





Исследование параметров вакуумной сушки для гидролизатов из вторичных сырьевых ресурсов переработки кальмара

Ольга В. Чугунова	1	chugun.ova@ya.ru	 0000-0002-7039-4047
Павел А. Кечин	1	kechin-msk@ya.ru	 0009-0002-2183-0997
Пётр А. Чугунов	2	m107.chugunov@ya.ru	 0009-0007-8878-803X
Екатерина В. Пастушкова	1	pas-ekaterina@ya.ru	 0000-0001-6992-1201





1 Уральский государственный экономический университет, ул. 8 Марта/Народной Воли 62/45, г. Екатеринбург, 620144, Россия

2 Институт высокотемпературной электрохимии УрОРАН, ул. Академическая, стр. 20, г. Екатеринбург, 620066, Россия

Аннотация. В работе исследовали влияние температуры и остаточного давления на эффективность вакуумной сушки гидролизатов, полученных из вторичных сырьевых ресурсов переработки кальмара. В ходе экспериментальной работы определялись предельно допустимые технологические параметры процесса сушки – температуры и степени разрежения в рабочей камере. Исследования проводились на образцах раствора гидролизованного белка кожи и частично внутренностей кальмара. Исходный материал подвергался концентрированию методом ультрафильтрации до массовой доли сухих веществ в образцах 30%. Температурные режимы процесса сушки варьировались на двух уровнях – 60 и 70 °С. В ходе экспериментов регистрировались кинетические параметры, позволяющие оценить динамику обезвоживания. Получены кривые, отражающие изменение относительной массы образцов во времени, а также температурные показатели в рабочей камере и внутри продукта. Анализ экспериментальных данных показал, что выход на заданные температурные параметры в сушильной камере достигался через 80 мин для режима 60 °С и через 90 мин для режима 70 °С. Прогрев внутренних слоев продукта до соответствующих температурных значений требовал большего времени: 90 и 100 мин соответственно. Наибольшая интенсивность удаления влаги зафиксирована при температуре 70 °С. В данном режиме конечная влажность образцов достигала 5,1%, а общая продолжительность процесса составляла 160±5 минут. Отмечено, что увеличение длительности сушки приводило к образованию пригоревшего поверхностного слоя, затруднявшего вывод влаги из внутренних зон материала. По результатам органолептической оценки наивысшую оценку (17,2 балла) получил образец, высушенный при температуре 60 °С. Установлено, что повышение температуры негативно сказывалось на органолептических показателях гидролизатов. Минимальные удельные энергзатраты зафиксированы при остаточном давлении 10±0,5 кПа. Увеличение давления в камере сопровождалось снижением скорости обезвоживания. На основании полученных данных рекомендовано проводить сушку раствора гидролизованного белка кальмара при температуре 60 °С и остаточном давлении 10±0,5 кПа, что обеспечивает сбалансированное сочетание качества готового продукта, продолжительности обработки и энергетических затрат

Ключевые слова: гидролизат белка, кинетика сушки, вакуумная сушка, белки кожи кальмара.

Research of vacuum drying parameters for hydrolysates from secondary raw materials of squid processing

Olga V. Chugunova	1	chugun.ova@ya.ru	 0000-0002-7039-4047
Pavel A. Kechin	1	kechin-msk@ya.ru	 0009-0002-2183-0997
Petr A. Chugunov	2	m107.chugunov@ya.ru	 0009-0007-8878-803X
Ekaterina V. Pastushkova	1	pas-ekaterina@ya.ru	 0000-0001-6992-1201

1 Ural State University of Economics, 8 Marta St./Narodnaya Volya 62/45, Yekaterinburg, 620144, Russia

2 Institute of High-Temperature Electrochemistry UroRAN, Akademicheskaya str., 20, Yekaterinburg, 620066, Russia

Abstract. This study investigated the effect of temperature and residual pressure on the efficiency of vacuum drying of hydrolysates obtained from secondary raw materials from squid processing. During the experimental work, the maximum permissible process parameters of the drying process—temperature and degree of vacuum in the working chamber—were determined. The studies were conducted on samples of a solution of hydrolyzed proteins from squid skin and, partially, viscera. The source material was concentrated by ultrafiltration to a dry matter content of 30% in the samples. The drying temperature was varied at two levels: 60 and 70 °C. During the experiments, kinetic parameters were recorded to evaluate the dehydration dynamics. Curves were obtained reflecting the change in the relative mass of the samples over time, as well as temperature indicators in the working chamber and inside the product. Analysis of the experimental data showed that the specified temperature parameters in the drying chamber were reached after 80 minutes for the 60 °C mode and after 90 minutes for the 70 °C mode. Heating the inner layers of the product to the appropriate temperatures required more time: 90 and 100 minutes, respectively. The highest intensity of moisture removal was recorded at a temperature of 70 °C. In this mode, the final moisture content of the samples reached 5.1%, and the total process duration was 160±5 minutes. It was noted that an increase in the drying time led to the formation of a burnt surface layer, which hindered the removal of moisture from the internal zones of the material. According to the results of the organoleptic evaluation, the sample dried at a temperature of 60 °C received the highest score (17.2 points). It was found that an increase in temperature negatively affected the organoleptic properties of the hydrolysates. The minimum specific energy consumption was recorded at a residual pressure of 10±0.5 kPa. An increase in chamber pressure was accompanied by a decrease in the dehydration rate. Based on the data obtained, it is recommended to dry the solution of hydrolyzed squid proteins at a temperature of 60 °C and a residual pressure of 10 ± 0.5 kPa, which ensures a balanced combination of the quality of the finished product, processing time and energy costs.

