12, 1072–1083. <https://doi.org/10.1007/s11694-018-9725-6>
39. Ahmed, J., Basu, S., Chandak, A. (2023). Rheology and rheological measurements of starch. Chapter in a book: *Advances in Food Rheology and Its Applications* (Second Edition). Woodhead Publishing. 2023. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823983-4.00016-9>
40. Thebaudin, J.-Y., Lefebvre, A.-C., Doublier, J.-L. (1998). Rheology of starch pastes from starches of different origins: Applications to starch-based sauces. *LWT — Food Science and Technology*, 31(4), 354–360. <https://doi.org/10.1006/ftsl.1998.0367>
41. Xu, F., Zhang, L., Liu, W., Liu, Q., Wang, F., Zhang, H. et al. (2021). Physicochemical and structural characterization of potato starch with different degrees of gelatinization. *Foods*, 10(5), Article 1104. <https://doi.org/10.3390/foods10051104>
42. Okonkwo, V. C., Mba, O. I., Kwofie, E. M., Ngadi, M. O. (2021). Rheological properties of meat sauces as influenced by temperature. *Food and Bioprocess Technology*, 14, 2146–2160. <https://doi.org/10.1007/s11947-021-02709-9>
43. Zhang, B., Qiao, D., Zhao, S., Lin, Q., Wang, J., Xie, F. (2021). Starch-based food matrices containing protein: Recent understanding of morphology, structure, and properties. *Trends in Food Sciences and Technology*, 114, 212–231. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.05.033>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
Глухареv Андрей Юрьевич — кандидат технических наук, научный сотрудник, Научно-исследовательская лаборатория «Химия и технология морских биоресурсов», Мурманский арктический университет 183010, Мурманск, ул. Спортивная, 13 Тел.: +7-911-321-44-26 E-mail: glukharevayu@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6083-546X * автор для контактов Бордиян Влада Вадимовна — младший научный сотрудник, Научно-исследовательская лаборатория «Химия и технология морских биоресурсов», Мурманский арктический университет 183010, Мурманск, ул. Спортивная, 13 Тел.: +7-921-270-39-11 E-mail: bordiyanvv@mauniver.ru ORCID: http://orcid.org/0009-0004-5680-8882 Кузина Таисия Дмитриевна — учебный мастер, Кафедра химии, Мурманский арктический университет 183010, Мурманск, ул. Спортивная, 13 Тел.: +7-908-606-49-47 E-mail: kuzinatd@mauniver.ru ORCID: http://orcid.org/0009-0008-4060-0103	Andrei Yu. Glukharev, Candidate of Technical Sciences, Research Fellow, Laboratory of Chemistry and Technology of Marine Bioresources, Murmansk Arctic University Sportivnaya str., 13, Murmansk, 183010, Russia Tel.: +7-911-321-44-26 E-mail: glukharevayu@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6083-546X * corresponding author Vlada V. Bordiyan, Junior Researcher, Laboratory of Chemistry and Technology of Marine Bioresources, Murmansk Arctic University Sportivnaya str., 13, Murmansk, 183010, Russia Tel.: +7-921-270-39-11 E-mail: bordiyanvv@mauniver.ru ORCID: http://orcid.org/0009-0004-5680-8882 Taisiya D. Kuzina, Educational Master, Department of Chemistry, Murmansk Arctic University Sportivnaya str., 13, Murmansk, 183010, Russia Tel.: +7-908-606-49-47 E-mail: kuzinatd@mauniver.ru ORCID: http://orcid.org/0009-0008-4060-0103

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
Кучина Юлия Анатольевна — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Научно-исследовательская лаборатория «Химия и технология морских биоресурсов», Мурманский арктический университет 183010, Мурманск, ул. Спортивная, 13 Тел.: +7–911–346–73–05 E-mail: kuchinayua@mauniver.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3419-1442	Yuliya A. Kuchina , Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Chemistry and Technology of Marine Bioresources, Murmansk Arctic University Sportivnaya str., 13, Murmansk, 183010, Russia Tel.: +7–911–346–73–05 E-mail: kuchinayua@mauniver.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3419-1442
Деркач Светлана Ростиславовна — доктор химических наук, главный научный сотрудник, Научно-исследовательская лаборатория «Химия и технология морских биоресурсов», Мурманский арктический университет 183010, Мурманск, ул. Спортивная, 13 Тел.: +7–911–337–16–81 E-mail: derkachsr@mauniver.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5871-9320	Svetlana R. Derkach , Doctor of Chemical Sciences, Chief Researcher, Laboratory of Chemistry and Technology of Marine Bioresources, Murmansk Arctic University Sportivnaya str., 13, Murmansk, 183010, Russia Tel.: +7–911–337–16–81 E-mail: derkachsr@mauniver.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5871-9320
Критерии авторства	Contribution
Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат.	The author has the sole responsibility for writing the manuscript and is responsible for plagiarism.
Конфликт интересов	Conflict of interest
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.	The authors declare no conflict of interest.