

## КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ МОДИФИКАЦИИ СВОЙСТВ РАСТИТЕЛЬНЫХ БЕЛКОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ

**С.П. Меренкова**, *merenkovasp@susu.ru*, <https://orcid.org/0000-0002-8795-1065>  
Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

**Аннотация.** Целью данного исследования являлось проведение комплексного обзора существующих технологий выделения и модификации белковых компонентов из растительных ресурсов с применением интеллектуальных методов анализа. Несмотря на обоснованные преимущества растительных белков, их использование ограничивается рядом факторов: несбалансированностью аминокислотного состава; высокой аллергенностью; значительной концентрацией антипитательных факторов; низкой усвояемостью и функционально-технологическими свойствами. Для нивелирования негативных эффектов применяют разнообразные подходы для модификации структуры и свойств белков. Для проведения интеллектуального анализа исследований в данной отрасли на платформе ScienceDirect по запросу “Plant Proteins” было найдено 340 400 публикаций, наиболее активно научные исследования в данном направлении проводятся в таких странах, как Китай и США; наблюдается ежегодный прирост количества публикаций. Наиболее рейтинговые статьи в данной области насчитывают от 187 до 644 цитирований. Авторы доказали возможность модификации структуры и функционально-технологических свойств растительных белков с применением различных методов, в том числе ферментативного гидролиза и ультразвукового воздействия. Основной задачей при поиске новых технологий являются повышение биодоступности, минимизация протеолиза и изменений нативной структуры белковых фракций во время переработки. Комбинированная обработка растительных биоресурсов, включающая комбинацию методов тепловой обработки с применением рН сдвига или ферментативного гидролиза рекомендуется как высокоэффективная технология, позволяющая направленно регулировать технологические свойства белковых компонентов и их функциональность. Белок из семян технической конопли отличается сбалансированным аминокислотным составом, высокой биодоступностью и биоактивными свойствами, в связи с этим комплексный анализ существующих технологий и разработка новых методов выделения и регулирования технологических и функциональных свойств белка является важной задачей современной экономики.

**Ключевые слова:** растительные белки, выделение и модификации свойств, структура белка, биотехнологическая обработка, ультразвуковое воздействие, белок семян конопли, вторичные биоресурсы

**Для цитирования:** Меренкова С.П. Комплексное исследование технологий модификации свойств растительных белков с применением интеллектуального анализа данных // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2026. Т. 14, № 1. С. 30–38. DOI: 10.14529/food260103

Original article

DOI: 10.14529/food260103

## A COMPREHENSIVE STUDY OF PLANT PROTEIN MODIFICATION TECHNOLOGIES EMPLOYING INTELLIGENT DATA ANALYSIS

S.P. Merenkova, merenkovasp@susu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8795-1065>

South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

**Abstract.** The aim of this study was to conduct a comprehensive review of existing technologies for the extraction and modification of protein components from plant resources using intelligent analysis methods. Despite the proven advantages of plant proteins, their application is limited by several factors, including an imbalanced amino acid composition, high allergenicity, a significant concentration of antinutritional factors, low digestibility, and poor functional and technological properties. To mitigate these negative effects, various approaches are employed to modify the structure and properties of proteins. An intelligent analysis of research in this field, conducted on the ScienceDirect platform using the query “Plant Proteins”, retrieved 340,400 publications. The most active scientific research in this area is carried out in China and the USA, with an annual increase in the number of publications observed. The most highly ranked articles in this domain received from 187 to 644 citations. The authors demonstrated the feasibility of modifying the structure and functional-technological properties of plant proteins using various methods, including enzymatic hydrolysis and ultrasonic treatment. The primary objective in the search for new technologies is to enhance bioavailability while minimizing proteolysis and changes to the native structure of protein fractions during processing. Complex processing technology of plant bioresources, involving a combination of non-thermal treatment methods with the application of pH shifting or enzymatic hydrolysis, is recommended as a highly effective technology. This approach allows for the targeted regulation of the technological properties and functionality of protein components. Hemp seed protein is distinguished by its balanced amino acid composition, high bioavailability, and bioactive properties. Consequently, a comprehensive analysis of existing technologies and the development of new methods for the extraction and regulation of the technological and functional properties of this protein represent a crucial task for the modern economy.

