

Научная статья/Research article

УДК 664.952:577.1

DOI: 10.36718/1819-4036-2025-11-206-222

Ольга Яковлевна Мезенова¹✉, Зурет Нурбиевна Хатко², Юлия Олеговна Некрасова³,
Наталья Юрьевна Романенко⁴, Асет Ибрагимовна Блягоз⁵

^{1,3,4}Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

^{2,5}Майкопский государственный технологический университет, Майкоп, Республика Адыгея, Россия

¹mezenova@klgtu.ru

²znkhatko@mail.ru

³yulya.nekrasova.1998@mail.ru

⁴natalya.romanenko@klgtu.ru

⁵aset.blyagoz@mail.ru

ОЦЕНКА ПИЩЕВЫХ И ФУНКЦИОНАЛЬНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГИДРОЛИЗАТОВ КОЛЛАГЕНА ИЗ ЧЕШУИ САРДИНЕЛЛЫ

Цель исследований – определить пищевые и функционально-технологические свойства гидролизатов рыбной чешуи для получения пищевых добавок и их использования в пищевых системах. Исследования осуществляли на чешуе сардинеллы марокканской (*Sardinella aurita*) с применением ферментативного и термического способов гидролиза. В результате гидролиза были получены водорастворимые и водонерастворимые фракции, которые высушивали и измельчали. В полученных порошках определяли органолептические показатели, химический состав, аминокислотный состав, биологическую ценность, молекулярно-фракционный состав, элементный состав, водоудерживающую, водосвязывающую и жirosвязывающую способности, эмульгирующие свойства. Содержание белковых веществ в чешуе, водорастворимых и водонерастворимых гидролизатах составило соответственно 30,3 %; 81,9–87,1; 59,8–62,5 %; минеральных веществ – соответственно 22,2 %; 5,3–6,8; 29,3–31,4 %. В водорастворимых добавках установлено наличие всех незаменимых аминокислот при показателе биологической ценности белка 59,9 %. В водонерастворимых добавках аминокислот было значительно меньше, а показатель биологической ценности белка составил 10,7 %. В нерастворимых фракциях гидролизатов содержание минеральных веществ составило 29,3–31,4 %, в наибольшем количестве обнаружены кальций, хлор, калий, сера. Водорастворимые добавки всех способов гидролиза являются концентратами низкомолекулярных активных пептидов с ММ менее 10 кДа (53,3–97,7 %). Данные гидролизаты, независимо от способа получения, обладали наилучшими функционально-технологическими показателями, обусловливающими их структурообразующие свойства. Рекомендовано водорастворимые гидролизаты применять в пищевых продуктах в качестве источника биологически активных пептидов и аминокислот коллагеновой природы в составе специализированных продуктов для спортсменов. Водонерастворимые гидролизаты целесообразно использовать в составе БАД остеотропного действия в качестве источника высокомолекулярных коллагеновых белков и минеральных веществ. Обе добавки успешно апробированы в рецептурах протеиновых батончиков и желированных продуктов, предназначенных для спортивного питания.

Ключевые слова: рыбный коллаген, чешуя, ферментативный гидролиз, термический гидролиз, активные пептиды, биологическая ценность, функционально-технологические свойства, специализированные продукты

Для цитирования: Мезенова О.Я., Хатко З.Н., Некрасова Ю.О., и др. Оценка пищевых и функционально-технологических свойств гидролизатов коллагена из чешуи сардинеллы // Вестник КрасГАУ. 2025. № 11. С. 206–222. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-11-206-222.

Olga Yakovlevna Mezenova¹✉, Zuret Nurbievna Khatko², Yulia Olegovna Nekrasova³,

Natalia Yuryevna Romanenko⁴, Aset Ibragimovna Blyagoz⁵

^{1,3,4}Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

^{2,5}Maykop State Technological University, Maykop, Republic of Adygea, Russia

¹mezenova@kltu.ru

²znkhatko@mail.ru

³yulya.nekrasova.1998@mail.ru

⁴natalya.romanenko@kltu.ru

⁵aset.blyagoz@mail.ru

EVALUATION OF FOOD AND FUNCTIONAL-TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF COLLAGEN HYDROLYSATES FROM SARDINELLA SCALES

*The aim of research is to determine the nutritional and functional-technological properties of fish scale hydrolysates for the production of food additives and their use in food systems. The studies were carried out on the scales of Moroccan sardinella (*Sardinella aurita*) using enzymatic and thermal hydrolysis methods. As a result of hydrolysis, water-soluble and water-insoluble fractions were obtained, which were dried and ground. The organoleptic properties, chemical composition, amino acid composition, biological value, molecular-fractional composition, elemental composition, water-holding, water-binding and fat-binding capacities, emulsifying properties were determined in the obtained powders. The content of protein substances in the scales, water-soluble and water-insoluble hydrolysates was 30.3%; 81.9–87.1%; 59.8–62.5%, respectively; mineral substances – 22.2%; 5.3–6.8%; 29.3–31.4%. Water-soluble supplements were found to contain all essential amino acids, with a protein biological value of 59.9%. Water-insoluble supplements contained significantly fewer amino acids, with a protein biological value of 10.7%. The mineral content of the insoluble fractions of hydrolysates ranged from 29.3–31.4%, with calcium, chlorine, potassium, and sulfur being the most abundant. Water-soluble additives produced by all hydrolysis methods are concentrates of low-molecular-weight active peptides with an MM of less than 10 kDa (53.3–97.7%). These hydrolysates, regardless of the production method, exhibited the best functional and technological properties, which determine their structure-forming properties. Water-soluble hydrolysates are recommended for use in food products as a source of biologically active peptides and collagen-based amino acids in specialized products for athletes. Water-insoluble hydrolysates are suitable for use in osteotropic dietary supplements as a source of high-molecular-weight collagen proteins and minerals. Both additives have been successfully tested in the formulations of protein bars and gelatinized products intended for sports nutrition.*

Keywords: fish collagen, scales, enzymatic hydrolysis, thermal hydrolysis, active peptides, biological value, functional and technological properties, specialized products

For citation: Mezenova OYa, Khatko ZN, Nekrasova YuO, et al. Evaluation of food and functional-technological properties of collagen hydrolysates from sardinella scales. *Bulletin of KSAU*. 2025;(11):206–222. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2025-11-206-222.

Введение. Коллаген, получаемый из вторичного животного сырья (кожа, кости, перья, хрящи, чешуя животных и рыб), широко применяется в пищевой, кормовой, косметической, фармацевтической и других областях промышленности [1–5]. Его достоинством являются питательные и функционально-технологические свойства, обусловленные белками специфического аминокислотного состава, которые используются при синтезе и регенерации структурных тканей. Установлена физиологическая роль аминокислот коллагена в дифференциации и

пролиферации клеток, что предопределило профилактическую роль диет, богатых коллагеновыми гидролизатами [6–8]. Коллагеновые добавки используются в питании для повышения эффективности лечения остеопороза, артрита, артоза, заболеваний кожи и костей [9–11]. Коллаген применяется в качестве полимерной основы для получения биодеградируемых пленок и дисперсий, используемых при ожогах и наружных повреждениях кожи, в качестве сорбента, в составе пищевых упаковок, как средство

профилактики и лечения заболеваний желудочно-кишечного тракта [12–15].

Популярными пищевыми добавками со структурообразующими свойствами являются гидролизаты коллагена – желатин и его композиции, получаемые традиционно из покровных и опорных тканей животных методами химического гидролиза. Однако из-за ситуации с распространением африканской чумы свиней, губчатой энцефалопатии и ящура крупного рогатого скота традиционный желатин и добавки на его основе вызывают опасение у потребителей [16]. Имеются сведения о биологической пассивности коллагена, получаемого из тканей крупного рогатого скота, который отторгался организмом человека и/или вызывал аллергические реакции [16, 17].

