

УДК 664:637.181

Напитки на растительной основе: обзор сырьевых компонентов и технологий получения

Д. И. Алексаночкин*, И. Д. Семенов, И. А. Фоменко

*Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), г. Москва, Россия;
e-mail: aleksanochkindi@list.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-7677-6583>

Информация о статье Реферат

Поступила
в редакцию
19.03.2025;

получена
после доработки
10.04.2025;

принята
к публикации
21.05.2025

Ключевые слова:

напитки на растительной
основе,
альтернативное молоко,
непереносимость
лактозы,
технология получения
напитков,
ферментативная
экстракция,
рынок растительных
напитков

Для цитирования

Непереносимость лактозы представляет собой широко распространенное патологическое состояние, характеризующееся недостаточной активностью фермента β -галактозидазы (лактазы). Согласно современным эпидемиологическим данным это нарушение обмена веществ наблюдается у 70 % населения мира, распространенность среди российского населения составляет 61 %. В качестве альтернативного источника питательных веществ животному молоку рекомендуется использование растительных напитков. В основном их получают из различных культур, таких как бобовые, масличные, орехоплодные и злаковые. Первичная обработка сырья определяется его биохимическими и структурными особенностями, включая содержание белков, жиров и углеводов (БЖУ), а также физико-химическими свойствами матрикса. Для производства растительных напитков преимущественно используется высокобелковое сырье: соевые бобы (до 40 % белка), миндальные орехи (10–29 % белка), конопляные семена (20–30 % белка). Эти культуры являются ценными источниками различных микронутриентов, таких как витамины, минералы и антиоксиданты. Выбор конкретного типа сырья зависит от множества факторов: вкусовых предпочтений потребителей, технологических особенностей производства и экономической эффективности использования того или иного сырья. Традиционно растительные напитки получают с использованием технологии мокрого или сухого измельчения с последующей экстракцией суспензии. Ферментативная обработка способствует воздействию на компоненты клеточной стенки растений и улучшению извлечения внутриклеточных биомолекул. Применение биотехнологических методов способствует повышению белкового профиля, а также улучшению органолептических свойств напитка. Целью работы является всесторонний анализ особенностей использования различных типов растительного сырья в производстве альтернативных напитков, а также рассмотрение современных технологических подходов к их изготовлению.

Алексаночкин Д. И. и др. Напитки на растительной основе: обзор сырьевых компонентов и технологий получения. Вестник МГТУ. 2025. Т. 28, № 3. С. 371–384. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2025-28-3-371-384>.

Plant-based beverages: An overview of raw materials and production technologies

Denis I. Aleksanochkin*, Ivan D. Semenov, Ivan A. Fomenko

*Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH), Moscow, Russia;
e-mail: aleksanochkindi@list.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-7677-6583>

Article info

Received
19.03.2025;

received
in revised form
10.04.2025;

accepted
21.05.2025

Key words:

plant-based beverages,
alternative milk,
lactose intolerance,
beverage technology,
enzymatic extraction,
herbal beverage market

For citation

Abstract

Lactose intolerance is a widespread pathological condition characterized by insufficient activity of the enzyme β -galactosidase (lactase). According to modern epidemiological data, this metabolic disorder is observed in 70 % of the world's population, while the prevalence among the Russian population is 61 %. As an alternative source of nutrients for animal milk, the use of herbal drinks is recommended. They are mainly obtained from various crops such as legumes, oilseeds, nuts and cereals. The primary processing of raw materials is determined by its biochemical and structural features, including the content of proteins, fats and carbohydrates, as well as the physico-chemical properties of the matrix. High-protein raw materials are mainly used for the production of herbal drinks: soybeans (up to 40 % protein), almonds (10–29 % protein), hemp seeds (20–30 % protein). In addition, these crops are valuable sources of various micronutrients such as vitamins, minerals, and antioxidants. The choice of a specific type of raw material depends on many factors: the taste preferences of consumers, the technological features of production and the economic efficiency of using a particular raw material. Traditionally, herbal drinks are produced using wet or dry grinding technology followed by suspension extraction. Enzymatic treatment promotes the effect on plant cell wall components and improves the extraction of intracellular biomolecules. Thus, the use of biotechnological methods helps to increase the protein profile, as well as improve the organoleptic properties of the drink. The purpose of the paper is a comprehensive analysis of the features of the use of various types of plant raw materials in the production of alternative beverages, as well as consideration of modern technological approaches to their manufacture.

Aleksanochkin, D. I. et al. 2025. Plant-based beverages: An overview of raw materials and production technologies. *Vestnik of MSTU*, 28(3), pp. 371–384. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2025-28-3-371-384>.

Введение

Лактоза (β -галактоза-1,4-глюкоза), также известная как молочный сахар, представляет собой дисахарид, состоящий из глюкозы и галактозы (Ibrahim et al., 2021). Лактаза – фермент, который гидролизует лактозу путем ее расщепления на два простых углевода: глюкозу и галактозу. Эти вещества затем могут проникать через клеточную мембрану. Глюкоза служит основным источником энергии для организма человека, обеспечивая его жизнедеятельность. В свою очередь, галактоза участвует в формировании сложных биологических молекул, таких как гликолипиды и гликопротеины, которые играют важную роль в различных физиологических процессах (del Carmen Toca et al., 2022). Как сахар лактоза играет важную роль в качестве источника энергии, высвобождая 4 ккал/г, а также имеет низкий гликемический индекс. Она считается важным дисахаридом для здоровья костей из-за его роли в усвоении кальция (Dominici et al., 2022). Более того, лактоза обеспечивает около 50 % общей потребности в энергии в первый год жизни (Ratajczak et al., 2021). Молочные белки имеют высокую пищевую ценность, они богаты незаменимыми аминокислотами (лейцином, изолейцином, валином, лизином, гистидином, метионином и фенилаланином). Состав молочных белков варьируется в зависимости, от какого животного было получено молоко, однако в среднем представляет данное соотношение: казеин (около 75–85 %), сывороточный белок (15–22 %) и минорные белки (2,8–3,6 %) (Pratelli et al., 2024; Hamad et al., 2023). Молоко и молочные продукты являются частью сбалансированного питания человека, они важны для здоровья, поскольку могут снизить риск развития остеопороза и сердечно-сосудистых заболеваний, а также они богаты микро- и макроэлементами (Bórawski et al., 2021).

Стоит отметить, что для значительной части населения употребление молочных продуктов может быть связано с определенными сложностями, самой распространенной из которых является непереносимость лактозы. Непереносимость лактозы – это нарушение обмена веществ, при котором люди не могут переваривать значительное количество молочного сахара (Falbová et al., 2025). Существует 3 основных типа непереносимости лактозы: 1) первичная непереносимость начинается после периода грудного вскармливания: данный тип непереносимости характеризуется снижением активности фермента лактазы. Она также классифицируется как гиполактазия взрослого типа, пониженная активность фермента или наследственный дефицит лактазы; 2) вторичная лактозная непереносимость возникает из-за нарушения целостности слизистой кишечника, спровоцированного различными заболеваниями. Она может проявиться у людей любого возраста, но чаще наблюдается у младенцев; 3) врожденная лактозная непереносимость – крайне редкое генетическое нарушение, характеризующееся полным отсутствием фермента лактазы. У новорожденных патология проявляется диареей и недостаточным набором массы тела после первого приема грудного молока (Ibrahim et al., 2021).

Данные эпидемиологического обследования населения планеты показывают, что 70 % имеет ту или иную степень лактазной недостаточности, с этническими и возрастными различиями в заболеваемости (Asrar et al., 2023; Li et al., 2023; Kongpharm et al., 2024). В Америке этот показатель составляет около 50 %, в Азии – 70 %, в Африке – около 100 %. Распространенность этого диагноза среди населения распределена крайне неравномерно. Так, в США показатели различаются в зависимости от этнической принадлежности: около 15 % у людей европейского происхождения, 53 % у американцев мексиканского происхождения и 80 % у афроамериканцев. В Европе средний уровень распространенности составляет примерно 28 %, однако он значительно колеблется в пределах континента – от 2 % в скандинавских странах до 70 % в Италии (Catanzaro et al., 2021). На рис. 1 представлена информация по процентному распределению непереносимости лактозы.

В России по данным аналитического сайта World population review показатель непереносимости лактозы затрагивает около 61 % населения (2024 г.). Максимальная частота аллеля С (ассоциированного с непереносимостью лактозы) обнаружена в Якутии (84,0 %), а также на юге России, в частности в Северной Осетии (83,2 %), Чеченской Республике (77,8 %) и Дагестане (74,3 %), минимальная (54,4 %) – во Владимирской области (Колесникова и др., 2024; Nikitina et al., 2024). По данным Росстата (2021 г.), потребление молочных продуктов по России в среднем составляет 240–241 кг на одного человека в год.