**Keywords:** plant proteins, extraction and property modification technologies, protein structure, biotechnological processing, ultrasonic treatment, hemp seed protein, secondary bioresources

**For citation:** Merenkova S.P. A comprehensive study of plant protein modification technologies employing intelligent data analysis. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2026, vol. 14, no. 1, pp. 30–38. (In Russ.) DOI: 10.14529/food260103

### Введение

На мировом рынке наблюдается прогрессивный рост производства белков из растительного сырья, согласно прогнозам, к 2027 году рынок растительных белков достигнет 17,4 млрд долларов [1]. Согласно исследованиям ученых, процесс их производства экономически рентабелен, экологически безопасен и отвечает современным требованиям потребителей на «зеленую этикетку» [2, 3].

Объем российского рынка растительных протеинов в 2024 году составил 185,4 тыс. тонн при ежегодном возрастании объемов производства на 3 %; к 2035 году данный показатель достигнет 215,6 тыс. тонн еже-

годно. В России использование растительных белков в продуктах питания остается невысоким и не превышает 10 % от общих объемов потребления. Эксперты связывают сдержанные темпы роста рынка белка из растительных ресурсов в нашей стране со слабо сформированной культурой их потребления и высокой стоимостью по сравнению с традиционными источниками белка [4]. Однако в настоящее время наблюдается дефицит качественных белковых компонентов, которые востребованы в отраслях агропромышленного сектора, пищевой промышленности, для производства продуктов специализированного питания [5].

Использование растительных белков ограничивается рядом факторов: несбалансированностью аминокислотного состава; высокой аллергенностью; значительной концентрацией антипитательных факторов (лектины, ингибиторы протеаз, фитоэстрогены, стахиоза, раффиноза, фитаты, микротоксины), а также низкой усвояемостью и неудовлетворительными функционально-технологическими свойствами [6]. Для нивелирования данных негативных эффектов применяют разнообразные подходы для модификации структуры и свойств белков путем конформации или фрагментации полипептидной цепи химическими, физико-химическими и биотехнологическими методами.

**Целью данного исследования** являлось проведение комплексного обзора существующих технологий выделения и модификации белковых компонентов из растительных ресурсов с применением интеллектуальных методов анализа.

#### Методы анализа

Был проведен поиск научных публикаций на платформе ScienceDirect по запросу “Plant Proteins” за период 2000–2026 гг., полученные данные систематизированы по странам и по годам публикации. Для анализа наиболее авторитетных публикаций в данной области и построения связей с другими исследованиями был проведен семантический анализ с использованием интеллектуального сервиса “Litmaps” (litmaps.com).

#### Результаты анализа

Поиск новых технологий альтернативных источников белка в последние годы привлекает внимание ученых из разных стран и является одним из наиболее запрашиваемых и цитируемых направлений в научном мире. На платформе ScienceDirect по запросу “Plant Proteins” всего было найдено 340 400 публикаций, в том числе в категории “Review Articles” – 63200; “Research Articles” – 241 815; “Book Chapters” – 34 890 публикация (рис. 1). Наиболее активно научные исследования в данном направлении проводятся в таких странах, как Китай и США (установлено более 14 000 публикаций с 2020 по 2025 год), в то время как в Индии, в странах Евросоюза и в России количество публикаций за последние пять лет составило от 900 до 4900. Ежегодно наблюдается линейный рост количества публикаций с 38 300 в 2020 году до 71 200 в 2025 году.

Проведен семантический анализ публикаций по теме “Plant Proteins” с использованием интеллектуального сервиса “Litmaps”, который осуществляет поиск по ключевым словам и по сети цитирования. На рис. 2 приведено 20 наиболее цитируемых публикаций в данной области научных исследований, причем наиболее рейтинговые статьи насчитывают от 644 до 187 цитирований. Такие авторы, как Jiang et al., 2014; Zhu et al., 2018; Akharume et al., 2021 доказали возможность модификации структуры и функционально-