Keywords: protein hydrolysate, drying kinetics, vacuum drying, squid skin proteins.

Для цитирования

Чугунова О.В., Кечин П.А., Чугунов П.А., Пастушкова Е.В. Исследование параметров вакуумной сушки для гидролизатов из вторичных сырьевых ресурсов переработки кальмара // Вестник ВГУИТ. 2026. Т. 88. № 2. С. 157–163. doi:10.20914/2310-1202-2026-2-157-163

For citation

Chugunova O.V., Kechin P.A., Chugunov P.A., Pastushkova E.V. Research of vacuum drying parameters for hydrolysates from secondary raw materials of squid processing. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2026. vol. 88. no. 2. pp. 157–163. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2026-2-157-163

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Современные тенденции в области питания свидетельствуют о возрастающем дефиците полноценного белка в рационе различных групп населения [1–3]. Одним из перспективных направлений решения данной проблемы является создание пищевых продуктов, обогащенных белковыми компонентами, в том числе гидролизатами, полученными из вторичных сырьевых источников [4, 5]. Особое внимание исследователей привлекают гидролизаты, получаемые из вторичных сырьевых ресурсов переработки кальмара. Данный вид сырья характеризуется доступностью, относительно низкой стоимостью и благоприятным аминокислотным профилем [4, 6].

Сушка гидролизатов представляет собой эффективный способ, позволяющий минимизировать затраты на хранение и транспортировку, а также гарантировать стабильность продукта в течение длительного времени [7–9]. В современной пищевой технологии все более широкое применение находит метод вакуумной сушки, основанный на удалении влаги при давлении ниже атмосферного. Снижение давления в рабочей камере приводит к уменьшению температуры кипения воды [10], что обеспечивает проведение процесса в щадящем температурном режиме, критически важном для сохранения термолабильных компонентов белковых гидролизатов [11].

При переработке гидробιονтов важнейшей задачей является комплексное использование сырья, не допускающее потери ценных компонентов, а также вовлечение в производство отходов, содержащих биологически активные вещества, и максимальное сохранение нативных свойств сырья.

Современным решением очистки кальмаров является ферментативное обесшкуривание с использованием специализированных протеолитических препаратов (например, Профитекс Фиш Скин Люкс) [12]. Особенностью данного метода, помимо высокой производительности, энергоэффективности и низких трудозатрат, является образование в процессе реакции жидкого побочного продукта – раствора гидролизованых белков кожи и частично внутренностей («бульона») [13]. Этот продукт, обладающий насыщенным цветом и ароматом морепродуктов, представляет собой не отход, а ценное сырье для дальнейшей глубокой переработки [14].

Однако для его практического применения необходима дальнейшая оптимизация процесса сушки. Цель настоящей работы заключалась в определении оптимальных режимов вакуумной сушки, обеспечивающих максимальную эффективность процесса применительно к гидролизатам, полученными из раствора гидролизованых белков кожи и частично внутренностей кальмара.

Материалы и методы

В качестве объектов исследования использовали вторичный сырьевой ресурс – раствор гидролизата, полученный в результате промышленного обесшкуривания командорского кальмара (*Berryteuthis magister*). В процессе гидролиза применяли протеолитический ферментный препарат «Профитекс Фиш Скин Люкс».

Исследования проводились на базе Института высокотемпературной электрохимии УрОРАН и Единого лабораторного комплекса УрГЭУ.

На первом этапе исследований изучали влияние температуры на процесс сушки. Образцы высушивали при температурах 60 и 70 °С, поддерживая остаточное давление на уровне $10 \pm 0,5$ кПа при толщине слоя материала 20 мм. На втором этапе исследований подбирали оптимальную величину остаточного давления. С этой целью сушку осуществляли при температуре 60 °С, варьируя остаточное давление в камере: $5 \pm 0,5$ кПа, $8 \pm 0,5$ кПа и $10 \pm 0,5$ кПа.