Все большей привлекательностью обладают добавки рыбного коллагена (ихтиохелатина), получаемого путем гидролиза коллагенсодержащих рыбных тканей. В связи с появлением данных о его физиологической активности исследованием рыбных коллагеновых субстанций (коллагена, желатина, глютина, коллагеновых дисперсий и др.) сегодня занимаются многие научные школы. Рыбный коллаген и продукты на его основе получают из чешуи, кожи и плавательных пузырей частиковых и прудовых видов рыб [17, 18], чешуи и кожи рыб океанического и прибрежного морского лова [19, 20]. На основе рыбного коллагенсодержащего сырья разработаны технологии пищевых добавок, предназначенные для использования в качестве стабилизаторов и обогащающего компонента в составе напитков [11], эмульгированных мясных и кондитерских изделий, реструктурированных продуктов и панировочных смесей [1, 5, 21–25], пищевых пленок [15, 18, 26], хлебобулочных и других пищевых изделий [13, 27].

Особыми свойствами обладают глубокие гидролизаты коллагена, которые содержат низкомолекулярные пептиды – фрагменты из нескольких аминокислот низкой молекулярной массы (до 50 кДа), проявляющие физиологическую активность [28–30]. Их получают различными способами деструкции натурального коллагена (ферментативный, химический, термический) или комбинацией данных вариантов [31–33]. Короткие пептиды при попадании в организм комплементарно взаимодействуют с участками генов в тех тканях, из которых они были выделены, восстанавливают их функциональность, улучшают метаболизм и функции организма

[34]. Пептиды коллагенсодержащего рыбного сырья содержат уникальную повторяющуюся последовательность аминокислот «глицин-пролин-аланин», обладающую фармакологической активностью [28, 35]. Установлено, что ферментативно-гидролизованный коллаген рыбной кожи обладает более высокой антиоксидантной и антигипертензивной активностью по сравнению с пептидами мышечной ткани рыб. Коллагеновые добавки дают организму такие важные аминокислоты, как глицин, пролин, аланин, глутамин, необходимые для поддержания нейрогуморальной функции, работы иммунной системы, активации мышц [36, 37].

Богатейшим источником коллагена морского происхождения является чешуя рыб, доля которой может составлять до 90 % от массы неиспользуемых рыбных отходов [2, 4, 19, 21, 24]. Ихиоколлаген и его гидролизаты получают, как правило, кислотным или ферментативным гидролизом, аналогично технологии животного коллагена и продукта его деструкции – желатина [21, 38]. Применение термообработанной и мелко диспергированной чешуи в качестве пищевой добавки обосновано в составе продуктов геродиетического питания [39]. Добавки на основе биомодифицированной чешуи используются также в специализированном питании спортсменов, поскольку они является источником не только коллагеновых аминокислот и биоактивных пептидов, но и ценных минеральных веществ (кальция, фосфора, серы и др.), необходимых опорно-двигательному аппарату [40–44]. В рыбоконсервной промышленности проблемными отходами является чешуя сардины и сардинеллы, остающаяся при выработке консервов «Сардины в масле». Чешуя предварительно удаляется с поверхности рыбы на специальных чешуесъемных аппаратах, скапливается в значимых объемах и практически не используется. Из-за повышенной жесткости, обусловленной высокой минерализацией, чешуя сардинеллы, в отличие от других рыбных отходов, не направляется на выработку кормовых продуктов, так как может повреждать желудочно-кишечный тракт животных. Данное сырье представляет интерес в качестве перспективного источника ценного рыбного коллагена и его гидролизатов.

Для получения коллагеновых гидролизатов из рыбной чешуи в настоящее время используются кислотный гидролиз или ферментативный способ, основанный на применении протео-

литических ферментов. Кислотный гидролиз требует применения концентрированных кислот и последующей очистки от продуктов реакции, что не отвечает современным требованиям экологичности процесса. Перспективным является ферментативный гидролиз коллагеновых тканей, эффективность которого зависит от специфичности фермента и условий ферментации [32, 37]. Рациональным и экологически чистым способом получения гидролизатов рыбного коллагена представляется термический способ гидролиза чешуи, основанный на высокотемпературной деструкции коллагеновых белков под давлением. Полученные при этом различные фракции гидролиза, включая водорастворимую (низкомолекулярные гидролизаты) и нерастворимую осадочную (высокомолекулярную), а также жировую фракцию, являются термически стерильными и могут быть использованы в качестве пищевых, кормовых и фармацевтических добавок [37, 45].

При обосновании использования гидролизатов рыбного коллагена в технологиях пищевых продуктов необходимо знать их потенциал, основанный на химическом составе и функционально-технологических свойствах. Одними из основных функционально-технологических свойств белковых добавок, применяемых в пищевой промышленности, являются водоудерживающая и водосвязывающая способность (ВУС и ВСС), жirosвязывающая способность (ЖСС), эмульгирующая способность (ЭС) и стойкость эмульсии (СЭ), обусловленные в основном их аминокислотным составом, молекулярной массой и наличием примесей [45, 46].

Цель исследований – оценка пищевых и функционально-технологических свойств гидролизатов коллагена, полученных из чешуи сардинеллы различными способами.

Задачи: получить водорастворимые и водонерастворимые гидролизаты чешуи сардинеллы термическим и ферментативным способами и оценить их органолептические свойства; определить аминокислотный состав гидролизатов и их биологическую ценность, элементный состав; оценить молекулярно-фракционный состав водорастворимых гидролизатов, их потенциальную физиологическую активность и усвояемость; исследовать эмульгирующую, водоудерживающую, водосвязывающую и жirosвязывающую способности гидролизатов; обосновать

применение гидролизатов рыбного коллагена в пищевых системах.

Объекты и методы. В работе использовали чешую сардинеллы марокканской (*Sardinella aurita*), полученную на рыбоконсервном комплексе ОАО «РосКон» (г. Пионерский, Калининградская область).

В сырье, полупродуктах, готовой продукции определяли показатели качества стандартными и общепринятыми методами. Согласно методикам ГОСТ 7636-85 анализировали массовые доли воды, белка, жира, минеральных веществ.

Гидролизаты коллагена чешуи получали двумя способами – высокотемпературным и ферментативным. При высокотемпературном гидролизе чешую измельчали, смешивали с водой при соотношении 1 : 1, загружали в термопресс и обрабатывали при 130 °С в течение 60 мин под давлением в рубашке оборудования 0,15 МПа. Гидролизованную суспензию разделяли центрифугированием на три фракции – водорастворимую (пептидно-протеиновую), которую обезвоживали сублимационной сушкой, и водонерастворимую (осадочную, белково-минеральную), которую высушивали конвекционно. Дополнительной фракцией гидролиза являлась жировая, которую направляли на другие цели.

При ферментативном способе получения гидролизатов чешуи использовали ферментный препарат Alcalase® 2,5 L (Novozymes, Дания, активность 2,5 AU/г).

Аминокислотный (АК) состав белков оценивали методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с УФ-детектированием (ВЭЖХ/УФ-ФД) на приборе AT1200 Series Infinity DAD-1260 FLD.

Биологическую ценность (БЦ) белков определяли по сбалансированности аминокислот расчетным методом через оценку скоров незаменимых аминокислот и показателей на их основе [2, 4, 12].

Элементный состав продуктов изучали рентгенофлуоресцентным анализом по МВИ МН 3272-2009 на приборе ElvX СЕР-01 (ГГУ им. Янки Купалы, Белоруссия).

Влагосвязывающую способность (ВСС) и влагоудерживающую способность (ВУС) сухих протеиновых гидролизатов определяли при предварительном смешивании их с водой при соотношении 1 : 15 с последующим центрифугированием смеси при скорости 3000 об/мин и определением массовой доли осадка (ВСС) и

содержания в нем воды, связанной порошком непосредственно после смешивания (ВСС) или после выдержки смеси до центрифугирования в течение 2 ч (ВУС).