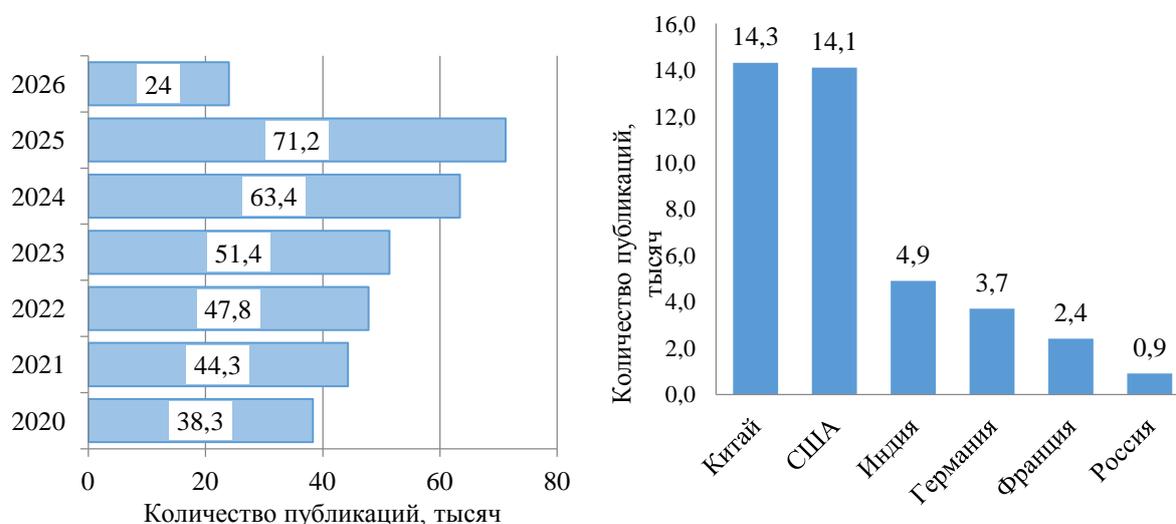


Рис. 1. Распределение публикаций по годами и странам за последние 5 лет

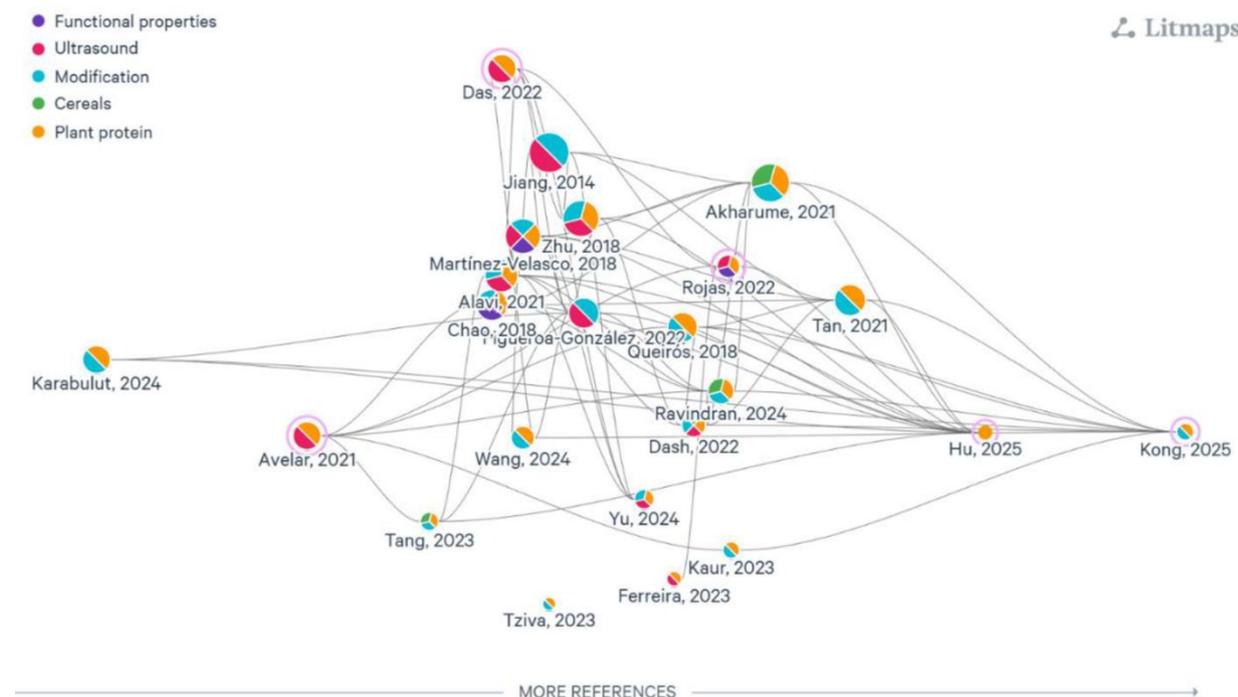


Рис. 2. Семантическая карта взаимосвязи научных публикаций на сервисе Litmaps

технологических свойств растительных белков с применением различных методов, в том числе ферментативного гидролиза и ультразвукового воздействия [7–11].