Еще одной важной причиной, по которой многие люди отказываются от молока или сокращают его потребление в своем рационе, является увеличение доли людей, страдающих аллергией на молочные белки. Примерно от 2 до 7,5 % детей страдают от аллергии на белок коровьего молока в течение первого года жизни, которая проявляется в виде аллергических симптомов, влияющих на состояние кожи, желудочно-кишечного тракта и дыхательных путей (Portocarrero et al., 2024). Кроме того, рост популярности вегетарианского и веганского образа жизни также оказывает существенное влияние на снижение потребления молочных продуктов. Многие люди выбирают такие диеты не только из соображений здоровья, но и исходя из этических принципов, связанных с отказом от эксплуатации животных (Gibbs et al., 2024). С экологической точки зрения традиционное молочное производство оказывает значительное воздействие на окружающую

среду. Оно связано с высоким уровнем выбросов парниковых газов, большим потреблением воды и земельных ресурсов (Ramsing *et al.*, 2023).

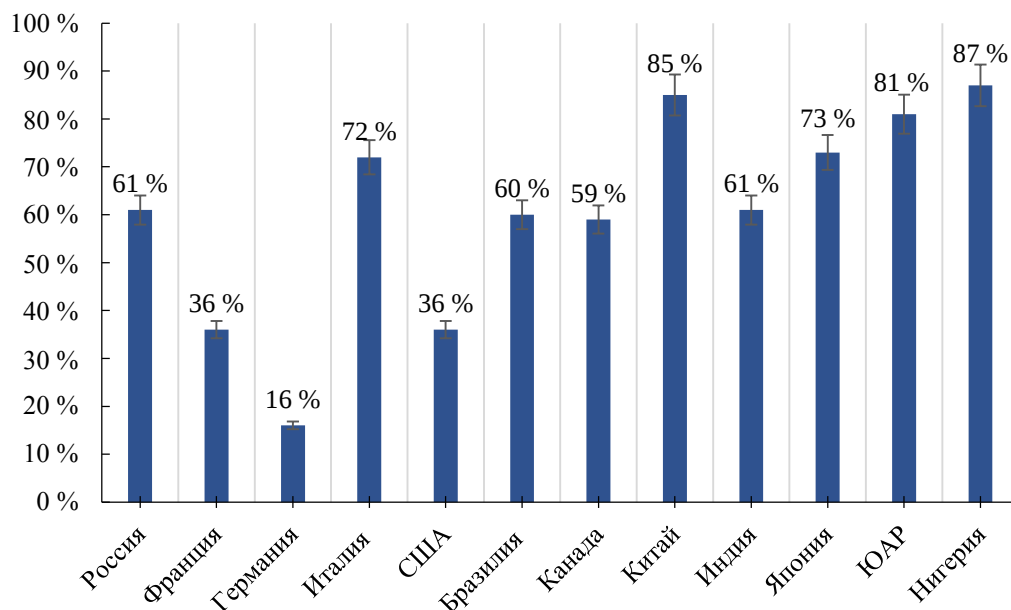


Рис. 1. Инфографика процентного распределения непереносимости лактозы по странам (World population review¹)

Fig. 1. Infographic of the percentage distribution of lactose intolerance by country (World population review)

Решением проблемы являются напитки на растительной основе. Альтернативное молоко – это напитки растительного происхождения, которые являются заменой традиционному молоку. Они производятся из различных источников, таких как орехи, злаки, бобы и семена. Альтернативные виды молока становятся все более популярными благодаря подходящим характеристикам для людей с непереносимостью лактозы, веганов, а также тех, кто стремится уменьшить потребление животных продуктов по экологическим или этическим соображениям (Collard *et al.*, 2021; Gonçalves *et al.*, 2025). Различные источники растительного сырья (орехи, злаки, бобы и семена) обеспечивают широкий спектр питательных веществ, таких как белки, углеводы, жиры, витамины, минералы, а также пищевые волокна и антиоксиданты. Белки растительного происхождения характеризуются высокой степенью усвояемости, хотя их аминокислотный состав во многом менее сбалансированный по сравнению с белками животного происхождения. В то же время профиль жирных кислот некоторых растительных культур превосходит по своей ценности многие животные источники, особенно в отношении содержания ненасыщенных жирных кислот омега-3 и омега-6. Пищевые волокна являются одними из самых важных компонентов растительного сырья, способствуя нормализации пищеварения, снижению уровня холестерина и поддержанию здоровой микробиоты кишечника, что делает их неотъемлемой частью сбалансированного питания.

Цель статьи – проанализировать различные способы переработки растительного сырья для получения напитка на их основе. Данная работа является частью проекта по получению альтернативного молока из семян конопли с использованием технологии ферментативной биотрансформации водной суспензии.

Материалы и методы

Для анализа литературы были использованы ведущие международные и российские научные поисковые системы: Google Scholar, PubMed, ScienceDirect, eLIBRARY и "КиберЛенинка". При отборе материалов применялись следующие ключевые слова:

- на русском языке: животное молоко, непереносимость лактозы, альтернативное молоко, заменители на растительной основе, растительное сырье для получения альтернативного молока, технология получения растительных напитков, рынок альтернативного молока;
- на английском языке: animal milk, lactose intolerance, alternative milk, plant-based substitutes, plant raw materials for alternative milk production, technology for producing herbal drinks, alternative milk market.

¹ URL: <https://worldpopulationreview.com/country-rankings/lactose-intolerance-by-country>.

В работе проанализировано 56 научных публикаций.

Критерии включения:

- опубликованные научные статьи;
- период выхода публикаций – 2008–2025 гг.;
- публикации на русском и английском языках.

Критерии исключения:

- тезисы докладов конференций, работы без полных текстов публикаций;
- публикации на других языках;
- публикации, вышедшие ранее 2008 г.

Тематика статьи связана с изучением растительного сырья, напитков на растительной основе, рынка растительных напитков, теоретических основ технологии получения растительных напитков из растительного сырья.

Результаты и обсуждение

Рынок растительных напитков

Спрос на альтернативное молоко постоянно растет, это связано со сдвигом питания людей в сторону сбалансированного и разнообразного потребления пищевых продуктов. Растет тенденция перехода населения в сторону вегетарианства, поскольку их пищевые привычки заключаются в исключении продуктов животного происхождения. Таким образом, проблемы непереносимости лактозы и трансформация потребительского спроса делают альтернативное молоко одним из перспективных направлений пищевой промышленности.

В 2024 г. по данным аналитической компании Global Market Insights рынок альтернативного молока оценивался в 29,5 млрд долларов США, эксперты прогнозируют ежегодный прирост более чем на 10,6 % в течение десяти лет, с 2025 по 2034 гг. Популярность таких напитков, как соевое, миндальное, овсяное и рисовое молоко, обусловлена спросом со стороны людей с особыми диетическими предпочтениями. На рис. 2 представлена информация по распределению продуктов на альтернативной основе в Европе и России.

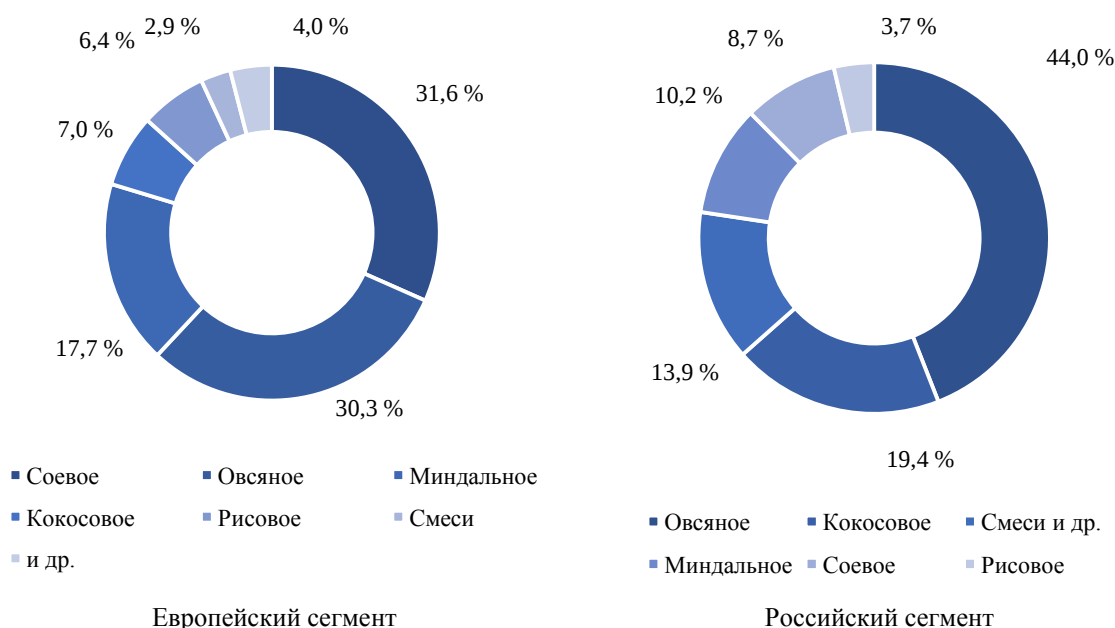


Рис. 2. Потребление альтернативного молока по видам продукции в Европе и в России (EMIS²)