Жироудерживающую способность (ЖУС) оценивали по количеству удерживаемого растительного масла, остающегося после центрифугирования при 1500 об/мин.

Эмульгирующую способность гидролизатов определяли по количеству эмульсии, которую они образуют при смешивании с растительным маслом, оценивая устойчивость эмульсии визуально после выдержки при комнатной тем-

пературе на 24 ч и после центрифугирования при 2700 об/мин.

Молекулярную массу образующихся при гидролизе пептидов определяли методом ВЭЖХ/Phenomenex (Yarra 3uSEC-200) при идентификации молекулярной массы (ММ) на приборе UV-Detektor при 214 нм и pH 6,8 в биоцентре ANiMOX.

Результаты и их обсуждение. Общий химический состав чешуи сардинеллы (коллаген-содержащего рыбного сырья) и ее гидролизатов, полученных термическим и ферментативным способами, приведен в таблице 1.

Таблица 1

Химический состав чешуи сардинеллы и гидролизатов, полученных из нее термическим и ферментативным способами, %
Chemical composition of sardinella scales and hydrolysates obtained from them by thermal and enzymatic methods, %

Образец и способ гидролиза чешуи	Вода	Протеиновая составляющая	Минеральные вещества	Жир
Чешуя сардинеллы марокканской (<i>Sardinella aurita</i>)	<u>37,3-47,2</u> 42,3	<u>28,4-32,2</u> 30,3	<u>19,5-24,8</u> 22,2	<u>2,5-7,8</u> 5,2
Гидролизат водорастворимый, термический способ	<u>7,3-8,5</u> (7,9)	<u>79,3-84,6</u> (81,9)	<u>4,7-8,8</u> (6,8)	<u>1,6-1,8</u> (3,4)
Гидролизат водонерастворимый, термический способ	<u>5,9-6,9</u> 6,4	<u>59,4 -65,6</u> 62,5	<u>27,1-31,4</u> 29,3	<u>1,5-2,1</u> 1,8
Гидролизат водорастворимый, ферментативный способ	<u>4,5-7,9</u> (6,2)	<u>85,1-89,1</u> (87,1)	<u>3,4 – 7,2</u> (5,3)	<u>1,3 -1,6</u> (1,4)
Гидролизат водонерастворимый, ферментативный способ	<u>5,4-6,3</u> 5,9	<u>57,5-62,1</u> 59,8	<u>29,9-32,9</u> 31,4	<u>1,8-2,2</u> 2,0

Примечание: в числителе – диапазон колебаний численных значений, в знаменателе – средневзвешенное значение.

Из таблицы 1 следует, что водорастворимые гидролизаты чешуи сардинеллы, независимо от способа получения, содержат повышенное количество протеина (81,9–87,1 %). При этом в качестве сопутствующих веществ в них присутствуют в относительно малых количествах минеральные вещества (5,3–6,8 %) и жир (1,4–3,4 %). В водонерастворимых гидролизатах также отмечено высокое содержание протеиновых веществ, не подвергшихся гидролизу (59,8–62,5 %), при высоком количестве минеральных веществ (29,3–31,4 %) и незначительном содержании жира (1,8–2,0 %). Следует отметить, что при ферментативном способе образуются

водорастворимые гидролизаты с более высоким содержанием протеиновых компонентов при меньших примесях, чем при термическом высокотемпературном гидролизе. Оба способа позволяют получить четыре композиции с достаточно высоким содержанием протеиновых веществ (более 59,8–87,1 %), что значительно выше, чем в сырьевом источнике – чешуе сардинеллы (30,3 %).

Важной характеристикой белковых пищевых добавок является их аминокислотный состав. Сравнительные данные по аминокислотному составу чешуи сардинеллы и ее гидролизатов представлены в таблице 2.

Таблица 2

Аминокислотный состав чешуи, водорастворимого и водонерастворимого гидролизатов чешуи сардинеллы, полученных ферментативным (Ф) и термическим (Т) способами гидролиза
Amino acid composition of scales, water-soluble and water-insoluble hydrolysates of sardinella scales obtained by enzymatic (Ф) and thermal (Т) hydrolysis methods

Аминокислоты	Чешуя сардинеллы, г/100 г белка (%)	Водорастворимый гидролизат (Ф/Т), г/100 г гидролизата (%)	Водонерастворимый гидролизат (Ф/Т), г/100 г гидролизата (%)
<i>Незаменимые аминокислоты</i>			
Изолейцин	1,0	5,07/3,49	0,22/0,23
Лейцин	2,7	11,68/6,06	1,38/1,13
Валин	1,5	7,68/4,25	0,46/0,27
Метионин + цистин	2,2 + 2,2	5,41/2,66	0,31/0,25
Фенилаланин + тирозин	1,1	6,81/2,97	0,73/0,64
Триптофан	4,0	0,98/0,12	0,31/0,12
Лизин	2,1	9,89/7,14	1,17/0,98
Тreonин	16,8	5,13/3,49	0,97/1,13
Сумма		52,65/31,18	5,55/4,75
<i>Заменимые аминокислоты</i>			
Аланин	11,2	9,99/5,59	1,04/1,34
Аргинин	7,9	8,75/5,39	2,06/3,16
Аспарагин	0,1	1,38/0,45	0,29/0,43
Аспарагиновая кислота	4,9	2,5/7,38	0,96/1,17
Глутамин	0,8	1,17/0,12	0,14/0,26
Глутаминовая кислота	8,5	6,2/12,00	0,52/0,23
Глицин	19,7	7,16/6,25	0,75/0,88
Гистидин	10,7	3,9/1,97	0,94/1,08
Гидроксипролин	1,49	0,48/1,21	—/—
Орнитин	11,7	3,56/0,18	0,16/1,23
Пролин	2,9	2,75/4,20	0,21/0,16
Серин	1,49	4,41/2,77	1,14/2,38
Таурин	0,6	1,64/0,13	0,33/0,25
Тирозин	0,23	3,68/1,12	0,62/1,01

Из таблицы 2 следует, что чешуя содержит все незаменимые и заменимые аминокислоты, в наибольшем количестве глицин (19,7 %), аланин (11,2 %), гистидин (10,7 %), орнитин (11,7 %). При гидролизе происходит не только распад белков чешуи на отдельные аминокислоты, но существенно изменяется их качество, возрастает относительное количество незаменимых аминокислот, переходящих в основном в водорастворимую фракцию. Такой процесс можно объяснить биотрансформацией аминокислот, которая имеет место в белках в результате различных реакций. В исследуемом процессе ферментативный способ обеспечил наиболее эффективное накопление незаменимых аминокислот в добавках относительно термического гидролиза (суммы содер-

жания незаменимых АК составили соответственно 52,65 и 31,18 %). В данных гидролизатах особенно много оказалось таких ценных незаменимых аминокислот, как лизин (9,89/7,14), лейцин (11,68/6,06), серосодержащих АК метионин + цистин (5,41/2,66), валин (7,68/4,25), треонин (5,13/3,49). Среди заменимых аминокислот повышенным содержанием отличались аланин, аргинин, глицин, пролин, свидетельствующие о коллагеновом происхождении из рыбного сырья. Данные аминокислоты особенно важны для формирования и поддержки опорно-двигательного аппарата человека [8, 17]. Водонерастворимая добавка содержала значительно меньше незаменимых аминокислот, независимо от способа гидролиза (суммы соответственно при Ф- и

Т-способах гидролиза составили 5,55 и 4,75 %). В данных гидролизатах в относительно повышенных количествах обнаружены такие заменимые аминокислоты, как аланин, аргинин, серин, аспарагиновая кислота, глицин, гистидин. Однако низкие количественные показатели по содержанию незаменимых аминокислот снижают биологическую ценность белка данных добавок.

Показатели биологической ценности водорастворимого и водонерастворимого гидролизатов ферментативного способа гидролиза чешуи сардинеллы, рассчитанные по аминокислотному скору (АКС) относительно «идеального» белка (ФАО/ВОЗ), представлены в таблице 3.