Широкий перечень растительных культур, таких как бобовые, злаковые, масличные, ореховые, является сырьевым ресурсом для получения белковых добавок. Выбор растительного сырья определяет последовательность и параметры технологических стадий, методы выделения белка, а также влияет на свойства и пищевую ценность конечного продукта.

Согласно статистическим данным, более 70 % общего мирового объема рынка растительного белка приходится на соевый и пшеничный белки, которые применяются в рецептуре наиболее востребованных продуктов питания, а также в составе аналогов мясных и молочных продуктов [12]. Однако установлено, что компоненты, полученные при переработке сои и пшеницы, относятся к самым распространенным пищевым аллергенам (до 90 % пищевых аллергических реакций), а также характеризуются высоким содержанием антипитательных факторов [13].

К одной из задач Стратегии развития пищевой промышленности Российской Федера-

ции относится поиск технологии глубокой переработки возобновляемых биоресурсов и производство новых видов пищевых ингредиентов. Вторичные ресурсы масличного производства характеризуются значительным потенциалом с точки зрения получения компонентов с высокой добавленной стоимостью, жмыхи и шроты отличаются высоким содержанием белковых фракций, содержат остаточные количества полиненасыщенных жирных кислот и биологически активных соединений – каротиноидов, фенольных соединений, токоферолов и фитостеролов [14, 15].

Выделение из вторичных ресурсов и переработка растительных белков включает физико-химическую, термическую, ферментативную обработку, которая влияет как на питательную ценность, усвояемость белковых компонентов, так и на их функциональные свойства [8, 16]. При разработке «зеленых технологий» исследования направлены на внедрение нетепловых и экологически чистых методов эффективной экстракции белковых фракций. Основной задачей при поиске новых технологий являются повышение биодоступности, минимизация протеолиза и изменений нативной структуры белковых фракций во время переработки, а также снижение концен-

трации антипитательных компонентов [10, 17]. Немаловажным фактором при поиске новых технологий является соответствие принципу экономической эффективности, сокращение продолжительности технологических этапов при сохранении высокого выхода конечного продукта, отвечающего критериям качества и безопасности, а также потребностям производителей [8, 19].

Биотехнологическая модификация растительных белков с использованием ферментов коммерческих штаммов микроорганизмов или изолированных ферментных препаратов отличается высокой специфичностью, воспроизводимостью и экологичностью по сравнению с химическими и физико-химическими методами [6]. При этом важными факторами процесса модификации белковых компонентов являются тип фермента, его концентрация, параметры гидролиза и тип сырьевого ресурса. Ферментативная обработка растительных белков улучшает их функционально-технологические свойства и усвояемость, позволяет получать биоактивные пептиды, которые обладают доказанными антиоксидантными, антипролиферативными, антидиабетическими, антимикробными, гипохолестериновыми и иммуномодулирующими свойствами [16, 20].

Комбинированная обработка растительных биоресурсов, включающая комбинацию методов нетермической обработки (ультразвуковая, холодной плазмой, высоким давлением) с применением рН сдвига или ферментативного гидролиза, рекомендуется как высокоэффективная технология, позволяющая направленно регулировать технологические свойства белковых компонентов (растворимость, ВСС, ВУС, ЭС, ЖУС) и их функциональность [9, 17, 18].

Техническая конопля (*Cannabis sativa L.*) является привлекательным источником растительного белка, – не вызывает пищевых аллергий и относится к возобновляемым ресурсам с многообещающим потенциалом благодаря своей универсальности, быстрому росту и положительному влиянию на окружающую среду. С 1996 года были одобрены сорта с содержанием тетрагидроканнабинола (ТГК) менее 0,3 %, интерес к конопле в пищевой промышленности неуклонно растет, что облегчает ее выращивание в различных странах. В 2025 году мировой рынок технической конопли достиг отметки в 26,6 миллиарда долларов.

Техническая конопля широко используется в пищевой промышленности для получения масла, муки и белковых компонентов [21, 22].