Экспериментальные исследования проводились на специализированном стенде, конструкция которого обеспечивала возможность регулирования параметров вакуумной сушки в заданных диапазонах. В состав установки входили следующие основные элементы: герметичная сушильная камера, оснащенная инфракрасными нагревателями; вакуумный насос для создания разреженной среды; десублиматор, предназначенный для улавливания паров влаги; холодильная машина, обеспечивающая функционирование десублиматора; а также комплекс контрольно-измерительных приборов, позволяющих контролировать температуру и давление.

С целью повышения энергетической эффективности процесса и сокращения продолжительности сушки исходный гидролизат подвергался предварительному концентрированию. Данная операция реализовывалась на ультрафильтрационной установке, позволяющей довести содержание сухих веществ до 30%.

Оценка влияния различных режимов сушки на органолептические характеристики гидролизата (ГБГ) проводилась по шкале, предусматривающей оценку четырех ключевых показателей: внешнего вида, консистенции, вкуса и запаха [11]. Каждый параметр оценивался по пятибалльной системе, что позволяло получить интегральную характеристику с максимальной возможной суммой 20 баллов.

Определение массовой доли влаги образцов выполнялось гравиметрическим методом, основанным на измерении потери массы при высушивании. Данный подход обеспечивал необходимую точность и воспроизводимость результатов при сопоставлении различных режимов обработки.

Результаты и обсуждение

Процесс вакуумной сушки раствора гидролизованных белков кожи кальмара условно разделяли на три последовательных этапа. На первом этапе вакуумный насос обеспечивал

снижение давления в камере до требуемого уровня. Продолжительность данного периода составляла около 15 мин, при этом относительная масса образца оставалась практически неизменной, а температура незначительно понижалась.

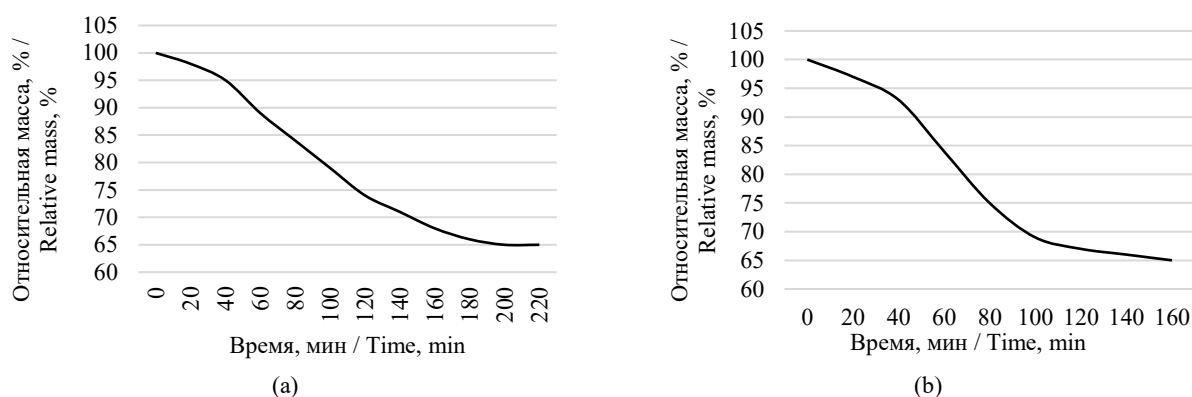


Рисунок 1. Кинетика сушки гидролизатов при различных температурах: (а) — 60 °С; (б) — 70 °С

Figure 1. Kinetics of drying hydrolysates at different temperatures: (a) — 60 °С; (b) — 70 °С

На втором этапе, после выхода установки на стационарный режим, активировались инфракрасные нагреватели [11], что сопровождалось повышением температуры материала и интенсивным снижением его массы. Третий этап характеризовался замедлением скорости удаления влаги и завершающим досушиванием продукта. Динамика изменения относительной

массы гидролизатов в зависимости от температуры представлена на рисунке 1.

В ходе экспериментального исследования установлено, что выход температуры в рабочей камере на заданные значения происходил через 80 и 90 мин соответственно для режимов 60 и 70 °С. Температура внутри продукта достигала аналогичных значений через 90 и 100 мин (рисунок 2).