Fig. 2. Consumption of alternative milk by product type in Europe and Russia (EMIS)

По данным компании EMIS в структуре потребления растительного молока в России по видам (в 2022 г.) наибольшие объемы приходились на овсяное молоко (44,0 % розничных продаж). Далее следуют кокосовое (19,4 %), миндальное (10,2 %), соевое (8,7 %) и рисовое (3,7 %). Данные отличаются от средневропейского спроса, потребители нашей страны больше предпочитают овсяный напиток в отличие

² URL: https://aemcx.ru/wp-content/uploads/2023/06/Обзор-ВЭД_Растительные-напитки.pdf?ysclid=mb4rnv60l2752251536.

от соевого, который на европейском рынке занимает 31,6 %. Это может быть связано с популярностью отечественного бренда альтернативного молока – NeMoloko, лидирующим продуктом которого является овсяный напиток.

Китай является абсолютным лидером по потреблению растительных напитков, занимая 36,4 % мирового рынка (3 055,2 тыс. т). В стране работает несколько крупных производителей: Hebei Yangyuan Zhihui Beverage (Yangyuan), Coconut Palm Group (Coconut Palm) и Wanxiang Sannong (Lolo), которые совместно контролируют около 60 % рынка в стоимостном выражении. На втором месте находится США с объемом потребления 1 704,2 тыс. т. Почти половина американского рынка принадлежит двум компаниям Danone Group, владеющей брендами Silk и So Delicious, и Blue Diamond Growers, выпускающей Almond Breeze. В Японии, занимающей третье место с показателями 431,8 тыс. т, лидируют Kikkoman Corp и Marusanai, чья доля составляет около 70 % продаж.

В 2022 г. объем рынка альтернативных напитков в России составляет 50,9 тыс. т и с каждым годом прогнозируется его рост. Однако объем российского рынка в 60 раз меньше по сравнению с лидирующим Китаем. При этом в период с 2017 г. по 2022 г. среднегодовой темп роста потребления напитков на растительной основе составляет 37,9 % в год. В нашей стране одними из лидеров по производству напитков на альтернативной основе являются: "Сады Придонья" (бренд NeMoloko), "ЭФКО" (бренд Hi!), "Союзпищепром" (бренды Green Milk) и "Полома" (бренд Naala). На данный момент существует тенденция к сокращению импорта в пользу отечественных производителей, так, с 2021 по 2022 гг. импорт альтернативного молока сократился в 2,1 раза.

Изучение производства альтернативных напитков является перспективным направлением отечественной пищевой промышленности.

Растительное сырье для получения растительных напитков

Альтернативное молоко получают из различных растительных источников, которые можно классифицировать в зависимости от типа и вида сырья. На рис. 3 представлена классификация растительного сырья, используемого в технологиях получения напитков на растительной основе, а также применяемых технологических процессов.

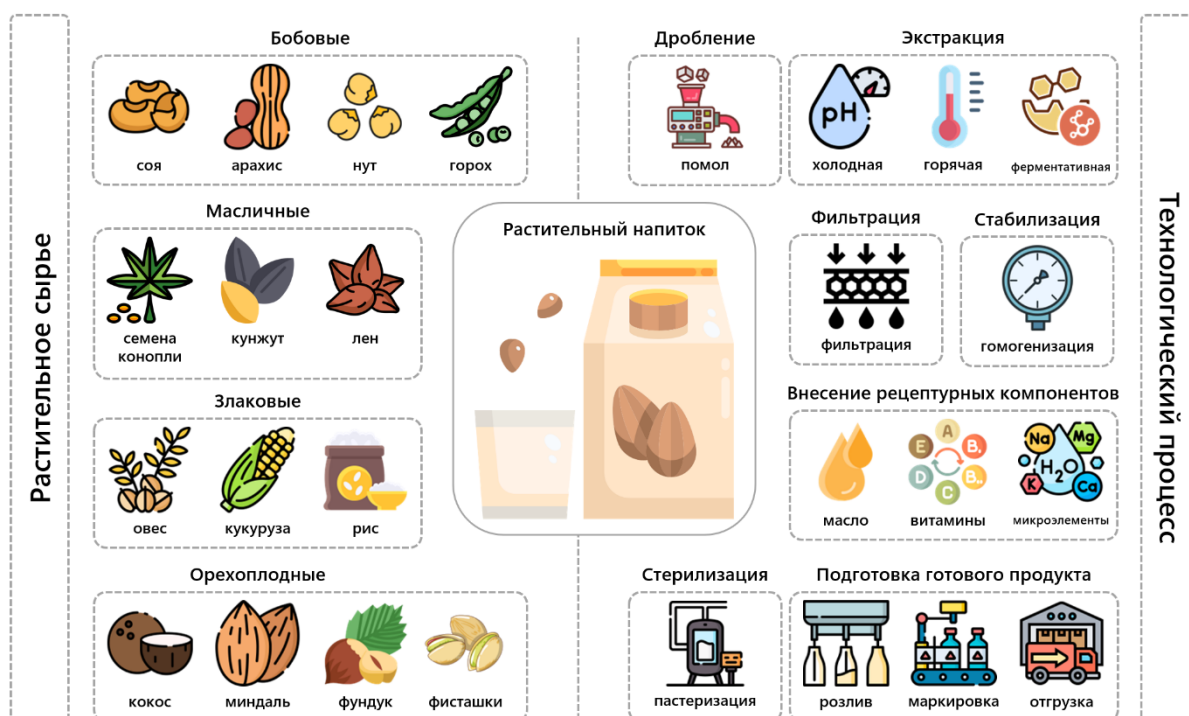


Рис. 3. Классификация растительного сырья и технологических процессов, используемых для получения напитка на растительной основе (Silva et al., 2020; Shori et al., 2021)

Fig. 3. Classification of plant raw materials and technological processes used to produce a plant-based beverage (Silva et al., 2020; Shori et al., 2021)

Для получения напитков на растительной основе используются бобовые, масличные, злаковые, орехоплодные и другие культуры, которые служат основой для таких популярных продуктов, как соевое, миндальное, овсяное и кокосовое молоко. Урожайность и объем производства растительного сырья во многом определяются типом культуры и особенностями ее возделывания в той или иной стране. Различия в климатических условиях, сельскохозяйственных практиках и распространении конкретных культур влияют на количество получаемого сырья и эффективность его переработки в растительные напитки.

Первичная обработка сырья определяется его биохимическими и структурными особенностями, включая содержание белков, жиров и углеводов (БЖУ), а также физико-химическими свойствами матрикса. Например, бобы сои содержат до 40 % сырого протеина и около 20 % липидов. Белковый профиль сои характеризуется высоким уровнем лизина (6,2 г/100 г), однако его биологическая ценность ограничена дефицитом метионина и цистина (2,9 г/100 г) (Banaszkiewicz, 2011).

Овес занимает второе место среди сырья для растительных напитков. Его белковая фракция (7,4–24,5 %) отличается высокой усвояемостью (90,3–94,2 %) и биологической ценностью (74,5–79,6 %). Липидный профиль (2,2–11,0 %) представлен преимущественно ненасыщенными жирными кислотами (80 %), включая линолевую (24,0–48,0 %), олеиновую (29,0–53,0 %) и α -линоленовую (1,0–5,0 %). Зерно также содержит до 30 % пищевых волокон, включая растворимые (1-4)- β -D-глюканы (3,1–8,0 %), которые способствуют улучшению пищеварения (Leszczyńska et al., 2023). β -глюкан также полезен для пациентов с диабетом второго типа благодаря эффекту увеличения вязкости раствора, что приводит к замедлению времени опорожнения желудка, повышению сытости и снижению потребления пищи (Le et al., 2025).