Цельные семена конопли, содержащие около 25 % легкоусвояемых белков, обладают заметными преимуществами с точки зрения питательной ценности благодаря отсутствию ингибиторов протеаз, сбалансированному аминокислотному составу, высокой усвояемости и биодоступности. Запасные белки семян конопли включают эдестин (в форме 11S-глобулина, до 60–80 % от общего количества белка) и альбумин (в форме 2S-глобулина, до 25 % от общего содержания белков). Эдестин и альбумин являются ценным источником незаменимых аминокислот, особенно серосодержащих аминокислот и аргинина [23]. Белковые концентраты и изоляты из семян конопли характеризуются биологической активностью, в том числе антиоксидантными и противовоспалительными свойствами, оказывают гипохолестеринемическое действие [24].

На характеристики белков и их функциональные свойства в значительной степени влияют различные факторы, такие как генотип растения, химическая структура и комплексные взаимодействия с компонентами пищевой матрицы, а также способ выделения и обработки [25]. Для формирования требуемых характеристик белка из семян конопли применяют разные методы и стадии обработки [23, 26].

1. Механические методы обработки: удаление оболочки и выделение ядра (мицеллизация), при этом снижается содержание антипитательных веществ, пищевых волокон и пигментов; прессование – отделение липидной фракции, значительно повышается концентрация белка. Стадии измельчения и просеивание – отделяют оболочечные и крахмалистые фракции, сохраняется нативная структура белковых молекул.

2. Физико-химические методы обработки, к которым относят солевую или щелочную экстракцию белковых компонентов при нагревании, при этом происходит осаждение белков, чувствительных к уровню рН среды, конформация структуры эдестина и альбумина, изменяются их биодоступность, растворимость, водоудерживающие, эмульгирующие и пенообразующие свойства.

3. Физические методы обработки, к которым относятся ультразвуковое воздействие и обработка холодной плазмой, являются наибо-

лее экологичными биотехнологиями, которые оказывают ограниченное влияние на субъединицы белков семян конопли, позволяют сохранить их молекулярную структуру и биоактивные свойства. Рекомендуется комбинировать данные методы с механической обработкой или биотехнологической модификацией.

#### Заключение

Поиск новых технологий альтернативных источников белка является одним из наиболее запрашиваемых и цитируемых направлений в научном мире. Согласно данным интеллекту-

ального анализа, установлено более 340 тысяч публикаций в данной области, число которых ежегодно прогрессивно возрастает. Белок из семян технической конопли отличается сбалансированным аминокислотным составом, высокой биодоступностью и биоактивными свойствами, в связи с этим комплексный анализ существующих технологий и разработка новых методов выделения и регулирования технологических и функциональных свойств белка является важной задачей современной экономики.

#### Список литературы

1. Жихарёва В. Вместо молока и мяса: почему растительные протеины становятся популярнее. 2023. URL: <https://plus-one.ru/manual/2023/07/14/vmesto-moloka-i-myasa> (дата обращения: 23.02.2026)
2. Plant-Based Eating and Alternative Proteins Market Research Report Euromonitor. URL: <https://www.euromonitor.com/plant-based-eating-and-alternative-proteins/report>. (дата обращения 19.02.2026).
3. Sim S.Y.J., Srv A., Chiang J.H., Henry C.J. Plant Proteins for Future Foods: A Roadmap // Foods. 2021. Vol. 10. Art. 1967. DOI: 10.3390/foods10081967
4. Производство растительных аналогов мяса растет в основном за счет кормов для животных // Коммерсант. 2024. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/7233590>. (дата обращения 21.02.2026)
5. Ismail B.P., Senaratne-Lenagala L., Stube A., Brackenridge A. Protein demand: Review of plant and animal proteins used in alternative protein product development and production // Animal Frontiers. 2020. Vol. 10(4). P. 53–63. DOI: 10.1093/af/vfaa040
6. Куликов Д.С., Аксёнова 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. P. 20–25. DOI: 10.52653/PPI.2024.3.3.004
7. Jiang L., Wang J., Li Y. et al. Effects of ultrasound on the structure and physical properties of black bean protein isolates // Food Research International. 2014. Vol. 62. P. 595–601. DOI: 10.1016/j.foodres.2014.04.022
8. Akharume F.U., Aluko R. & Adedeji A. Modification of plant proteins for improved functionality: A review // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2021. Vol. 20, no. 1. P. 198–224. DOI: 10.1111/1541-4337.12688
9. Zhu Zhenbao, Weiduo Zhu, Jianhua Yi et al. Effects of sonication on the physicochemical and functional properties of walnut protein isolate // Food Research International. 2018. Vol. 106. P. 853–861. DOI: 10.1016/j.foodres.2018.01.060
10. Martínez-Velasco A., Lobato-Calleros C., Hernández-Rodríguez B.E. et al. High intensity ultrasound treatment of faba bean (*Vicia faba* L.) protein: Effect on surface properties, foaming ability and structural changes // Ultrasonics sonochemistry. 2018. Vol. 44. P. 97–105. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2018.02.007
11. Alavi F., Chen L. & Emam-Djomeh Z. Effect of ultrasound-assisted alkaline treatment on functional property modifications of faba bean protein // Food Chemistry. 2021. Vol. 354. Art. no. 129494. DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.129494
12. Colletti A., Attrovio A., Boffa L. et al. Valorisation of by-products from Soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) processing // Molecules. 2020. Vol. 25. Art. no. 2129. DOI: 10.3390/molecules25092129
13. Remington B.C., Taylor S.L., Marx D.B. et al. Soy and wheat – contamination levels and food allergy risk assessment // Food Chem. Toxicol. 2013. Vol. 62. P. 485–491. DOI: 10.1016/j.fct.2013.09.013