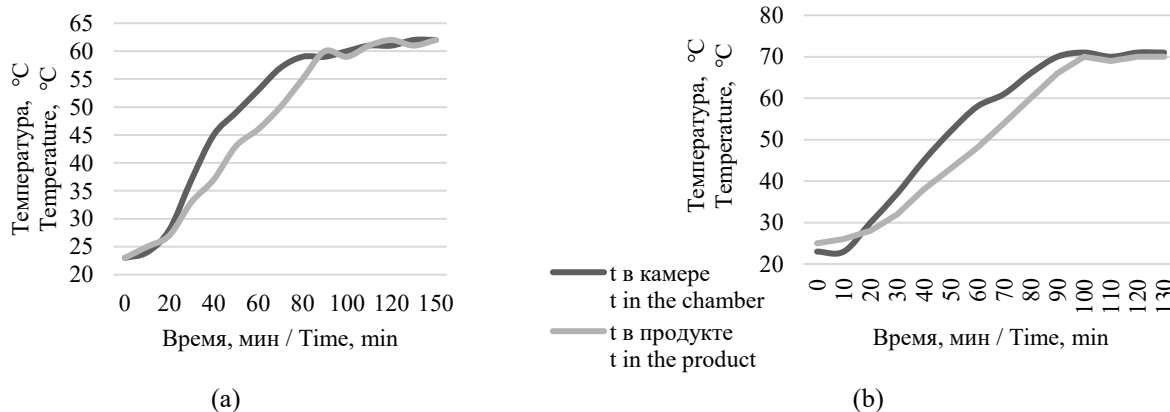


Рисунок 2. Зависимость изменения температуры в сушильной камере и продукте от температуры нагрева (а) – при температуре 60 °С, (б) – при температуре 70 °С

Figure 2. Dependence of temperature change in the drying chamber and product on the heating temperature (a) – at a temperature of 60 °С, (b) – at a temperature of 70 °С

Исследование динамики удаления влаги из гидролизата при различных температурных параметрах показало, что наиболее активное обезвоживание зафиксировано при нагреве материала до 60 °С. Конечная влажность 5,1% достигалась за 160 ± 5 мин (таблица 1).

Повышение температуры до 70 °С отрицательно сказывалось на эффективности сушки. Ускоренное испарение влаги

с поверхностных слоев приводило к образованию пересушенной и частично подгоревшей корки, которая выступала в роли барьера, препятствующего дальнейшей миграции жидкости из внутренних областей материала. В результате формировался градиент влажности, при котором удаление воды из глубинных слоев существенно затруднялось, а общая продолжительность процесса возрастала.

Таблица 1.
Сравнительная характеристика режимов вакуумной сушки гидролизатов

Table 1.
Comparative characteristics of vacuum drying modes for hydrolysates

Показатель Indicator	Температура в камере Temperature in the chamber, °C	
	60	70
Длительность сушки, мин Drying time, min.	160 ± 5	180 ± 5
Массовая доля влаги, % Mass fraction of moisture, %	5,1 ± 0,1	5,00 ± 0,05
Удельные затраты энергии, кВт·ч/кг удаленной влаги Specific energy consumption, kW·h/kg of moisture removed	3,44 ± 0,15	3,62 ± 0,10

Экспериментально установлено, что увеличение температуры выше оптимального значения 60 °C не только не ускоряет процесс обезвоживания, но и создает дополнительные технологические сложности, связанные с перегревом поверхности и формированием плотного поверхностного слоя, замедляющего процесс массопереноса.

Дифференцирование кривых изменения относительной массы по времени позволило получить зависимости скорости сушки от продолжительности процесса (рисунок 3). Максимальные значения скорости удаления влаги наблюдались в интервале от 40 до 100 мин от начала процесса и составляли от 12 до 23% в час в зависимости от температурного режима.

Повышение температуры от 60 до 70 °C сопровождалось сокращением продолжительности сушки на 12,5%, однако удельные энергетические затраты возрастали на 5% (таблица 1). Данное явление объясняется увеличением теплопритока через элементы теплоизоляции и необходимостью поддержания более высокого градиента температур в системе.

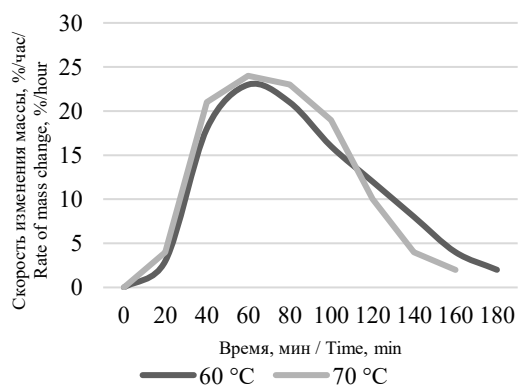


Рисунок 3. Кинетика изменения массы гидролизатов в процессе вакуумной сушки при различных температурах

Figure 3. Kinetics of changes in the mass of hydrolysates during vacuum drying at different temperatures

Результаты органолептической оценки показали, что наивысшую суммарную оценку (17,2 балла) получил образец, высушенный при температуре 60 °C (рисунок 4). Повышение температуры до 70 °C приводило к заметному ухудшению органолептических характеристик, что, вероятно, связано с денатурацией и деградацией термолабильных аминокислот и пептидов, а также с образованием соединений, придающих продукту неприятный запах.