Таблица 3

Показатели биологической ценности гидролизатов коллагена чешуи
Indicators of biological value of collagen hydrolysates of scales

Незаменимые аминокислоты (АК)	Содержание АК в белке «эталона» ФАО/ВОЗ, г/100 г	Водорастворимый гидролизат (ферментативный способ)		Водонерастворимый гидролизат (ферментативный способ)	
		Аминокислота (АК), г/100 г	Аминокислотный скор (АКС), %	АК в исследуемом белке, г/100 г	Аминокислотный скор (АКС), %
Изолейцин	2,8	5,07	181,07	0,22	7,85
Лейцин	6,3	11,68	185,40	1,38	21,90
Лизин	4,8	9,89	206,04	1,17	24,38
Метионин + цистин	2,3	5,41	235,41	0,31	13,48
Фенилаланин + тирозин	4,1	6,81	166,10	0,73	17,80
Тreonин	2,5	5,18	207,2	0,97	38,8
Триптофан	0,6	0,98	163,33	0,31	51,67
Валин	4,0	7,68	192,0	0,46	11,5
Коэффициент различия аминокислотного скора (КРАС), %		40,1		89,3	
Биологическая ценность (БЦ), %		59,9		10,7	

Из таблицы 3 следует, что водорастворимые гидролизаты благодаря своему ценному аминокислотному составу обладают достаточно высоким показателем биологической ценности (59,9 %), что значительно превосходит значение БЦ для водонерастворимого гидролизата (10,7 %). Аминокислотная эффективность водорастворимого гидролизата подтверждается вы-

сокими значениями аминокислотных скоров всех незаменимых аминокислот (166,1–235,41 %), что характеризует их в качестве эффективного источника данных аминокислот.

Оба гидролизата, независимо от способа гидролиза чешуи, содержали достаточно много макро- и микроэлементов, о чем свидетельствуют результаты их элементного анализа (табл. 4).

Таблица 4

Элементный состав чешуи сардинеллы и гидролизатов, полученных из нее термическим (Т) и ферментативным (Ф) способами
Elemental composition of sardinella scales and hydrolysates obtained from them by thermal (T) and enzymatic (Φ) methods

Элемент	Концентрация микроэлементов в чешуи сардинеллы и ее гидролизатах, мкг/г					
	Чешуя сардинеллы	Водорастворимый гидролизат		Водонерастворимый гидролизат		
		Т	Ф	Т	Ф	
1	2	3	4	5	6	
Bi	0,2	0,3	0,4	0,8	1,2	
Br	5,7	110,9	20,8	3,8	21,2	
Ca	49371,8	323,7	1169,8	203936,4	341844,5	
Cd	0,5	0,3	0,2	1,9	3,2	

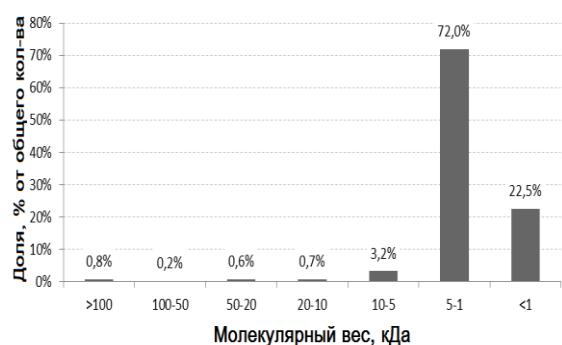
Окончание табл. 4

1	2	3	4	5	6
Cl	1258,2	2022,7	999,5	4702,6	7869,8
Co	0,2	0,5	0,7	0,8	1,0
Cr	1,3	3,5	3,1	4,3	6,0
Cu	1,5	0,9	4,4	6,0	6,7
Fe	15,0	25,3	43,4	55,6	66,2
Hg	1,5	0,7	0,6	5,9	9,7
K	147,8	15123,0	647,8	239,2	463,9
Mn	2,8	1,0	0,9	11,3	18,6
Mo	1,0	1,5	1,1	3,7	6,0
Ni	1,32	0,8	1,5	5,3	7,9
Pb	1,7	2,1	3,5	6,4	8,7
Rb	5,8	3,6	0,7	23,2	39,9
S	3197,2	4109,0	3087,4	12203,1	19523,0
Sb	0,1	0,5	0,4	0,4	0,7
Se	0,1	0,2	0,3	0,4	0,03
Sn	0,5	0,4	1,0	2,0	0,9
Sr	71,5	2,2	4,6	295,0	492,7
Zn	45,0	4,7	14,1	184,8	300,3
Zr	5,9	0,5	0,1	24,2	40,7
Σ	54136,5	8128,1	6006,0	221717,3	370732,5

Из таблицы 4 следует, что в самой чешуе и ее гидролизатах преобладающими являются кальций, хлор, калий, сера, при этом в водонерастворимых гидролизатах, прежде всего ферментативного способа гидролиза, значительно больше практически всех микроэлементов. Соответствующие суммы содержания микроэлементов соответственно в чешуе, водорастворимых гидролизатах (Т и Ф) составляют, мг/г: 54,1; 8,1 и 6,0; в водонерастворимых гидролизатах (Т и Ф), мг/г: 221,7 и 370,7. Это означает, что ферментативный способ гидролиза позволяет наиболее эффективно переводить в осадок ми-

неральные вещества чешуи, а ее водонерастворимые гидролизаты являются концентратом ценных макро- и микроэлементов.

При анализе молекулярной массы полученных гидролизатов из чешуи сардинеллы (рис.) было показано, что при ферментативном и термическом способах гидролиза образуется соответственно 97,7 и 53,3 % низкомолекулярных пептидов с молекулярной массой (ММ) менее 10 кДа, которые, как известно, проявляют наибольшую физиологическую активность в организме [34, 36].



а



б

Фракционно-молекулярный состав протеиновых гидролизатов чешуи сардинеллы, полученных ферментативным способом (а) и термическим способом (б)
Fractional-molecular composition of protein hydrolysates of sardinella scales obtained by the enzymatic method (a) and by the thermal method (b)

Полученные данные аминокислотного и фракционно-молекулярного состава означают, что водорастворимая добавка потенциально является эффективным источником не только незаменимых аминокислот, участвующих в пластических и энергетических процессах организма, но и обладает физиологической активностью (иммунной, антиоксидантной, антисептической, антикоагулянтной, антистрессовой, гипохолестеринемической, гипотензивными и др.), что подтверждают многочисленные литературные данные [28–30, 34–36]. Это позволяет рекомендовать ее употребление в диетотерапии при профилактике соответствующих заболеваний. Можно также сделать вывод о высокой усвояемости данной добавки, поскольку всасываемость низкомолеку-

лярных «осколков» белка при попадании в желудочно-кишечный тракт происходит намного эффективнее, чем нативного белка.

При органолептическом анализе было установлено, что все образцы гидролизованной чешуи представляют собой мелкодисперсный сыпучий материал песочного цвета с различными тонами (табл. 5). Запах и вкус –ственные данные продуктам, со слабыми специфическими оттенками, характерными для сушены рыбы, и незначительной горечью, характерной для низкомолекулярных пептидов. Наилучшие органолептические свойства были установлены в водорастворимых гидролизатах ферментативного способа, которые практически не имели рыбных оттенков во вкусе и запахе.