14. Kotecka-Majchrzak K., Sumara A., Fornal E., Montowska M. Oilseed proteins – Properties and application as a food ingredient // *Trends in Food Science & Technology*. 2020. Vol. 106. P. 160–170. DOI: 10.1016/j.tifs.2020.10.004
15. Nevara G.A. Oilseed meals into foods: An approach for the valorization of oilseed by-products // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2023. Vol. 63, iss. 23. P. 6330–6343. DOI: 10.1080/10408398.2022.2031092
16. Olatunde O.O., Owolabi I.O., Fadairo O.S. et al. Enzymatic modification of plant proteins for improved functional and bioactive properties // *Food and Bioprocess Technology*. 2022. Vol. 16. P. 1216–1234. DOI: 10.1007/s11947-022-02971-5
17. Figueroa-González J.J., Lobato-Calleros C., Vernon-Carter E.J. et al. Modifying the structure, physicochemical properties, and foaming ability of amaranth protein by dual pH-shifting and ultrasound treatments // *LWT*. 2022. Vol. 153. Art. no. 112561. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.112561
18. Nasrabadi M.N., Doost A.S., Mezzenga R. Modification approaches of plant-based proteins to improve their techno-functionality and use in food products // *Food Hydrocolloids*. 2021. Vol. 118. Art. no. 106789. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2021.106789
19. Меренкова С.П., Калинина И.В., Грачев С.А. Получение белковых концентратов из продуктов переработки масличного сырья // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии»*. 2025. Т. 13, № 3. С. 16–25. DOI: 10.14529/food250302
20. Куликов Д.С., Королев А.А. Аспекты ферментативной модификации растительных белков // *Пищевые системы*. 2025. Vol. 8(1). P. 22–28. DOI: 10.21323/2618-9771-2025-8-1-22-28
21. Raihan A., Bijoy R. A review of the industrial use and global sustainability of *Cannabis sativa* // *Glob. Environ. Res*. 2023. Vol. 2. P. 1–29. DOI: 10.56556/gssr.v2i4.597
22. Tănase Apetroaei V., Pricop E.M., Istrati D.I., Vizireanu C. Hemp seeds (*cannabis sativa* l.) as a valuable source of natural ingredients for functional Foods – A Review // *Molecules*. 2024. Vol. 29. Art. no. 2097. DOI: 10.3390/molecules29092097
23. Bárta J., Roudnický P., Jarošová M. et al. Proteomic Profiles of Whole Seeds, Hulls, and Dehulled Seeds of Two Industrial Hemp (*Cannabis sativa* L.) Cultivars // *Plants*. 2024. Vol. 13. Art. no. 111. DOI: 10.3390/plants13010111
24. Aluko R.E. Hemp Seed (*Cannabis sativa* L.) Proteins: Composition, Structure, Enzymatic Modification, and Functional or Bioactive Properties // *In Sustainable Protein Sources*, Nadathur, S.R., Wanasundara, J.P.D., Scanlin, L., Eds. Academic Press: San Diego, CA, USA, 2017. P. 121–132.
25. Xu Y., Zhao J., Hu R. et al. Effect of genotype on the physicochemical, nutritional, and antioxidant properties of hempseed // *J. Agric. Food Res*. 2021. Vol. 3. Art. no. 100119. DOI: 10.1016/j.jafr.2021.100119
26. Burton R.A., Andres M., Cole M. et al. Industrial hemp seed: From the field to value-added food ingredients // *J. Cannabis Res*. 2022. Vol. 4. Art. no. 45. DOI: 10.1186/s42238-022-00156-7