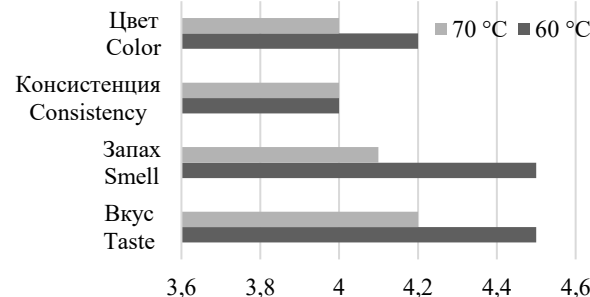


Рисунок 4. Результаты органолептической оценки гидролизатов при различной температуре в камере
Figure 4. Results of organoleptic evaluation of hydrolysates at different temperatures in the chamber

Помимо температурных параметров, ключевым фактором, определяющим результативность вакуумной сушки, выступает величина остаточного давления в рабочей камере. Данный показатель оказывает комплексное воздействие на технологический процесс, влияя на скорость удаления влаги, общую продолжительность обработки, качественные характеристики получаемого продукта, а также на уровень энергетических затрат.

Экспериментальные исследования позволили выявить зависимость между величиной остаточного давления и интенсивностью обезвоживания (таблица 2).

Таблица 2.
Показатели вакуумной сушки гидролизатов при различном остаточном давлении (t = 60 °C)
Table 2.
Characteristics of vacuum drying of hydrolysates at different residual pressures (t = 60 °C)

Показатель Indicator	Остаточное давление, кПа Residual pressure, kPa		
	5 ± 0,5	8 ± 0,5	10 ± 0,5
Длительность сушки, мин Drying time, min.	130 ± 15	150 ± 10	160 ± 15
Массовая доля влаги, % Mass fraction of moisture, %	4,80 ± 0,10	4,95 ± 0,05	5,10 ± 0,10
Удельные затраты энергии, кВт·ч/кг удаленной влаги Specific energy consumption, kW·h/kg of moisture removed	3,80 ± 0,15	2,92 ± 0,15	3,44 ± 0,15

При увеличении остаточного давления наблюдалось замедление процесса удаления влаги из материала. В частности, при поддержании давления на уровне $10 \pm 0,5$ кПа и толщине слоя 20 мм продолжительность сушки достигала 160 ± 15 минут. Данный показатель на 7% выше по сравнению с режимом, где остаточное давление составляло $8 \pm 0,5$ кПа, и на 19% превышал значения, зафиксированные при давлении $5 \pm 0,5$ кПа, что согласуется с результатами аналогичных исследований в отношении сывороточных белков [15] и плодово-ягодного сырья [16, 17].

Установленная закономерность объясняется снижением движущей силы процесса массопереноса. При более высоком остаточном давлении уменьшается градиент давления между высушиваемым материалом и окружающей средой, что приводит к замедлению диффузионных процессов и, как следствие, к увеличению продолжительности обработки [9, 11].

Экспериментальные исследования показали наличие обратной зависимости между величиной остаточного давления в системе и степенью обезвоживания продукта. Понижение давления сопровождалось более интенсивным удалением влаги из гидролизата. При поддержании остаточного давления на уровне $10 \pm 0,5$ кПа конечная влажность продукта достигала 5,1%. Снижение давления до $5 \pm 0,5$ кПа способствовало уменьшению данного показателя до 4,8%.

Заключение

Анализ энергетической эффективности процесса выявил наличие оптимального режима, обеспечивающего минимальные удельные затраты энергии. Наилучшие показатели зафиксированы при остаточном давлении $8 \pm 0,5$ кПа. Отклонение от данного режима в сторону уменьшения давления до $5 \pm 0,5$ кПа приводило к существенному росту энергопотребления – увеличение составило 12,5%. Подобная динамика объясняется

необходимостью поддержания более глубокого вакуума на протяжении длительного времени, что сопровождается возрастанием продолжительности процесса обезвоживания.

Повышение давления до $10 \pm 0,5$ кПа также негативно сказывалось на энергетической эффективности. Удельные затраты энергии возрастали на 5% относительно оптимального режима. Причиной данного явления выступает увеличение нагрузки на вакуумное оборудование, вынужденное компенсировать возросшие потери через неплотности технологической системы при более высоком остаточном давлении.

Таким образом, экспериментально установлено, что режим вакуумной сушки при остаточном давлении $8 \pm 0,5$ кПа является наиболее энергоэффективным, обеспечивая необходимую степень обезвоживания при минимальных удельных затратах энергии. Отклонение параметров процесса в сторону как повышения, так и понижения давления сопровождается увеличением энергопотребления, что необходимо учитывать при оптимизации технологических режимов производства.