Таблица 5

Органолептические характеристики сухих гидролизатов коллагена чешуи сардинеллы
Organoleptic characteristics of dry hydrolysates of sardinella scale collagen

Показатель	Характеристика	
	Водорастворимый гидролизат	Водонерастворимый гидролизат
Внешний вид	Мелкодисперсный однородный порошок	
Цвет	Песочный с различными светло-коричневыми оттенками	Молочный со светло-коричневыми оттенками
Запах	Специфический, характерный для данного продукта, со слабыми оттенками запаха сушены рыбы, без порочащих запахов	Специфический, характерный для данного продукта, со слабыми оттенками запаха подвяленной рыбы, без посторонних запахов
Вкус	Специфический, характерный для данного продукта, со слабыми привкусами горечи и сушены рыбы, без порочащих привкусов	Специфический, со слабыми привкусами подвяленной рыбы и едва заметной горечи, без порочащих привкусов
Консистенция	Нежная, рассыпчатая, легко смачивающаяся и растворяющаяся	Рассыпчатая, смачивающаяся, без посторонних примесей

С учетом органолептических показателей и химического состава, аминокислотной сбалансированности и биологической ценности протеиновых компонентов водорастворимые добавки были рекомендованы к использованию в качестве белкового компонента в специализированных протеиновых продуктах питания (диетических, спортивных и др.), а также в составе поликомпонентных БАД – источников физиологически активных пептидов. Водонерастворимые гидролизаты были рекомендованы в качестве обогащающих добавок для введения в рецептуры функциональных продуктов, как источники высокомолекулярных белковых «пищевых

волокон» (нерасторимых протеинов), а также ценных минеральных веществ (кальций, калий, хлор, сера), востребованных организмом.

Для разработки рецептур и технологий новых продуктов с включением гидролизатов коллагена чешуи необходимо принимать во внимание их функционально-технологические свойства, которые влияют на структурные и другие характеристики пищевых систем.

Данные по оценке водоудерживающей (ВУС), водосвязывающей (ВСС) и жироудерживающей (ЖУС) способностей порошкообразных гидролизатов чешуи представлены в таблице 6.

Таблица 6

Водоудерживающая, водосвязывающая и жirosвязывающая способности гидролизатов чешуи, полученных различными способами гидролиза
Water-holding, water-binding and fat-binding capacities of scale hydrolysates obtained by various hydrolysis methods

Образец гидролизатов	Способ гидролиза	ВУС, %	ВСС, г воды / г гидролизата	ЖУС, г масла/г гидролизата
Водорастворимый	Ферментативный	33,3	0,97	197,3
	Термический	33,3	0,98	118,2
Водонерастворимый	Ферментативный	65,3	0,83	81,1
	Термический	66,6	0,89	82,3

Данные таблицы 6 показывают, что водорастворимые гидролизаты, независимо от способа получения, обладают высокими функционально-технологическими показателями по водоудерживающей, водосвязывающей и жirosвязывающей способностям.

Анализ данных по функционально-технологическим свойствам гидролизатов (см. табл. 6) показывает, что все полученные гидролизаты коллагена обладают достаточно высокими структурообразующими способностями, характерными для чистых белковых препаратов и даже превосходящих их по некоторым частным характеристикам, например по эмульгирующей способности.

При этом установлены следующие особенности. Водорастворимые гидролизаты рыбного коллагена являются более эффективными водо- и жироудерживающими агентами, чем получаемая при гидролизе водонерастворимая коллагеновая фракция. Несмотря на данный факт, все полученные сухие препараты обладают высокой водосвязывающей (от 0,83 до 0,98 г/г) и жироудерживающей способностью (81,1–197,3 г/г).

В таблице 7 приведены показатели эмульгирующей способности и эмульгирующей стабильности гидролизатов коллагена чешуи сардинеллы.

Таблица 7

Результаты оценки эмульгирующей способности гидролизатов коллагена, полученных из чешуи сардинеллы различными способами
Results of evaluation of emulsifying capacity of collagen hydrolysates obtained from sardinella scales by different methods

Способ гидролиза	Объем эмульсии, мл	Эмульгирующая способность, %	Стабильность эмульсии, %
Водорастворимые гидролизаты			
Термический	110	220	100
Ферментативный	100	200	100
Водонерастворимые гидролизаты			
Термический	106	212	Эмульсия стабильна при отстаивании, но разделяется при центрифугировании
Ферментативный	115	230	Эмульсия разделилась при отстаивании и центрифугировании

Результаты таблицы 7 показывают, что термический способ гидролиза позволяет получать из чешуи сухие водорастворимые гидролизаты с высокой эмульгирующей способностью (220 % к массе использованного масла). Данные эмульсии очень стабильны, не разделяются при центрифугировании при 2700 об/мин и не подвер-

гаются синерезису до 4 сут при температуре хранения около 20 °C.

Ферментативно полученные гидролизаты тоже обладают высокой эмульгирующей способностью (200 %) и стабильностью эмульсии. Однако повышенная доля низкомолекулярных пептидов с ММ менее 10 кДа (97,7 %) относи-

тельно гидролизатов термолиза (53,3 %) несколько снизила эти способности. Очевидно, что наилучшими эмульгирующими способностями обладают пептиды с ММ от 10 до 100 кДа, доля которых в гидролизатах термического способа составляет 46,7 % против 2,3 % в ферментативных гидролизатах (рис.).

Водонерастворимые гидролизаты чешуи также показали высокую эмульгирующую способность (212–230 %). Однако эти эмульсии обладают пониженной устойчивостью, особенно при получении ферментативным способом. При центрифугировании при 2700 об/мин обе эмульсии расслаивается на масло и воду. Очевидно, что высокомолекулярные водонерастворимые белки в данных супензиях не могут являться стабилизаторами эмульсии.

С учетом полученных результатов водорасстворимые гидролизаты чешуи целесообразно использовать в качестве эмульгаторов и структурообразующих добавок в рецептурах поликомпонентных эмульгированных и желированных продуктов, а водонерастворимые – в пищевых поликомпонентных системах комбинированного типа в качестве источника белка и минеральных веществ.

Полученные формы гидролизатов чешуи были успешно использованы при разработке продуктов специализированного питания для спортсменов – белково-углеводных желированных биопродуктов, в композиции с продуктами пчеловодства: «Биопродукт для спортивного питания «АпиколлТонус» (водорасстворимая форма) и «Белково-минеральный ихтиокомплекс» (водонерастворимая форма) [40, 41]. Обе добавки подтвердили свою высокую пищевую ценность и функциональность также в составе белково-минеральных батончиков остеотропной направленности (BioRisePro), предназначенных для укрепления опорно-двигательного аппарата (для пожилых людей, спортсменов, людей с активным образом жизни). В данных батончиках пищевая сбалансированность была достигнута за счет дополнительного обогащения биологически активными веществами растительного происхождения [42, 43]. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности использования гидролизатов чешуи в самых разнообразных функциональных и специализированных продуктах.

Заключение. Проведена оценка пищевых и функционально-технологических свойств гидролизатов коллагена, полученных из чешуи сар-

динеллы марокканской (*Sardinella aurita*) ферментативным и термическим способами с последующим фракционированием и обезвоживанием. Исследованы две порошкообразные формы гидролизатов – водорасстворимая (пептидно-протеиновая добавка) и водонерастворимая (белково-минеральная добавка). Оба порошка имели песочный цвет, обладали специфическими вкусо-ароматическими оттенками, без порочащих признаков.

Полученные добавки значительно увеличили свой протеиновый потенциал относительно сырья (чешуи), при этом водорасстворимые фракции содержали значительно больше белковых веществ (81,9–87,1 %) и повышенное количество незаменимых аминокислот, чем водонерастворимые фракции (59,8–62,5 %), что предопределяет их пищевое и функциональное использование.

Ферментативный способ гидролиза позволил наиболее эффективно перевести в осадок минеральные вещества чешуи, вследствие чего водонерастворимые гидролизаты (белково-минеральная добавка) содержали повышенное количество ценных макро- и микроэлементов. Соответствующее количество минеральных веществ в чешуе, водорасстворимых добавках Т- и Ф-способов гидролиза составило, мг/г: 54,1; 8,1 и 6,0; в водонерастворимых добавках Т- и Ф-способов гидролиза, мг/г: 221,7 и 370,7.