Миндаль является лидером по мировому производству среди орехоплодных культур. В 28 г сырья содержится 50 % дневной нормы витамина E, 25 % рибофлавина и 13 % клетчатки. Его химический состав вариателен: углеводы – 14,0–26,6 %, белки – 10,0–29,0 %, липиды – 31,7–66,1 %. Усвояемость белка миндаля составляет 44,3–47,8 %, а концентрация микронутриентов зависит от сорта, условий культивации и степени зрелости культуры (Tomishima et al., 2022).

Рис содержит в своем составе 7 % белка с сбалансированным профилем незаменимых аминокислот, однако лизин находится в лимитирующем количестве. Рисовый белок характеризуется высокой степенью усвояемости и гипоаллергенными свойствами, что обусловлено, в частности, отсутствием глутенинов. Однако его функциональные характеристики ограничены из-за низкой растворимости при нейтральных значениях pH. Помимо гипоаллергенных свойств рис отличается богатым минеральным составом, включающим значительные концентрации фосфора, калия и магния. В нем также содержатся витамины группы B и α -токоферол (витамин E), что делает его ценным источником микронутриентов. Тем не менее содержание липидов в рисе относительно невысокое – 3,2 % (Silva et al., 2020).

Конопля (*Cannabis sativa* ssp. *sativa*) содержит 25,0–35,0 % липидов, 20,0–30,0 % белков и 20,0–28,0 % углеводов. До 90 % жирных кислот (ЖК) приходится на ненасыщенные формы, преимущественно полиненасыщенные (70,0–80,0 %). Углеводный профиль представлен нерастворимыми волокнами (до 98 %), а белковая фракция обладает высокой биологической ценностью. Семена богаты витамином E (562,8–929,67 мг/кг) и витамином A (78,0 мг/кг), что усиливает их антиоксидантный потенциал (Freitas et al., 2023).

Анализ биохимических характеристик сои, овса, миндаля, риса и конопли демонстрирует их значительный потенциал для производства растительных напитков. Выбор сырья определяется балансом питательных компонентов, усвояемостью белков, содержанием функциональных веществ (например, β -глюканов, полиненасыщенных жирных кислот) и технологическими аспектами (Merenkova et al., 2022).

Ассортимент растительных напитков

Заменители молока на растительной основе или немолочные заменители являются одними из самых быстрорастущих сегментов напитков во всем мире (Pandey et al., 2020). Растительные напитки представляют собой разнородную категорию продуктов, их свойства зависят от сырья и технологий производства. Несмотря на преимущества их питательная ценность часто уступает коровьему молоку, что требует оптимизации рецептур. Перспективные направления включают использование ферментативного гидролиза и микробной ферментации для улучшения функционально-технических свойств (McClements et al., 2019). На данный момент существует множество видов растительных напитков:

- Соевое молоко богато белками ($\pm 3,9$ г/100 г), липидами ($\pm 2,4$ г/100 г), насыщенными жирными кислотами ($\pm 14,0$ г/100 г), мононенасыщенными жирными кислотами ($\pm 21,6$ г/100 г) и полиненасыщенными жирными кислотами ($\pm 63,5$ г/100). Доказано, что богатые белком соевые продукты могут снижать уровень общего холестерина, липопротеинов низкой плотности (ЛПНП) и триглицеридов (Shori et al., 2021). Кроме того, было обнаружено, что ферментированные соевые продукты эффективны в уменьшении симптомов сахарного диабета, артериального давления, сердечно-сосудистых заболеваний и осложнений, связанных с раком (Silva et al., 2020; Jayachandran et al., 2019). Однако фитиновая кислота в составе может ингибировать усвоение минералов в организме человека (Ahsan et al., 2018).

• Овсяное молоко представляет собой растительный напиток, производство которого осуществляется с применением контролируемых механических и ферментативных процессов. Ключевым фактором, определяющим качество овсяного напитка, является использование специфических ферментов на этапах экстракции. В частности, высокое содержание крахмала в овсе (50–60 %), который подвергается желатинизации при температуре 40–75 °С, требует применения ферментов для его эффективной модификации. Действие α - и β -амилаз приводит к гидролизу крахмала, что способствует образованию декстринов, мальтозы и мальтотриозы. Этот процесс не только обеспечивает сохранение жидкой консистенции продукта, предотвращая его загустение, но также придает овсяному молоку естественную сладость, что делает возможным отказ от добавления экзогенных сахаров (*Le et al.*, 2025; *Zhou et al.*, 2023). В среднем растительный напиток из овса содержит 0,40–3,24 (г/100 г) белка, 0,28–2,65 липидов и 0,30–18,8 углеводов (*Reyes-Jurado et al.*, 2023). Было доказано, что овес имеет ряд преимуществ для здоровья, выходящих за рамки базового питания, таких как снижение общего холестерина, снижение уровня ЛПНП в крови и регулирование уровня глюкозы в крови. Эти эффекты в значительной степени связаны с присутствием растворимых пищевых волокон (β -глюкана) (*Wang et al.*, 2022).

• Миндальное молоко характеризуется относительно высоким содержанием кальция и натрия (около 70 % рекомендуемой суточной нормы), при этом оно отличается низким уровнем углеводов и липидов. Однако его белковая ценность ограничена: миндальное молоко обеспечивает лишь 10 % суточной потребности в белке, тогда как эквивалентный объем коровьего молока способен удовлетворить более 50 % данной потребности. В стандартной порции (100 г) миндального молока содержится $\pm 1,44$ г белка, $\pm 2,68$ г липидов и $\pm 1,42$ г углеводов. Также продукт богат витамином Е, концентрация которого составляет 6,86 мг на 100 г (*Collard et al.*, 2021). Наилучшая стабильность миндального напитка достигается при ультразвуковой обработке (по сравнению с температурной, когда ненасыщенные ЖК миндального продукта могут окисляться и тем самым приобретать прогорклый вкус).

• Рисовое молоко представляет собой растительный напиток, получаемый путем экстракции из вареного коричневого риса и его крахмалистых компонентов. Продукт характеризуется жидкой консистенцией, отсутствием пищевых волокон и низким содержанием белка (всего около 1 г на 250 мл). Коммерчески доступные варианты данного продукта обычно обогащаются кальцием и витаминами для повышения их пищевой ценности (*Wongthaweevatana et al.*, 2021). Средний химический состав рисового напитка включает следующие основные компоненты: белки $\pm 0,6$ %, углеводы $\pm 10,6$ %, сахара $\pm 4,0$ %, липиды $\pm 1,0$ %. Помимо этого рисовый напиток выделяется наличием микроэлементов, таких как селен и магний, которые, как утверждается, оказывают положительное влияние на иммунную систему (*Abou-Dobara et al.*, 2016).

• Конопляное молоко – натуральный напиток с высокой питательной ценностью. Напиток из семян конопли содержит около 0,83–4,00 % белка, 1,25–3,00 % липидов и 2,50–20,00 % углеводов. Однако в молоке из семян конопли общее содержание насыщенных и полиненасыщенных жирных кислот составляет 0,43 и 4,17 % соответственно (*Beşir et al.*, 2022). Соотношение омега-6 и омега-3 ЖК в масле конопли составляет 3 : 1, что практически идеально для организма человека (*Shori et al.*, 2021). В дополнение к преимуществам данного растительного сырья утверждается, что конопляное молоко может быть хорошим переносчиком для пробиотических бактерий, таких как *Lactobacillus rhamnosus* (*Szparaga et al.*, 2019).

Растительные напитки, такие как соевое, овсяное, миндальное, рисовое и конопляное молоко отличаются разнообразными пищевыми свойствами, что делает их выбор подходящим для различных потребностей. В таблице представлен химический состав и питательная ценность популярных растительных напитков.