На основании проведенных экспериментальных исследований установлено, что наиболее рациональным режимом вакуумной сушки раствора гидролизованых белков кальмара является температура 60°C при остаточном давлении $10 \pm 0,5$ кПа. Данный режим обеспечивает оптимальное соотношение качественных характеристик получаемого продукта (органолептические показатели на уровне 17,2 балла, остаточная влажность 5,1%), продолжительности процесса (160 мин) и удельных энергозатрат (2,92 кВт·ч/кг удаленной влаги). Полученный сухой гидролизат может быть рекомендован для использования в качестве белковой добавки при производстве продуктов специализированного и функционального назначения.

Литература

- 1 Clemente A., Jimenez-Lopez J.C. Legumes as food ingredient: characterization, processing, and applications // Foods. 2020. Vol. 9. No. 11. Article 1525. doi: 10.3390/foods9111525
- 2 Di Martino M. Food safety in personalized nutrition – a focus on food supplements and functional foods. Rome: FAO, 2025. URL: <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cd4280en> (датаобращения: 25.02.2026).
- 3 Duncan E., Ashton L., Abdulai A.R. et al. Connecting the food and agriculture sector to nutrition interventions for improved health outcomes // Food Security. 2022. Vol. 14. No. 3. P. 657–675. doi: 10.1007/s12571-021-01237-0
- 4 Бычкова Е.С., Бычков А.Л., Иванов И.В. и др. Разработка рецептур супов-пюре на основе горохового гидролизата. Часть I. Механоферментативный гидролиз белкового растительного сырья // Пищевая промышленность. 2016. № 10. С. 38–42.
- 5 Bychkov A.L., Gavrilova K.V., Bychkova E.S. et al. Fractionation and hydrolysis of proteins of plant raw materials obtaining functional nutrition products // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 479. Article 012001. doi: 10.1088/1757-899X/479/1/012001
- 6 Чугунова О.В., Бикбулатов П.С., Девяткин Д.И. и др. Ресурсный потенциал сортов гороха Свердловской области для получения белковых гидролизатов // Индустрия питания. 2025. Т. 10. № 3. С. 53–61. doi: 10.29141/2500-1922-2025-10-3-6
- 7 Ермолаев В.А. Низкотемпературная вакуумная сушка как способ обезвоживания растительного сырья // Вестник КрасГАУ. 2019. № 1 (142). С. 160–166.

- 8 Курбанова М.Г., Шевякова К.А. Исследование параметров вакуумной сушки для гидролизатов сывороточных белков // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 7. С. 86–90. doi: 10.24411/0235-2451-2018-10721
- 9 Кечин П.А., Чугунова О.В., Насимова С.С. Влияние продолжительности ферментирования и температуры на потери массы кальмара при обесшкуривании // Пищевые технологии: сборник тезисов IV Международного симпозиума. Кемерово, 2025. С. 263–266.
- 10 Бредихина О.В., Игонина И.Н., Зарубин Н.Ю. и др. Использование отходов от переработки кальмаров для получения белкового гидролизата и полифункционального пищевого комплекса на его основе // Рыбное хозяйство. 2019. № 4. С. 99–105.
- 11 Голубева О.А., Краснов А.В., Лебедева Е.С. Сублимационная сушка как один из перспективных методов сушки сырья // Новая наука: современное состояние и пути развития. 2016. № 12-4. С. 60–61.
- 12 Короткий И.А., Расщепкин А.Н., Федоров Д.Е. Анализ влияния температуры нагрева на эффективность вакуумной сушки плодов и ягод // Вестник КрасГАУ. 2016. № 1 (112). С. 47–52.
- 13 Chiodza K., Goosen N.J. Evaluation of handling and storage stability of spray dried protein hydrolysates from sardine processing by-products: effect of enzymatic hydrolysis time, spray drying temperature and maltodextrin concentration // Food and Bioproducts Processing. 2023. Vol. 141. P. 1–22. doi: 10.1016/j.fbp.2023.06.009
- 14 Nikoo M., Benjakul S., Ahmadi Gavlighi H. Protein hydrolysates derived from aquaculture and marine byproducts through autolytic hydrolysis // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2022. Vol. 21. No. 6. P. 4872–4899. doi: 10.1111/1541-4337.13060
- 15 Hanifah A., Kosasih W., Ratnaningrum D., Andriani D. et al. Optimization of the encapsulation of lemuru fish protein hydrolysate by spray-drying using response surface methodology // Food Technology and Biotechnology. 2025. Vol. 63. No. 1. doi: 10.17113/ftb.63.01.25.8626
- 16 Wangtueai S., Tongdeesoontorn W., Srimarut Y., Grosso N.R. et al. Protein hydrolysates from fishery processing by-products: production, characteristics, food applications, and challenges // Foods. 2023. Vol. 12. No. 24. Article 4470. doi: 10.3390/foods12244470
- 17 Roy V.C., Islam M.R., Sadia S., Yeasmin M. et al. Trash to treasure: an up-to-date understanding of the valorization of seafood by-products, targeting the major bioactive compounds // Marine Drugs. 2023. Vol. 21. No. 9. Article 485. doi: 10.3390/md21090485
- 18 Vázquez J.A., Meduñña A., Durán A.I., Nogueira M. et al. Production of valuable compounds and bioactive metabolites from by-products of fish discards using chemical processing, enzymatic hydrolysis, and bacterial fermentation // Marine Drugs. 2019. Vol. 17. No. 3. Article 139. doi: 10.3390/md17030139
- 19 Бурак Л.Ч., Завалей А.П. Эффективность комбинированного воздействия ультразвука и микроволн при обработке пищевых продуктов. Обзор // Техника и технология пищевых производств. 2024. Т. 54. № 2. С. 342–357. doi: 10.21603/2074-9414-2024-2-2510
- 20 Самойлова Д.А., Цибизова М.Е. Вторичные ресурсы рыбной промышленности как источник пищевых и биологически активных добавок // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2015. № 2. С. 129–136.
- 21 Сергазиева О.Д., Климук А.А., Царьков М.Д. Технологические и биохимические свойства рыбных филе и фаршей из гибридов африканского клариевого сома для производства пищевых рыбопродуктов // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2025. Т. 87. № 3. С. 113–121.