Оценка молекулярно-фракционного состава водорасстворимых гидролизатов показала высокую долю низкомолекулярных пептидов (ММ менее 10 кДа), обладающих физиологической активностью и повышенной усвояемостью, при этом ферментативный способ позволил получить добавки с более высоким удельным весом активных пептидов (97,7 %), чем термический (53,3 %).

Функционально-технологические свойства обеих добавок (эмульгирующая, водоудерживающая, водосвязывающая и жirosвязывающая способности) оказались сопоставимыми с характеристиками традиционных белковых добавок, при этом водорасстворимый гидролизат, независимо от способа получения, обладал более высокими показателями, чем водонерастворимый.

С учетом полученных данных водорасстворимые добавки рекомендованы к использованию в качестве источника активных пептидов и аминокислот коллагеновой природы для специализи-

рованного белкового спортивного питания, а водонерастворимые добавки целесообразно вводить в состав рецептур функциональных продуктов для укрепления опорно-двигательного аппарата в качестве источника высокомолекулярных протеинов («пищевых волокон» животного происхождения), а также ценных минеральных веществ (кальция, калия, хлора, серы).

Обе добавки из чешуи сардинеллы были использованы при разработке продуктов для спортсменов скоростно-силовых видов спорта в составе формованного желе «Апиколлтонус» и протеинового батончика BioRisePro остеотропной направленности.

Список источников

1. Воробьев В.И., Чернега О.П., Берсенева А.Р. Применение коллагена гидробионтов в производстве продукции на основе рыбного фарша // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84, № 2 (92). С. 84–92. DOI: 10.20914/2310-1202-2025-2-15-22.
2. Воробьев В.И. Использование рыбной чешуи в пищевых целях // Известия КГТУ. 2020. № 57. С. 99–106.
3. Воробьев В.И., Нижникова Е.В. Использование рыбьей чешуи в косметических целях // Известия КГТУ. 2020. № 59. С. 132–140.
4. Якубова О.С., Кушбанова А.А. Биотехнологический потенциал чешуи рыб Астраханской области // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия «Рыбное хозяйство». 2024. № 4. С. 136–145.
5. Новикова И.В., Гребенщиков А.В., Романюк Т.И., и др. Разработка безалкогольных напитков на основе растительного сырья и коллагена и исследование их доклинической безопасности в опытах *in vivo* // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2025. № 1 (399). С. 108–114.
6. Хитров А.А., Басарыгин А.С., Егорова Е.И., и др. Оценка аминокислотного состава коллагена из шкурки толстолобика белого (*H. molitrix*) // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2022. № 3 (74). С. 62–67.
7. Антипова Л.В., Сторублевцев С.А., Болгова С.Б. Создание коллагеновых продуктов из рыбного сырья / Л.В. Антипова, // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2015. № 1. С. 130–133.
8. Антипова Л.В., Каракотов Р.Д., Романюк Т.И. Применение коллагена в пищевых и медицинских производствах. В сб.: IX Международная научно-практическая конференция «Продовольственная безопасность: научное, кадровое и информационное обеспечение». Воронеж, 2023. С. 227–229.
9. Сопромадзе С.Ш., Липатов В.А. Перспективы разработки и применения гемостатических губок на основе рыбного коллагена // *Innova*. 2020. № 3 (20). С. 42–47.
10. Корокин В.Ж., Буранов Е.Н., Князев А.В. Получение биомиметических материалов на основе коллагена и гидроксиапатита // Журнал прикладной химии. 2019. Т. 92, № 3. С. 365–369.
11. Романюк Т.И., Агафонов Г.В., Новикова И.В. Разработка функциональных напитков с коллагеном. В сб.: Ловкис З.В., ред. Международный конгресс «Наука, питание и здоровье». В 2 ч. Ч. 1. Минск, 2021. С. 229–232.
12. Антипов С.С., Тарасова Д.В., Бородина М.М., и др. Перспективы создания коллагеновых субстанций на основе изучения физико-химических характеристик белков дермальных эмульсий гидробионтов // Химико-фармацевтический журнал. 2024. Т. 57, № 12. С. 2004–2008.
13. Тарасова Д.В., Бородина М.М., Лиходзиевская М.В., и др. Коллагены гидробионтов как потенциальный сорбент металлов и наночастиц // Вестник Воронежского государственного университета. Серия «Химия. Биология. Фармация». 2023. № 1. С. 75–81.
14. Колесникова О.В. Анализ рынка коллагена в Российской Федерации // Креативная экономика. 2025. Т. 19, № 4. С. 983–998.
15. Вострикова Л.Н., Якубова О.С. Способ получения пищевой упаковочной пленки. Патент на изобретение RU 2830863 С1. 26.11.2024. Бюл. № 33.

16. Байдалинова Л.С., Ляпустина Е.Е. Выделение натуральных структурообразователей белковой природы из коллагенсодержащего вторичного рыбного сырья // Известия КГТУ. 2018. № 51. С. 45–60.
17. Антипова Л.В., Сторублевцев С.А. Коллагены: источники, свойства, применение. Воронеж: Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2014. 522 с.
18. Якубова О.С., Вострикова Л.Н., Кушбанова А.А. Формирование свойств биодеградируемых пленок на основе рыбного желатина // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия «Рыбное хозяйство». 2024. № 2. С. 118–127.
19. Мезенова О.Я., Байдалинова Л.С., Воробьев В.И. и др. Использование рыбной чешуи в технологии пищевых и кормовых продуктов // Известия КГТУ. 2015. № 37. С. 92–101.
20. Воробьев В.И., Нижникова Е.В. Получение фракций коллагена и гидроксиапатита из рыбьей чешуи // Известия КГТУ. 2021. № 62. С. 80–91.
21. Воробьев В.И., Чернега О.П., Нижникова Е.В. Разработка способа получения пищевой добавки на основе нерестовой чешуи салаки // Известия КГТУ. 2024. № 72. С. 70–80.
22. Воробьев В.И., Чернега О.П. Получение пищевых дисперсий с использованием высокомолекулярного коллагена чешуи рыб // Известия КГТУ. 2023. № 68. С. 71–79.
23. Воробьев В.И., Нижникова Е.В., Чернега О.П. Способ получения пищевых добавок с использованием соленых рыбных кож с чешуей // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия «Рыбное хозяйство». 2025. № 1. С. 125–134.
24. Воробьев В.И., Нижникова Е.В. Получение молочного желе с коллагенсодержащей добавкой из рыбьей чешуи // Известия КГТУ. 2025. № 76. С. 55–63.
25. Воробьев В.И., Чернега О.П., Нижникова Е.В. Применение рыбных коллагенсодержащих добавок в составе панировочных смесей // Хранение и переработка сельхозсырья. 2024. № 2. С. 25–36.
26. Вострикова Л.Н., Якубова О.С. Исследование свойств пищевых пленок на основе рыбного желатина. В сб.: XI Международная научно-практическая конференция «Инновационные технологии в пищевой промышленности и общественном питании». Екатеринбург, 2024. С. 173–176.
27. Воробьев В.И., Чернега О.П. Применение растительного сырья с рыбным коллагеном при производстве мелкоштучных хлебобулочных изделий // Известия КГТУ. 2022. № 66. С. 89–102.
28. Гришин Д.В., Подобед О.В., Гладилина Ю.А., и др. Биоактивные белки и пептиды: современное состояние и новые тенденции практического применения в пищевой промышленности и кормопроизводстве // Вопросы питания. 2017. Т. 86, № 3. С. 19–31.
29. Малинина Е.И., Лукьянова Е.Г., Зиннурова М.Р., и др. Биологически активные пептиды и их роль в организме человека. В сб.: Технические и естественные науки: вчера, сегодня, завтра. Волгоград, 2024. С. 37–40.
30. Керге Н.С., Ворошилин Р.А. Обзор и оценка биологически активных пептидов из сырья животного происхождения // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2024. № 2 (70). С. 94–99.
31. Мельникова Е.И., Станиславская Е.Б., Станков Д.Д., и др. Биологически активные пептиды: значение и способы получения. В сб.: Инновационные технологии в пищевой промышленности: наука, образование и производство. Воронеж, 2025. С. 38–39.
32. Рысакова К.С., Новиков В.Ю., Шумская Н.В. Получение ферментативных гидролизатов коллагена морских беспозвоночных Баренцева моря и их использование в качестве основ для микробиологических сред. В сб.: Соколов К.М., ред. Всероссийская конференция ученых и специалистов, посвященная 160-летию Н.М. Книповича «Актуальные проблемы освоения водных биологических ресурсов Российской Федерации». Мурманск, 2023. С. 521–526.
33. Николаева Т.И., Кузнецова С.М., Емельяненко В.И., и др. Получение коротких пептидов коллагена II типа: температурные условия гомогенизации хрящей и гидролиз коллагена // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 2021. Т. 171, № 1. С. 38–42.
34. Тутельян В.А., Хавинсон В.Х., Рыжак Г.А., и др. Короткие пептиды как компоненты питания: молекулярные основы регуляции гомеостаза // Успехи современной биологии. 2014. Т. 134, № 3. С. 227–235.