## References

1. Zhikhareva V. *Vmesto moloka i myasa: pochemu rastitel'nye proteiny stanovyatsya populyarnee* [Instead of milk and meat: why vegetable proteins are becoming more popular]. 2023. URL: <https://plus-one.ru/manual/2023/07/14/vmesto-moloka-i-myasa> (accessed: 23.02.2026)
2. Plant-Based Eating and Alternative Proteins Market Research Report Euromonitor. URL: <https://www.euromonitor.com/plant-based-eating-and-alternative-proteins/report> (accessed: 19.02.2026)
3. Sim S.Y.J., Srv A., Chiang J.H., Henry C.J. Plant Proteins for Future Foods: A Roadmap. *Foods*, 2021, vol. 10, art. 1967. DOI: 10.3390/foods10081967
4. Proizvodstvo rastitel'nykh analogov myasa rastet v osnovnom za schet kormov dlya zhivotnykh [The production of plant-based meat analogues is growing mainly due to animal feed]. *Kommersant*, 2024. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/7233590> (accessed: 21.02.2026)
5. Ismail B.P., Senaratne-Lenagala L., Stube A., Brackenridge A. Protein demand: Review of plant and animal proteins used in alternative protein product development and production. *Animal Frontiers*, 2020, vol. 10(4), pp. 53–63. DOI: 10.1093/af/vfaa040