References

- 1 Clemente A., Jimenez-Lopez J.C. Legumes as food ingredient: characterization, processing, and applications. Foods. 2020. vol. 9. no. 11. article 1525. doi: 10.3390/foods9111525.
- 2 Di Martino M. Food safety in personalized nutrition – a focus on food supplements and functional foods. Rome: FAO, 2025. Available at: <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cd4280en> (accessed: 25.02.2026).
- 3 Duncan E., Ashton L., Abdulai A.R. et al. Connecting the food and agriculture sector to nutrition interventions for improved health outcomes. Food Security. 2022. vol. 14. no. 3. pp. 657–675. doi: 10.1007/s12571-021-01237-0.
- 4 Bychkova E.S., Bychkov A.L., Ivanov I.V. et al. Development of recipes for puree soups based on pea hydrolysate. Part I. Mechanoenzymatic hydrolysis of protein plant raw materials. Food Industry. 2016. no. 10. pp. 38–42. (in Russian).
- 5 Bychkov A.L., Gavrilova K.V., Bychkova E.S. et al. Fractionation and hydrolysis of proteins of plant raw materials obtaining functional nutrition products. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. vol. 479. Article 012001. doi: 10.1088/1757-899X/479/1/012001.
- 6 Chugunova O.V., Bikbulatov P.S., Devyatkin D.I. et al. Resource potential of pea varieties from the Sverdlovsk region for producing protein hydrolysates. Food Industry. 2025. vol. 10. no. 3. pp. 53–61. doi: 10.29141/2500-1922-2025-10-3-6 (in Russian).
- 7 Ermolaev V.A. Low-temperature vacuum drying as a method of dehydration of plant raw materials. Bulletin of KrasGAU. 2019. no. 1 (142). pp. 160–166. (in Russian).
- 8 Kurbanova M.G., Shevyakova K.A. Study of vacuum drying parameters for whey protein hydrolysates. Achievements of Science and Technology of Agro-Industrial Complex. 2018. vol. 32. no. 7. pp. 86–90. doi: 10.24411/0235-2451-2018-10721 (in Russian).
- 9 Kechin P.A., Chugunova O.V., Nasimova S.S. Influence of fermentation duration and temperature on weight loss of squid during deskinning. In: Food Technologies: Collection of abstracts of the IV International Symposium. Кемерово, 2025. pp. 263–266. (in Russian).
- 10 Bredikhina O.V., Igonina I.N., Zarubin N.Yu. et al. Use of waste from squid processing to obtain protein hydrolysate and a multifunctional food complex based on it. Fisheries. 2019. no. 4. pp. 99–105. (in Russian).
- 11 Golubeva O.A., Krasnov A.V., Lebedeva E.S. Freeze drying as one of the promising methods of drying raw materials. New Science: Current State and Development Paths. 2016. no. 12-4. pp. 60–61. (in Russian).

12 Korotky I.A., Rasshchepkin A.N., Fedorov D.E. Analysis of the influence of heating temperature on the efficiency of vacuum drying of fruits and berries. *Bulletin of KrasGAU*. 2016. no. 1 (112). pp. 47–52. (in Russian).

13 Chiodza K., Goosen N.J. Evaluation of handling and storage stability of spray dried protein hydrolysates from sardine processing by-products: effect of enzymatic hydrolysis time, spray drying temperature and maltodextrin concentration. *Food and Bioproducts Processing*. 2023. vol. 141. pp. 1–22. doi: 10.1016/j.fbp.2023.06.009.