35. Тихонов С.Л., Тихонова Н.В., Кольберг Н.А., и др. Характеристика и противомикробная активность пептида, выделенного из сырья животного происхождения // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2023. № 4 (81). С. 16–24.
36. Kim S.K., editor. *Marine Proteins and Peptides. Biological activities and applications*. John Wiley and Sons, 2013. 785 p.
37. Мезенова О.Я., Агафонова С.В., Мезенова Н.Ю., и др. Исследование и рациональное применение пептидных и липидных композиций, получаемых при гидролизной переработке коллагенсодержащих тканей // Вестник Международной академии холода. 2021. № 1. С. 46–58.
38. Воробьев В.И. Способ получения пищевых коллагенсодержащих продуктов. Патент на изобретение RU 2734034 С1. 12.10.2020. Бюл. № 29.
39. Мезенова О.Я., Матковская М.В. Биотехнология продуктов геродиетического профиля с применением вторичного рыбного сырья // Вестник Международной академии холода. 2015. № 4. С. 23–26.
40. Мезенова О.Я., Мезенова Н.Ю., Байдалинова Л.С. Гидролизаты рыбной чешуи в составе биологически активных добавок для спортсменов // Известия ТИНРО. 2014. Т. 177. С. 287–294.
41. Хелинг А., Гримм Т., Волков В.В., и др. Протеины из вторичного рыбного сырья как инновационные компоненты спортивного питания // Известия КГТУ. 2015. № 39. С. 85–94.
42. Некрасова Ю.О., Романенко Н.Ю., Мезенова О.Я. Специализированные продукты спортивного питания с использованием протеиновых композиций гидролиза коллагенсодержащего рыбного сырья // Вестник МГТУ. 2021. Т. 24, № 4. С. 414–427.
43. Некрасова Ю.О., Мезенова О.Я., Мерзель Й.-Т. Обоснование использования биопотенциала гидролизатов коллагенсодержащего рыбного сырья в протеиновом спортивном питании // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2021. Т. 11, № 4. С. 603–616.
44. Мезенова О.Я., Волков В.В., Мерзель Т., и др. Сравнительная оценка способов гидролиза коллагенсодержащего рыбного сырья при получении пептидов и исследование их аминокислотной сбалансированности // Известия вузов. Прикладная химия биотехнология. 2018. Т. 8, № 4. С. 83–94.
45. Куликов Д.С., Аксенова Л.М., Самойлова А.М. Функционально-технологические свойства белковых продуктов из зернобобовых культур и их модификация под влиянием различных факторов. Часть 1 // Пищевая промышленность. 2024. № 3. С. 20–25.
46. Пивненко Т.Н. Функциональные свойства пищевых волокон и их применение в технологии рыбной продукции // Пищевые системы. 2023. Т. 6, № 2. С. 233–244.

References

1. Vorob'yev VI, Chernega OP, Berseneva AR. The use of hydrobiont collagen in the production of products based on minced fish. *Proceedings of VSUET*. 2022;84(2):84-92. (In Russ.).
2. Vorob'yev VI. Use of fish scales for food purposes. *Izvestiya KGTU*. 2020;57:99-106. (In Russ.).
3. Vorob'yev VI, Nizhnikova YeV. The use of fish scales for cosmetic purposes. *Izvestiya KGTU*. 2020;59:132-140. (In Russ.).
4. Yakubova OS, Kushbanova AA. Biotechnological potential of fish scales of the Astrakhan Region. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoye khozyaystvo*. 2024;4:136-145. (In Russ.).
5. Novikova IV, Grebenschikov AV, Romanyuk TI, et al. Development of soft drinks based on plant raw materials and collagen and investigation of their preclinical safety in vivo experiments. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Pishchevaya tekhnologiya*. 2025;(1):108-114. (In Russ.).
6. Khitrov AA, Basarygin AS, Yegorova Yel, et al. Evaluation of the amino acid composition of collagen from the skin of the white carp (*H. molitrix*). *Tekhnologiya i tovarovedeniye innovatsionnykh pishchevykh produktov*. 2022;(3):62-67. (In Russ.).
7. Antipova LV, Storublevtsev SA, Bolgova SB. Creation of collagen products fish raw material. *Proceedings of VSUET*. 2015;(1):130-133.

8. Antipova LV, Karakotov RD, Romanyuk TI. Application of collagen in food and medical production. In: *IX Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya «Prodovol'stvennaya bezopasnost': nauchnoe, kadrovoe i informacionnoe obespechenie»*. Voronezh; 2023. P. 227–229. (In Russ.).
9. Sopromadze SS, Lipatov VA. Perspectives of development and application of haemostatic sponges on the basis of fish collagen. *Innova*. 2020;(3):42-47. (In Russ.).
10. Korokin VZh., Bulanov YeN, Knyazev AV. Production of biomimetic materials based on collagen and hydroxyapatite. *Zhurnal prikladnoy khimii*. 2019;92(3):365-369. (In Russ.).
11. Romanyuk TI, Agafonov GV, Novikova IV. Development of functional drinks with collagen. In: Lovkis Z.V., editor. *Mezhdunarodnyj kongress «Nauka, pitanie i zdorov'e»*. Part 1. Minsk; 2021. P. 229–232. (In Russ.).
12. Antipov SS, Tarasova DV, Borodina MM, et al. Perspectives of development of collagen substances based on the study of the physicochemical characteristics of proteins of dermal emulsions of aquatic organisms. *Khimiko-farmatsevticheskiy zhurnal*. 2024;57(12):2004-2008. (In Russ.).
13. Tarasova DV, Borodina MM, Likhodziyevskaya MV, et al. Hydrobiont collagens as a potential sorbent of metals and nanoparticles. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya*. 2023;(1):75-81. (In Russ.).
14. Kolesnikova OV, Arakelyan NR. Analysis of the collagen market in the Russian Federation. *Kreativnaya ekonomika*. 2025;19(4):983-998. (In Russ.).
15. Vostrikova LN, Yakubova OS. Sposob polucheniya pishchevoy upakovochnoy plenki. Patent na izobreteniye RU 2830863 C1, 26.11.2024. 28.03.2024. (In Russ.).
16. Baydalnova LS, Lyapustina YeYe. Obtaining of natural structure-formers of protein origin from collagen-containing secondary fish raw materials. *KSTU news*. 2018;51:45-60. (In Russ.).
17. Antipova LV, Storublevtsev SA. Kollageny: istochniki, svoystva, primeneniye. Voronezh: Voronezhskiy gosudarstvennyy universitet inzhenernykh tekhnologij. 2014. P. 522. (In Russ.).
18. Yakubova OS, Vostrikova LN, Kushbanova AA. Formation of biodegradable films properties based on gelatin. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoye khozyaystvo*. 2024;(2):118-127. (In Russ.).
19. Mezenova OYa, Baydalnova LS, Vorob'yev VI, et al. Use of fish scales in the technology of food and feed products. *Izvestiya KGTU*. 2015; 37: 92-101. (In Russ.).
20. Vorob'yev VI, Nizhnikova YeV. Obtaining collagen and hydroxyapatitis fractions from fish scales. *Izvestiya KGTU*. 2021; 62: 80-91. (In Russ.).
21. Vorob'yev VI, Chernega OP, Nizhnikova YeV. Development of a method for producing a food additive based on spawning scales of Baltic herring. *Izvestiya KGTU*. 2024; 72: 70-80. (In Russ.).
22. Vorob'yev VI, Chernega OP. Obtaining food dispersions using high-molecular fish scale collagen. *Izvestiya KGTU*. 2023;68:71-79. (In Russ.).
23. Vorob'yev VI, Nizhnikova YeV, Chernega O.P. Method for obtaining food additives using salted fish skins with scales. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoye khozyaystvo*. 2025;1:125-134. (In Russ.).
24. Vorob'yev VI, Nizhnikova YeV. Preparation of milk jelly with collagen-containing additive from fish scales. *Izvestiya KGTU*. 2025; 76: 55-63. (In Russ.).
25. Vorob'yev VI, Chernega OP, Nizhnikova YeV. Use of fish collagen-containing additives in breading mixtures. *Khraneniye i pererabotka sel'khozsyrya*. 2024;2:25-36. (In Russ.).
26. Vostrikova LN, Yakubova OS. Study of the properties of food films based on fish gelatin. In: *XI Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya “Innovatsionnye tekhnologii v pishchevoy promyshlennosti i obshchestvennom pitanii”*. Ekaterinburg, 2024. P. 173-176. (In Russ.).
27. Vorob'yev VI, Chernega OP. Application of vegetable raw materials with fish collagen in the production of small bakery products. *Izvestiya KGTU*. 2022;66:89-102. (In Russ.).
28. Grishin DV, Podobed OV, Gladilina YuA, et al. Bioactive proteins and peptides: current state and new trends of practical application in the food industry and feed production. *Voprosy pitaniya*. 2017;86(3):19-31. (In Russ.).