Таблица. Химический состав и питательная ценность напитков на растительной основе
(*Antunes et al.*, 2022; *Beşir et al.*, 2022; *Ziarno et al.*, 2021)

Table. Chemical composition and nutritional value of plant-based beverages
(*Antunes et al.*, 2022; *Beşir et al.*, 2022; *Ziarno et al.*, 2021)

Показатель	Соевое молоко	Овсяное молоко	Миндальное молоко	Рисовое молоко	Конопляное молоко	Коровье молоко
Содержание белка, %	2,60–3,98	0,40–3,24	0,41–2,40	0,07–0,42	0,83–6,96	2,90–3,32
Содержание липидов, %	1,47–13,92	0,28–12,40	1,04–10,40	0,83–1,20	1,25–18,02	0,08–4,17
Содержание углеводов, %	4,14–5,06	3,33–18,80	0,20–4,40	9,17–12,20	0,30–30,21	3,20–5,40
Содержание клетчатки, %	0,20–0,74	0,80–20,07	0,27–1,60	7,80–12,50	0,00–0,40	Отсутствует
Содержание сахаров, %	0,10–6,25	0,42–10,90	0,16–3,42	2,50–7,02	2,50–3,00	3,38–5,15
Энергетическая ценность (ккал)	43,00–95,00	29,00–103,00	15,20–40,20	47,00–60,00	19,00–53,09	34,00–65,80

На основе представленных в таблице данных можно заключить, что соевое и конопляное молоко демонстрируют наиболее высокие показатели содержания белка (2,60–3,98 % и 0,83–6,96 %) и липидов (1,47–13,92 % и 1,25–18,02 %) среди растительных напитков, в то время как рисовое молоко характеризуется минимальным уровнем данных макронутриентов. В отличие от коровьего молока растительные напитки характеризуются наличием значительного количества пищевых волокон (до 20,07 %), что придает им уникальные функциональные свойства. Пищевые волокна, входящие в состав таких напитков, способствуют улучшению перистальтики ЖКТ и его нормализации. В отношении энергетической ценности следует отметить, что миндальное и конопляное молоко имеют наименьшую калорийность, это особенно актуально для потребителей, ориентированных на здоровое питание.

Технология получения растительных напитков

Традиционный метод производства растительных аналогов молока и других напитков включает в себя предварительное измельчение сырья (мокрый или сухой помол). Предварительно сырье может быть замочено в воде на 1–14 ч или обжарено для повышения стабильности эмульсии, удаления антипитательных веществ (дубильных веществ, фитиновой кислоты, ингибиторов протеаз), улучшения вкуса и ароматики продукта (Vogelsang-O'Dwyer et al., 2021). Процесс измельчения необходим для уменьшения матрикса сырья для последующей экстракции. Процесс дробления традиционно осуществляется в коллоидных мельницах, где горячая вода смешивается с сырьем. Коллоидные мельницы служат для диспергирования твердых частиц в водной среде путем подвергания смеси высокому гидравлическому напряжению, что обеспечивает тонкое измельчение компонентов в жидкой фазе (Bernat et al., 2014). Во время процесса измельчения могут применяться повышенные температуры, что способствует более эффективной экстракции растворимых веществ. Кроме того, это также вызывает желатинизацию крахмала (растворение его в воде), что положительно сказывается на качественных характеристиках продукта (Kulczyk et al., 2023). Различные исследования демонстрируют, что соотношение добавляемой воды при влажном измельчении зависит от типа сырья. Например, для приготовления миндального молока используется гидромодуль 1 : 9 (сырье к воде), для кунжута – 1 : 5, для арахиса – 1 : 9 и для соевых бобов – 1 : 5 (Gogulenko et al., 2023; Sakthi et al., 2020; Trufkati et al., 2021).

Для производства немолочных альтернативных напитков сырье, прошедшее предварительную обработку, экстрагируется водой. Эффективность экстракции может быть повышена за счет физических факторов (изменения pH, температуры) или биохимических за счет использования биологических катализаторов.

Показатель pH при экстракции влияет на эффективность выделения белка и стабильность эмульсии в растительном напитке. Основную фракцию растительных белков составляют глобулины (изоэлектрическая точка (pI) $\approx$ 4,5), второстепенную – альбумины (pI $\approx$ 6). При pH около 5, близким к изоэлектрической точке, белки теряют заряд и могут агрегироваться, снижая стабильность и выпадая в осадок. Для повышения выхода белка рекомендуется экстракция при щелочном pH, что обеспечивает высокий суммарный заряд белков с последующей нейтрализацией.

Высокие температуры при экстракции растительного молока играют важную роль в процессе получения продукта. Они способствуют лучшей растворимости различных соединений, таких как белки, углеводы и жиры, улучшая их переход из растительного сырья в водную фазу. Помимо этого воздействие тепла приводит к желатинизации крахмала, что положительно сказывается на текучести и консистенции напитка, делая его более однородным и приемлемым для потребителей с точки зрения органолептических характеристик. Высокие температуры также помогают инактивировать антипитательные вещества, повышая питательную ценность продукта. Однако чрезмерное нагревание может вызвать денатурацию белков, что снижает их растворимость и функциональные свойства, такие как способность формировать стабильную эмульсию или пену (Bernat et al., 2014; Dhankhar et al., 2021; Silva et al., 2020).

Ферментативная обработка применяется для гидролиза белков и полисахаридов, что способствует увеличению выхода экстракции. Ферменты активно разрушают матрикс клеточной стенки растений, включая целлюлозу, гемицеллюлозу и пектин, тем самым улучшая эффективность процесса экстракции. Повышение выхода белка, природного сахара и масла напрямую зависит от степени разрушения клеточной стенки растительного сырья, что делает ферментативную обработку важным этапом в технологии получения растительных напитков (de Moura et al., 2008). Ферментативная обработка способствует улучшению физических и органолептических свойств продукта. Добавление 1,2 % ферментного препарата Celluclast 1,5 L (Novozymes, Дания) позволяет сделать соевое молоко более устойчивым при хранении, а также делает его консистенцию более густой и приятной на вкус. Целлюлазы в сочетании с амилазами гидролизуют клеточные стенки и крахмал, улучшая фильтрацию и вкусовые характеристики. Зарубежная и отечественная компании Oatly и "Сады Придонья" (бренд NeMoloko) используют ферментативную

обработку для разрушения овсяной клетчатки и крахмального полисахаридного комплекса, что способствует созданию "сливочной" текстуры без добавления стабилизаторов (*Mäkinen et al., 2015*). Кроме того, использование протеолитических ферментов положительно влияет на эффективность экстракции компонентов и предотвращает осаждение частиц в жидкости, обеспечивая стабильность готового продукта.

Самым популярным сырьем для производства альтернативного молока является соя, однако ее белки характеризуются неприятным послевкусием и более низкой усвояемостью по сравнению с животными белками. Научные работы демонстрируют, что ферментативная обработка соевого белкового изолята с помощью протеаз, таких как Alcalase 2.4L FG или Flavourzyme 1000 L (Novozymes, Дания), способствует увеличению процесса расщепления белковых структур на 40–60 %. Это приводит к улучшению консистенции продукта и устранению горького привкуса (*Tian et al., 2020; Rostammiry et al., 2017*).

Овсяные белки (авенины) склонны к образованию агрегатов, что придает напитку специфический "крахмалистый" вкус. Применение нейтральных протеаз Neutrase 0.8 L (Novozymes, Дания) в сочетании с амилазами позволяет разрушить сложные белково-крахмальные комплексы, что значительно улучшает качество напитка. Такая обработка не только повышает выход белка на 25 %, но и положительно влияет на органолептические характеристики продукта (*Deswal et al., 2014*).

Следующим этапом является фильтрация, декантация или центрифугирование на низких оборотах для отделения приготовленного напитка от нерастворимого остатка (частиц сырья). Различные исследования показали, что фильтрующая обработка с помощью декантера или системы непрерывной фильтрации (20–80 мкм) в процессе производства растительных напитков улучшает физическую стабильность молока за счет удаления частиц. В настоящее время мембранная сепарация становится все более популярной, так как она позволяет эффективно отделять водную часть от нерастворимой фракции. В случае производства молока из жирного сырья излишки липидного слоя отделяются с помощью сепаратора, как это делается при переработке молока с помощью сепаратора для сливок.

Для повышения качества растительных заменителей могут использоваться различные добавки, включая витамины, минералы, подсластители, ароматизаторы, соль, масло и стабилизаторы. Чтобы добиться уровня кальция, аналогичного коровьему молоку, растительные напитки обычно обогащаются этим микроэлементом, при этом наиболее распространенным источником является карбонат кальция. Для улучшения структуры и стабильности продукта применяются эмульгаторы, такие как альгинаты, желатин, ксантановая камедь, гуммиарабик и геллановая камедь, которые используются в количествах от 0,5 до 1 %. В частности, для миндального напитка стабильность достигается благодаря сочетанию лецитина, модифицированного крахмала и агара в пропорциях 0,09, 1,31 и 0,15 % соответственно. Общим способом стабилизации также является использование гидроколлоидов, которые помогают уменьшить размер частиц в системе. Добавление минералов может нарушить стабильность эмульсии, поэтому для предотвращения этого эффекта используются хелата, такие как лимонная кислота или ЭДТА. При выборе минералов для обогащения учитываются их растворимость (*Dhankhar et al., 2021; Silva et al., 2020*).