14 Nikoo M., Benjakul S., Ahmadi Gavlighi H. Protein hydrolysates derived from aquaculture and marine byproducts through autolytic hydrolysis. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2022. vol. 21. no. 6. pp. 4872–4899. doi: 10.1111/1541-4337.13060.

15 Hanifah A., Kosasih W., Ratnaningrum D., Andriani D. et al. Optimization of the encapsulation of lemuru fish protein hydrolysate by spray-drying using response surface methodology. *Food Technology and Biotechnology*. 2025. vol. 63. no. 1. [Online first]. doi: 10.17113/ftb.63.01.25.8626.

16 Wangtueai S., Tongdeesoontorn W., Srimarut Y., Grosso N.R. et al. Protein hydrolysates from fishery processing by-products: production, characteristics, food applications, and challenges. *Foods*. 2023. vol. 12. no. 24. article 4470. doi: 10.3390/foods12244470.

17 Roy V.C., Islam M.R., Sadia S., Yeasmin M. et al. Trash to treasure: an up-to-date understanding of the valorization of seafood by-products, targeting the major bioactive compounds. *Marine Drugs*. 2023. vol. 21. no. 9. article 485. doi: 10.3390/md21090485.

18 Vázquez J.A., Meduña A., Durán A.I., Nogueira M. et al. Production of valuable compounds and bioactive metabolites from by-products of fish discards using chemical processing, enzymatic hydrolysis, and bacterial fermentation. *Marine Drugs*. 2019. vol. 17. no. 3. article 139. doi: 10.3390/md17030139.


19 Burak L.Ch., Zavalei A.P. Efficiency of combined exposure to ultrasound and microwaves in food processing. *Review. Technique and Technology of Food Production*. 2024. vol. 54. no. 2. pp. 342–357. doi: 10.21603/2074-9414-2024-2-2510 (in Russian).

20 Samoilova D.A., Tsibizova M.E. Secondary resources of the fishing industry as a source of food and biologically active additives. *Bulletin of Astrakhan State Technical University. Series: Fisheries*. 2015. no. 2. pp. 129–136. (in Russian).


21 Sergazieva O.D., Klimuk A.A., Tsarkov M.D. Technological and biochemical properties of fish fillets and minces from African sharp-tooth catfish hybrids for the production of food fish products. *Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2025. vol. 87. no. 3. pp. 113–121. (in Russian).

Сведения об авторах


Ольга В. Чугунова д.т.н., заведующий кафедрой, кафедра технологии питания, Уральский государственный экономический университет, ул. 8 марта/Народной Воли 62/45 г. Екатеринбург, 620144, Россия, chugun.ova@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-7039-4047>


Павел А. Кечин аспирант, кафедра технологии питания, Уральский государственный экономический университет, ул. 8 марта/Народной Воли 62/45 г. Екатеринбург, 620144, Россия, kechin-msk@ya.ru

 <https://orcid.org/0009-0002-2183-0997>

Пётр А. Чугунов научный сотрудник, лаборатория электрохимических устройств и топливных элементов, Институт высокотемпературной электрохимии УроРАН, ул. Академическая, стр 20, г. Екатеринбург, 620066, Россия, m107.chugunov@ya.ru

 <https://orcid.org/0009-0007-8878-803X>

Екатерина В. Пастушкова д.т.н., профессор, кафедра управления качеством и экспертизы товаров и услуг, Уральский государственный экономический университет, ул. 8 марта/Народной Воли 62/45 г. Екатеринбург, 620144, Россия, pas-ekaterina@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-6992-1201>

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов


Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors


Olga V. Chugunova Dr. Sci. (Engin.), professor, head of department, nutrition technology department, Ural State University of Economics, 8 March/Narodnoy Voli Street 62/45, Yekaterinburg, 620144, Russia, chugun.ova@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-7039-4047>


Pavel A. Kechin graduate student, nutrition technology department, Ural State University of Economics, 8 March/Narodnoy Voli Street 62/45, Yekaterinburg, 620144, Russia, kechin-msk@ya.ru

 <https://orcid.org/0009-0002-2183-0997>

Petr A. Chugunov research fellow, laboratory of electrochemical devices and fuel cells, Institute of High-Temperature Electrochemistry, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Akademicheskaya St., Bldg. 20, Yekaterinburg, 620066, Russia, m107.chugunov@ya.ru

 <https://orcid.org/0009-0007-8878-803X>

Ekaterina V. Pastushkova Doctor of Technical Sciences, Professor, quality management and expertise of goods and services department, Ural State University of Economics, 8 March/Narodnoy Voli Street 62/45, Yekaterinburg, 620144, Russia, pas-ekaterina@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-6992-1201>

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 09/03/2026	После редакции 01/04/2026	Принята в печать 20/04/2026
Received 09/03/2026	Accepted in revised 01/04/2026	Accepted 20/04/2026