6. Kulikov D.S., Aksenova L.M., Samoilova A.M. Functional and technological properties of protein products from leguminous crops and their modification under the influence of various factors. Part 1. *Food Industry*, 2024, no. 3, pp. 20–25. (In Russ.) DOI: 10.52653/PPI.2024.3.3.004
7. Jiang L., Wang J., Li Y., Wang Z., Liang J., Wang R., Chen Y., Wenjun M., Qi B. & Zhang M. Effects of ultrasound on the structure and physical properties of black bean protein isolates. *Food Research International*, 2014, vol. 62, pp. 595–601. DOI: 10.1016/j.foodres.2014.04.022
8. Akharume F.U., Aluko R. & Adedeji A. Modification of plant proteins for improved functionality: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2021, vol. 20, no. 1, pp. 198–224. DOI: 10.1111/1541-4337.12688
9. Zhu Zhenbao, Weiduo Zhu, Jianhua Yi et al. Effects of sonication on the physicochemical and functional properties of walnut protein isolate. *Food Research International*, 2018, vol. 106, pp. 853–861. DOI: 10.1016/j.foodres.2018.01.060
10. Martínez-Velasco A., Lobato-Calleros C., Hernández-Rodríguez B.E., Román-Guerrero A., Alvarez-Ramirez J., Vernon-Carter E.J. High intensity ultrasound treatment of faba bean (*Vicia faba* L.) protein: Effect on surface properties, foaming ability and structural changes. *Ultrasonics sonochemistry*, 2018, vol. 44, pp. 97–105. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2018.02.007
11. Alavi F., Chen L. & Emam-Djomeh Z. Effect of ultrasound-assisted alkaline treatment on functional property modifications of faba bean protein. *Food Chemistry*, 2021, vol. 354. DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.129494
12. Colletti A., Attrovio A., Boffa L., Mantegna S., Cravotto G. Valorisation of by-products from Soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) processing. *Molecules*, 2020, vol. 25, art. no. 2129. DOI: 10.3390/molecules25092129
13. Remington B.C., Taylor S.L., Marx D.B., Petersen B.J., Baumert J.L. Soy and wheat – contamination levels and food allergy risk assessment. *Food Chem. Toxicol.*, 2013, vol. 62, pp. 485–491. DOI: 10.1016/j.fct.2013.09.013
14. Kotecka-Majchrzak K., Sumara A., Fornal E., Montowska M. Oilseed proteins – Properties and application as a food ingredient. *Trends in Food Science & Technology*, 2020, vol. 106, pp. 160–170. DOI: 10.1016/j.tifs.2020.10.004
15. Nevara G.A. Oilseed meals into foods: An approach for the valorization of oilseed by-products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2023, vol. 63(23), pp. 6330–6343. DOI: 10.1080/10408398.2022.2031092
16. Olatunde O.O., Owolabi I.O., Fadairo O.S., Ghosal A., Coker O.J., Soladoye O.P. et al. Enzymatic modification of plant proteins for improved functional and bioactive properties. *Food and Bioprocess Technology*, 2022, vol. 16, pp. 1216–1234. DOI: 10.1007/s11947-022-02971-5
17. Figueroa-González J.J., Lobato-Calleros C., Vernon-Carter E.J., Aguirre-Mandujano E., Alvarez-Ramirez J. & Martínez-Velasco A. Modifying the structure, physicochemical properties, and foaming ability of amaranth protein by dual pH-shifting and ultrasound treatments. *LWT*, 2022, vol. 153. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.112561
18. Nasrabadi M.N., Doost A.S., Mezzenga R. Modification approaches of plant-based proteins to improve their techno-functionality and use in food products. *Food Hydrocolloids*, 2021, vol. 118, art. no. 106789. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2021.106789
19. Merenkova S.P., Kalinina I.V., Grachev S.A. Production of protein concentrates from secondary products of oilseeds processing. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2025, vol. 13, no. 3, pp. 16–25. (In Russ.) DOI: 10.14529/food250302
20. Kulikov D.S., Korolev A.A. Aspects of enzymatic modification of plant proteins. *Food Systems*, 2025, vol. 8(1), pp. 22–28. DOI: 10.21323/2618-9771-2025-8-1-22-28
21. Raihan A., Bijoy R. A review of the industrial use and global sustainability of *Cannabis sativa*. *Glob. Environ. Res.*, 2023, vol. 2, pp. 1–29. DOI: 10.56556/gssr.v2i4.597
22. Tănase Apetroaei V., Pricop E.M., Istrati D.I. et al. Hemp seeds (*Cannabis sativa* L.) as a valuable source of natural ingredients for functional foods – A Review. *Molecules*, 2024, vol. 29, art. no. 2097. DOI: 10.3390/molecules29092097
23. Bárta J., Roudnický P., Jarošová M., Zdráhal Z., Stupková A., Bártová V., Krejčová Z., Kyselka J., Filip V., Říha, V., et al. Proteomic Profiles of Whole Seeds, Hulls, and Dehulled Seeds of

Two Industrial Hemp (*Cannabis sativa* L.) Cultivars. *Plants*, 2024, vol. 13, art. no. 111. DOI: 10.3390/plants13010111

24. Aluko R.E. Hemp Seed (*Cannabis sativa* L.) Proteins: Composition, Structure, Enzymatic Modification, and Functional or Bioactive Properties. In *Sustainable Protein Sources*, Nadathur, S.R., Wanasundara, J.P.D., Scanlin, L., Eds. Academic Press: San Diego, CA, USA, 2017, pp. 121–132.

25. Xu Y., Zhao J., Hu R., Wang W., Griffin J., Li Y., Sun X.S., Wang D. Effect of genotype on the physicochemical, nutritional, and antioxidant properties of hempseed. *J. Agric. Food Res.*, 2021, vol. 3, art. no. 100119. DOI: 10.1016/j.jafr.2021.100119

26. Burton R.A., Andres M., Cole M., Cowely J.M., Augustin, M.A. Industrial hemp seed: From the field to value-added food ingredients. *J. Cannabis Res.*, 2022, vol. 4, art. no. 45. DOI: 10.1186/s42238-022-00156-7

***Информация об авторе***

**Меренкова Светлана Павловна**, кандидат ветеринарных наук, доцент кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия, merenkovasp@susu.ru

***Information about the author***

**Svetlana P. Merenkova**, candidate of Veterinary Sciences, associate Professor of Department of Food and Biotechnology, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; merenkovasp@susu.ru

***Статья поступила в редакцию 24.02.2026***

***The article was submitted 24.02.2026***