Процесс гомогенизации играет ключевую роль в повышении стабильности растительных напитков, снижая размер коллоидных частиц до диапазона 0,5–30 мкм. При этом изменение вязкости и структуры белковых молекул остается минимальным. Частицы дисперсной фазы, включая белки, крахмал, клетчатку и другие компоненты клеточных матриц, склонны к осаждению. Однако за счет уменьшения их размеров во время гомогенизации, а также благодаря добавлению эмульгаторов или гидроколлоидов, удается эффективно стабилизировать суспензию. Для достижения необходимой стабильности при производстве таких напитков, как рисовое, конопляное или кокосовое молоко, применяются высокие давления в диапазоне 20–60 МПа. Это позволяет предотвратить разделение фаз и обеспечить однородность продукта на протяжении всего срока хранения (*Dhankhar et al., 2021*).

Заключительным этапом производства альтернативного молока является этап термической обработки, в который входит стерилизация: короткая (63–65 °C в течение 30 мин), высокая пастеризация (85–90 °C в течение 5–10 мин) или ультрапастеризация (130–150 °C в течение 2–3 с). Она способствует увеличению срока годности конечного продукта за счет уничтожения всех микроорганизмов (*Jo et al., 2018*). Однако термическая обработка может вызывать изменения свойств белков и витаминов, тем самым влияя на стабильность, вкус, аромат и цвет конечного продукта. При термической обработке растительного напитка неполярные аминокислоты становятся более доступными для взаимодействия с водой, что увеличивает их гидрофобные свойства. Это, в свою очередь, способствует усилению связей между белковыми молекулами, что может вызвать их агрегацию, образование геля или осаждение. В результате такого процесса наблюдается повышение вязкости продукта (*Silva et al., 2020*). На рис. 4 представлена типовая технологическая схема получения напитка на растительной основе.

Из-за недостатков температурной обработки и в качестве ее альтернативы могут использоваться новые технологии по стабилизации конечного продукта. Могут использоваться такие методы, как

микроволновый нагрев, стерилизация высоким давлением, ультрафиолетовая стерилизация, импульсные технологии электрического поля и сверхкритического углекислого газа, а также ультразвук высокой интенсивности.

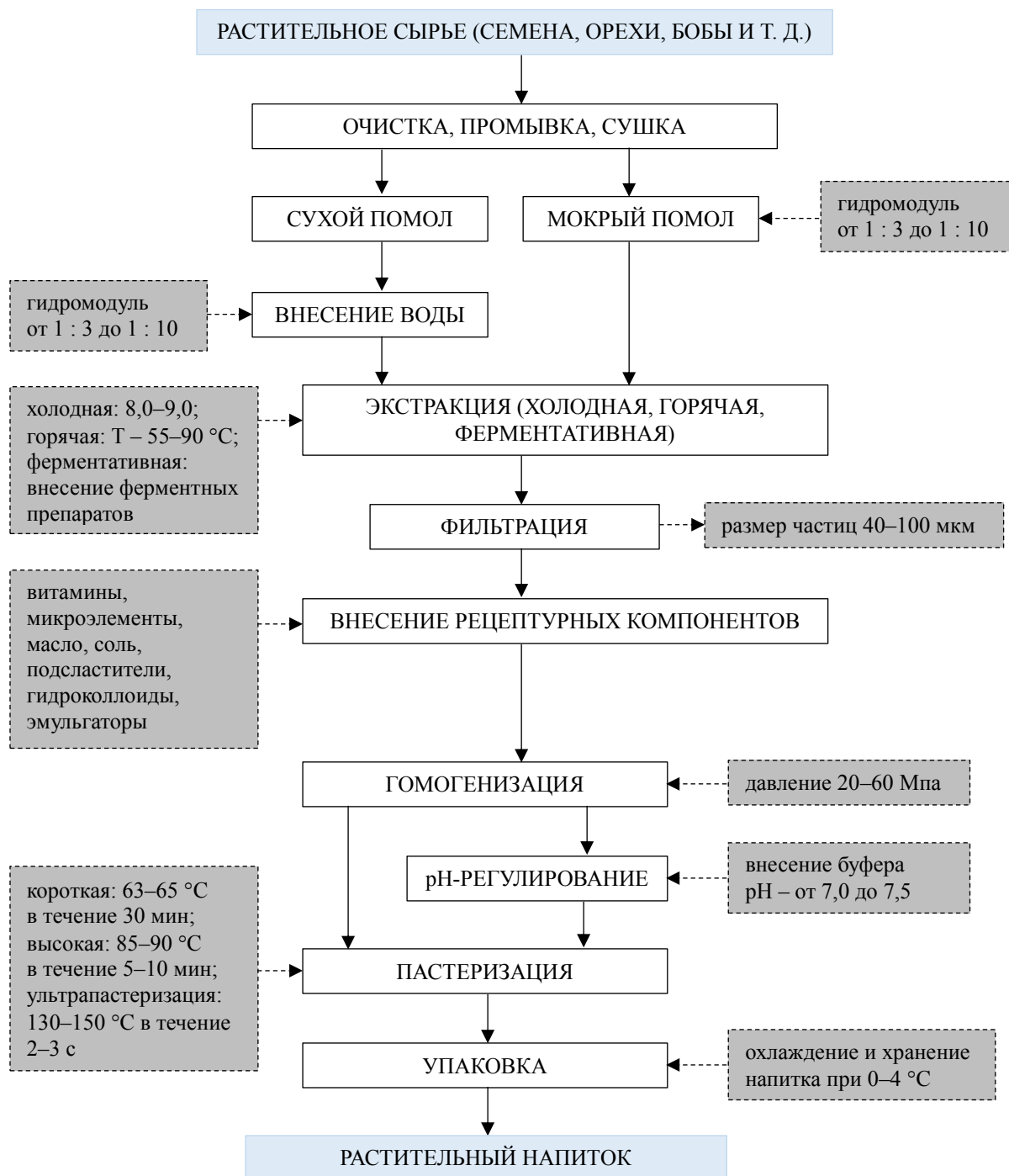


Рис. 4. Стандартная технологическая схема получения альтернативного молока из растительного сырья (Bernat et al., 2014; Bocker et al., 2022; Меренкова и др., 2021)

Fig. 4. Standard technological scheme for the production of alternative milk from plant raw materials (Bernat et al., 2014; Bocker et al., 2022; Merenkova et al., 2021)

Технология гомогенизации при сверхвысоком давлении (УНРН) представляет собой инновационный метод, который позволяет повысить качество растительных молочных заменителей за счет уменьшения размера коллоидных частиц. Данная технология способствует формированию более равномерной дисперсной системы и оптимизации физико-химических свойств продуктов, сохраняя их питательную ценность. При этом УНРН может использоваться для продления срока годности растительных напитков, обеспечивая уничтожение микроорганизмов. Процесс осуществляется при давлении 200–600 МПа и температуре

в диапазоне от 30 до 85 °С, что делает его эффективным технологическим процессом для пищевой промышленности (Dhankhar et al., 2021).

Технология электрического поля также является одной из модифицированных технологий для стабилизации продукта без термической обработки. В этой технологии используются низкие температуры 30–40 °С, что позволяет избежать температурного разложения компонентов в растительном напитке без ухудшения его органолептических свойств. При использовании технологии импульсных электрических полей пищевые продукты подвергаются короткой обработке при помощи мощного электрического тока, длительностью не более 60 с. Формируются интенсивные электрические поля с напряженностью от 5 до 55 кВ на сантиметр, которые действуют импульсным образом (Bocker et al., 2022). Эта технология способствует инаktivации ферментов и микроорганизмов в полупродукте.

Ультразвук представляет собой современную технологию, используемую для обработки пищевых продуктов для увеличения срока годности. При воздействии ультразвука возникают локальные области с интенсивным нагревом и высоким давлением, что приводит к разрушению микробных структур и агломерации частиц в коллоидных системах. Существует два основных диапазона ультразвуковых частот, применяемых в пищевой промышленности: низкочастотный (16–100 кГц) и высокочастотный (0,1–1 МГц) (Bocker et al., 2022). Использование высокоинтенсивного ультразвука при переработке растительных напитков помогает сохранить их питательную ценность, одновременно обеспечивая деактивацию естественных ферментов и уничтожение патогенной микрофлоры. Обработка миндального напитка ультразвуком (300 Вт в течение 5 мин) способствует снижению процесса осаждения и вязкости (Maghsoudlou et al., 2016).