29. Malinina Yel, Luk'yanova YeG, Zinnurova MR, et al. Biologically active peptides and their role in the human body. In: *Tekhnicheskiye i yestestvennyye nauki: vchera, segodnya, zavtra*. Volgograd; 2024. P. 37–40. (In Russ.).
30. Kerge NS, Voroshilin RA. Review and evaluation of biologically active peptides from raw materials of animal origin. *Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2024;2 (70):94-99. (In Russ.).
31. Mel'nikova Yel, Stanislavskaya YeB. Stankov DD, et al. Biologically active peptides: significance and methods of production. In: *Innovatsionnyye tekhnologii v pishchevoy promyshlennosti: nauka, obrazovaniye i proizvodstvo*. Voronezh; 2025. P. 38–39. (In Russ.).
32. Rysakova KS, Novikov VYu., Shumskaya NV. Obtaining enzymatic hydrolysates of collagen from marine invertebrates of the Barents Sea and their use as bases for microbiological media. In: Sokolov KM, editor. *Vserossiyskaya konferenciya uchenyh i specialistov, posvyashchennaya 160-letiyu N.M. Kripovicha «Aktual'nye problemy osvoeniya vodnyh biologicheskikh resursov Rossiskoj Federacii»*. Murmansk; 2023. P. 521–526. (In Russ.).
33. Nikolayeva TI, Kuznetsova SM, Yemelyanenko VI, et al. Preparation of type II collagen short peptides: temperature conditions of cartilage homogenization and collagen hydrolysis. *Bulletin of experimental biology and medicine*. 2021;171(1):38-42. (In Russ.).
34. Tutelyan VA, Khavinson VKh, Ryzhak GA, et al. Short peptides as nutritional components: molecular basis of homeostasis regulation. *Advances in current biology*. 2014;134(3):227-235. (In Russ.).
35. Tikhonov SL, Tikhonova NV, Kolberg NA, et al. Characteristics and antimicrobial activity of a peptide isolated from raw materials of animal origin. *Technology and the study of merchandise of innovative foodstuffs*. 2023;4(81):16-24. (In Russ.).
36. Kim SK, editor. *Marine Proteins and Peptides. Biological activities and applications*. John Wiley and Sons, 2013. 785 p.
37. Mezenova OYa, Agafonova SV, Mezenova NYu, et al. Research and rational use of peptide and lipid compositions obtained by hydrolysis processing of collagen-containing tissues. *Journal international academy of refrigeration*. 2021;(1):46-58. (In Russ.).
38. Vorob'yov VI. *Sposob polucheniya pishchevykh kollagensoderzhashchikh produktov*. Patent RU 2734034 C1. 12.10.2020. (In Russ.).
39. Mezenova OYa., Matkovskaya MV. Biotechnology of gerodietetic products using secondary fish raw materials. *Journal international academy of refrigeration*. 2015;(4):23-26. (In Russ.).
40. Mezenova OYa., Mezenova NYu., Baydalanova LS. Fish scale hydrolysates in the composition of biologically active supplements for athletes. *Izvestiya TINRO*. 2014; 177:287-294. (In Russ.).
41. Kholing A, Grimm T, Volkov VV, et al. Proteins from secondary fish raw materials as innovative components of sports nutrition. *Izvestiya KGTU*. 2015; 39:85-94. (In Russ.).
42. Nekrasova YuO, Romanenko NYu, Mezenova OYa. Specialized sports nutrition products using protein hydrolysis compositions of collagen-containing fish raw materials. *Vestnik MGTU*. 2021;24(4):414-427. (In Russ.).
43. Nekrasova YuO, Mezenova OY, Merzel' Y-T. Biopotential of collagen-containing hydrolysates obtained from fish raw materials for protein sports nutrition. *Izvestiya vuzov. Prikladnaya khimiya i biotekhnologiya*. 2021;11(4):603–616. (In Russ.).
44. Mezenova OYa, Volkov VV, Merzel' T, et al. A comparative assessment of hydrolysis methods used to obtain fish collagen peptides and investigation of their amino acid balance. *Izvestiya vuzov. Prikladnaya khimiya biotekhnologiya*. 2018;8(4):83-94. (In Russ.).
45. Kulikov DS, Aksonova LM, Samoylova AM. Functional properties of protein products from grain legumes and their modification under the influence of various factors. Part 1. *Food processing industry*. 2024;3:20-25. (In Russ.).
46. Pivnenko TN. Functional properties of the dietary fibers and their using in the manufacturing technology of fish products. *Pishchevyye sistemy*. 2023;6(2):233-244. (In Russ.).

Статья принята к публикации 05.09.2025 / The article accepted for publication 05.09.2025.

Информация об авторах:

Ольга Яковлевна Мезенова, заведующая кафедрой пищевой биотехнологии, доктор технических наук, профессор

Зурет Нурбиеvна Хатко, заведующая кафедрой технологии пищевых продуктов и организации питания, доктор технических наук, доцент

Юлия Олеговна Некрасова, аспирантка кафедры пищевой биотехнологии

Наталья Юрьевна Романенко, доцент кафедры пищевой биотехнологии, кандидат технических наук, доцент

Асет Ибрагимовна Блягоз, доцент кафедры технологии пищевых продуктов и организации питания, кандидат технических наук

Information about the authors:

Olga Yakovlevna Mezenova, Head of the Department of Food Biotechnology, Doctor of Technical Sciences, Professor

Zuret Nurbievna Khatko, Head of the Department of Food Technology and Catering, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

Yulia Olegovna Nekrasova, Postgraduate student at the Department of Food Biotechnology

Natalia Yuryevna Romanenko, Associate Professor at the Department of Food Biotechnology, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Aset Ibragimovna Blyagoz, Associate Professor at the Department of Food Technology and Catering, Candidate of Technical Sciences