Заключение

Непереносимость лактозы является одной из существенных проблем в питании людей по всему миру вне зависимости от пола или региона проживания. Заменители молочных продуктов на растительной основе все больше набирают популярность среди потребителей. Таким образом, растительное сырье и технологии его переработки в продукты питания являются перспективным направлением в пищевой индустрии. Данный тренд стимулирует развитие инновационных технологий переработки растительного сырья и создание продуктов, способных удовлетворить потребности как людей с непереносимостью лактозы, так и сторонников здорового образа жизни. Технологии, основанные на физико-химических и биотехнологических методах обработки, открывают новые возможности для создания продуктов с высокой пищевой ценностью, улучшенными органолептическими характеристиками и функциональными свойствами. Наибольшее преимущество приобретает применение методов биотехнологии в связи с более эффективным выходом целевых компонентов при менее агрессивном влиянии на нативную структуру биомолекул по сравнению с физико-химическими методами экстракции.

Дальнейшее научное исследование будет направлено на разработку технологии получения растительного напитка – заменителя животного молока – из семян конопли с использованием биотехнологических методов биотрансформации водной суспензии семян. В процессе научной работы будут подобраны оптимальные параметры дробления семян, ферментативной экстракции с определением рациональных дозировок ферментных препаратов, а также будет сформирована оптимальная рецептура для улучшения физико-химических и органолептических свойств продукта.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

- Abou-Dobara, M. I., Ismail, M. M., Refaat, N. M. 2016. Chemical composition, sensory evaluation and starter activity in cow, soy, peanut and rice milk. *Journal of Nutritional Health & Food Engineering*, 5(3), pp. 634–640.
- Ahsan, F., Imran, M., Gilani, S. A., Bashir, S. et al. 2018. Effects of dietary soy and its constituents on human health: A review. *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research*, 12(2), pp. 9182–9187. DOI: <https://doi.org/10.26717/bjstr.2018.12.002239>.
- Antunes, I. C., Bexiga, R., Pinto, C., Roseiro, L. C. et al. 2023. Cow's milk in human nutrition and the emergence of plant-based milk alternatives. *Foods*, 12(1). Article number: 99. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods12010099>.
- Asrar, R., Farhan, M. H. R., Ahmad, M., Munir, F. et al. 2023. Lactose intolerance and emerging dairy allergies as public health perspective. *One Health Triad, Unique Scientific Publishers, Faisalabad, Pakistan*, 2, pp. 138–146. DOI: <https://doi.org/10.47278/book.oht/2023.53>.
- Banaszkiewicz, T. 2011. Nutritional value of soybean meal. In *Soybean and Nutrition*. Monograph. Ed. H. El-Shemy. 2011. DOI: <https://doi.org/10.5772/23306>.
- Bernat, N., Cháfer, M., Chiralt, A., González-Martínez, C. 2014. Vegetable milks and their fermented derivative products. *International Journal of Food Studies*, 3(1). DOI: <https://doi.org/10.7455/ijfs/3.1.2014.a9>.
- Beşir, A., Awad, N., Mortaş, M., Yazıcı F. 2022. A plant-based milk type: Hemp seed milk. *Akademik Gıda*, 20(2), pp. 170–181. DOI: <https://doi.org/10.24323/akademik-gida.1149875>.

- Bocker, R., Silva, E. K. 2022. Innovative technologies for manufacturing plant-based non-dairy alternative milk and their impact on nutritional, sensory and safety aspects. *Future Foods*, 5. Article number: 100098. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100098>.
- Bórawski, P., Bórawski, M. B., Parzonko, A., Wicki, L. et al. 2021. Development of organic milk production in Poland on the background of the EU. *Agriculture*, 11(4). Article number: 323. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture11040323>.
- Catanzaro, R., Sciuto, M., Marotta, F. 2021. Lactose intolerance: An update on its pathogenesis, diagnosis, and treatment. *Nutrition Research*, 89, pp. 23–34. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2021.02.003>.
- Collard, K. M., McCormick, D. P. 2021. A nutritional comparison of cow's milk and alternative milk products. *Academic Pediatrics*, 21(6), pp. 1067–1069. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.acap.2020.12.007>.
- de Moura, J. M. L. N., Campbell, K., Mahfuz, A., Jung, S. et al. 2008. Enzyme-assisted aqueous extraction of oil and protein from soybeans and cream de-emulsification. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 85(10), pp. 985–995. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11746-008-1282-2>.
- del Carmen Toca M., Fernández A., Orsi M., Tabacco O. et al. 2022. Lactose intolerance: myths and facts. *An update. Archivos Argentinos de Pediatría*, 120(1), pp. 59–66. DOI: <http://dx.doi.org/10.5546/aap.2022.eng.59>.
- Deswal, A., Deora, N. S., Mishra, H. N. 2014. Optimization of enzymatic production process of oat milk using response surface methodology. *Food and Bioprocess Technology*, 7, pp. 610–618. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11947-013-1144-2>.
- Dhankhar, J., Kundu, P. 2021. Stability aspects of non-dairy milk alternatives. In *Milk Substitutes-Selected Aspects*. Monograph. Ed.: M. Ziarno. IntechOpen. DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.96376>.
- Dominici, S., Marescotti, F., Sanmartin, C., Macaluso, M. et al. 2022. Lactose: Characteristics, food and drug-related applications, and its possible substitutions in meeting the needs of people with lactose intolerance. *Foods*, 11(10). Article number: 1486. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods11101486>.
- Falbová, D., Švábová, P., Beňuš, R., Hozáková, A. et al. 2025. Association between self-reported lactose intolerance, additional environmental factors, and bone mineral density in young adults. *American Journal of Human Biology*, 37(1). Article number: e24202. DOI: <https://doi.org/10.1002/ajhb.24202>.
- Freitas, T. R., Santos, J. A., Silva, A. P., Fraga, H. 2023. Reviewing the adverse climate change impacts and adaptation measures on almond trees (*Prunus dulcis*). *Agriculture*, 13(7). Article number: 1423. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13071423>.
- Gibbs, J., Cappuccio, F. P. 2024. Common nutritional shortcomings in vegetarians and vegans. *Dietetics*, 3(2), pp. 114–128. DOI: <https://doi.org/10.3390/dietetics3020010>.
- Gogulenko, A. V., Egorova, E. Y., Tsyganok, S. N., Kuz'mina, S. S. 2023. Effect of ultrasonic treatment on the characteristics of model emulsion systems based on high-protein vegetable raw materials. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 96(2), pp. 218–227. DOI: <https://doi.org/10.1134/s1070427223020132>.
- Vaz Gonçalves G. C., Weis C.M. S. C., Wolff É. R., Alves V. et al. 2025. Vegan fermented drinks as an alternative to milk: Trend or challenge? *Food Science and Engineering*, 6(1). DOI: <https://doi.org/10.37256/fse.6120255396>.
- Hamad, Q. H., Al-Saadi, J. S., Al-Rikabi, A. K. J., Altemimi, A. B. et al. 2023. Exploring the health benefits and functional properties of goat milk proteins. *Food Science & Nutrition*, 11(10), pp. 5641–5656. DOI: <https://doi.org/10.1002/fsn3.3531>.
- Ibrahim, S. A., Gyawali, R., Awaisheh, S. S., Ayivi, R. D. et al. 2021. Fermented foods and probiotics: An approach to lactose intolerance. *Journal of Dairy Research*, 88(3), pp. 357–365. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0022029921000625>.
- Jayachandran, M., Xu, B. 2019. An insight into the health benefits of fermented soy products. *Food Chemistry*, 271, pp. 362–371. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.158>.
- Jo, Y., Benoist, D. M., Barbano, D. M., Drake, M. A. 2018. Flavor and flavor chemistry differences among milks processed by high-temperature, short-time pasteurization or ultra-pasteurization. *Journal of Dairy Science*, 101(5), pp. 3812–3828. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-14071>.
- Kolesnikova, S., Shirokova, N. S., Kushnarenko, S., Panteleeva, N. V. et al. 2024. Estimation of the frequencies of the variant of the genetic LCU rs4988235 (-13910 C > T) associated with lactose intolerance in the Russian Federation. *Health Risk Analysis*, 4, pp. 135–144. DOI: <https://doi.org/10.21668/health.risk/2024.4.12>. (In Russ.) = Колесникова И. С., Широкова Н. С., Кушнаренко В. С., Пантелеева Н. В. [и др.]. Оценка частот генетического варианта LCT rs4988235 (-13910 C > T), связанного с непереносимостью лактозы, в Российской Федерации // Анализ риска здоровью. 2024. № 4. С. 135–144. DOI: <https://doi.org/10.21668/health.risk/2024.4.12>. EDN: ZJPNSX.
- Kongpharm, K., Nakklay, P., Kongtong, C., Tanapumchai, P. et al. 2024. Impacts of people at-risk of either cow milk allergies or lactose intolerance on their daily calcium intake and bone mineral density. *Frontiers in Nutrition*, 11. Article number: 1421275. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1421275>.

- Kulczyk, E., Drożdowska-Sobieraj, E., Bartkowiak, A. 2023. Novel milk substitute based on pea, bean and sunflower seeds with natural bioactive stabilisers. *Plants*, 12(12). Article number: 2303. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants12122303>.
- Le, M. S., Hermansen, C., Vuong, Q. V. 2025. Oat milk by-product: A review of nutrition, processing and applications of oat pulp. *Food Reviews International*, 41(5), pp. 1538–1575. DOI: <https://doi.org/10.1080/87559129.2025.2450263>.
- Leszczyńska, D., Wirkijowska, A., Gasiński, A., Średnicka-Tober, D. et al. 2023. Oat and oat processed products – technology, composition, nutritional value, and health. *Applied Sciences*, 13(20). Article number: 11267. DOI: <https://doi.org/10.3390/app132011267>.
- Li, A., Zheng, J., Han, X., Jiang, Z. et al. 2023. Health implication of lactose intolerance and updates on its dietary management. *International Dairy Journal*, 140. Article number: 105608. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2023.105608>.
- Maghsoudlou, Y., Alami, M., Mashkour, M., Shahraki, M. H. 2016. Optimization of ultrasound-assisted stabilization and formulation of almond milk. *Journal of Food Processing and Preservation*, 40(5), pp. 828–839. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/jfpp.12661>.
- Mäkinen, O. E., Wanhalinna, V., Zannini, E., Arendt, E. K. 2015. Foods for special dietary needs: Non-dairy plant-based milk substitutes and fermented dairy-type products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(3), pp. 339–349. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.761950>.
- McClements, D. J., Newman, E., McClements, I. F. 2019. Plant-based milks: A review of the science underpinning their design, fabrication, and performance. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(6), pp. 2047–2067. DOI: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12505>.
- Merenkova, S. P., Tesakova, D. G. 2021. Analysis of the effectiveness of extraction methods for obtaining herbal drinks with optimal properties. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology*, 9(1), pp. 48–56. DOI: <https://doi.org/10.14529/food210106>. (In Russ.) = Мере́нкова С. П., Тесалова Д. Г. Анализ эффективности методов экстракции для получения растительных напитков с оптимальными свойствами // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2021. Т. 9, № 1. С. 48–56. DOI: <https://doi.org/10.14529/food210106>. EDN: RIQRVH.
- Merenkova, S., Fatkullin, R., Kalinina, I. 2022. Effect of fermentation on the biochemical parameters antioxidant capacity and dispersed composition of plant beverages based on barley and hemp seeds. *Fermentation*, 8(8). Article number: 384. DOI: <https://doi.org/10.3390/fermentation8080384>.
- Nikitina, Y. V., Topnikova, E. V. 2024. Modern trends and prospects in new low-lactose and lactose-free products. *Dairy Industry*, 4, pp. 41–49. DOI: <https://doi.org/10.21603/1019-8946-2024-4-8>. (In Russ.) = Никитина Ю. В., Топникова Е. В. Современные тренды в создании низколактозных и безлактозных продуктов // Молочная промышленность. 2024. № 4. С. 41–49. DOI: <https://doi.org/10.21603/1019-8946-2024-4-8>. EDN: ZCJVZK.
- Pandey, S., Poonia, A. 2020. Plant-based milk substitutes: A novel non-dairy source. In: Mishra, P., Mishra, R. R., Adetunji, C. O. (eds) *Monograph. Innovations in Food Technology*. Springer, Singapore, pp. 63–71. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-15-6121-4_6.
- Portocarrero, A. C. M., Lopez-Santamarina, A., Lopez, P. R., Ortega, I. S. I. et al. 2024. Substitutive effects of milk vs. vegetable milk on the human gut microbiota and implications for human health. *Nutrients*, 16(18). Article number: 3108. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu16183108>.
- Pratelli, G., Tamburini, B., Badami, G. D., Lo Pizzo, M. et al. 2024. Cow's milk: A benefit for human health? Omics tools and precision nutrition for lactose intolerance management. *Nutrients*, 16(2). Article number: 320. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu16020320>.
- Ramsing, R., Santo, R., Kim, B. F., Altema-Johnson, D. et al. 2023. Dairy and plant-based milks: Implications for nutrition and planetary health. *Current Environmental Health Reports*, 10(3), pp. 291–302. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40572-023-00400-z>.
- Ratajczak, A. E., Rychter, A. M., Zawada, A., Dobrowolska, A. et al. 2021. Lactose intolerance in patients with inflammatory bowel diseases and dietary management in prevention of osteoporosis. *Nutrition*, 82. Article number: 111043. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nut.2020.111043>.
- Reyes-Jurado, F., Soto-Reyes, N., Dávila-Rodríguez, M., Lorenzo-Leal, A. C. et al. 2023. Plant-based milk alternatives: Types, processes, benefits, and characteristics. *Food Reviews International*, 39(4), pp. 2320–2351. DOI: <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1952421>.
- Rostamiray, L., Reza Saeidiasl, M., Safari, R., Javadian, R. 2017. Optimization of the enzymatic hydrolysis of soy protein isolate by alcalase and trypsin. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, 14(1), pp. 193–200. DOI: <http://dx.doi.org/10.13005/bbra/2435>.
- Sakthi, T. S., Meenakshi, V., Kanchana, S., Vellaikumar, S. 2020. Study on standardisation and quality evaluation of peanut milk by different processing methods. *European Journal of Nutrition & Food Safety*, 12(5), pp. 60–72. DOI: <https://doi.org/10.9734/ejnf/2020/v12i530228>.

- Shori, A. B., Al Zahrani, A. J. 2021. Non-dairy plant-based milk products as alternatives to conventional dairy products for delivering probiotics. *Food Science and Technology*, 42. Article number: e101321. DOI: <https://doi.org/10.1590/fst.101321>.
- Silva, A. R. A., Silva, M. M. N., Ribeiro, B. D. 2020. Health issues and technological aspects of plant-based alternative milk. *Food Research International*, 131. Article number: 108972. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108972>.
- Szparaga, A., Tabor, S., Kocira, S., Czerwińska, E. et al. 2019. Survivability of probiotic bacteria in model systems of non-fermented and fermented coconut and hemp milks. *Sustainability*, 11(21). Article number: 6093. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11216093>.
- Tian, R., Feng, J., Huang, G., Tian, B. et al. 2020. Ultrasound driven conformational and physicochemical changes of soy protein hydrolysates. *Ultrasonics Sonochemistry*, 68. Article number: 105202. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105202>.
- Tomishima, H., Luo, K., Mitchell, A. E. 2022. The almond (*Prunus dulcis*): Chemical properties, utilization, and valorization of coproducts. *Annual Review of Food Science and Technology*, 13(1), pp. 145–166. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-food-052720-111942>.
- Trufkati, L. V., Kaprelyants, L. V., Pozhitkova, L. G. 2021. Biotechnology of soya multi-component functional ingredients. *Grain Products and Mixed Fodder's*, 21(2), pp. 28–38. DOI: <http://dx.doi.org/10.15673/gpmf.v21i2.2186>.
- Vogelsang-O'Dwyer, M., Zannini, E., Arendt, E. K. 2021. Production of pulse protein ingredients and their application in plant-based milk alternatives. *Trends in Food Science & Technology*, 110, pp. 364–374. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.090>.
- Wang, X., Ye, A., Dave, A., Singh, H. 2022. Structural changes in oat milk and an oat milk – bovine skim milk blend during dynamic in vitro gastric digestion. *Food Hydrocolloids*, 124, Part B. Article number: 107311. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107311>.
- Wongthaweewatana, I., Srinophakun, T. R., Saramala, I., Kasemwong, K. 2021. Production of milk analogues from rice bran protein hydrolysate using the subcritical water technique. *Food Science and Technology*, 41(3), pp. 722–729. DOI: <https://doi.org/10.1590/fst.16520>.
- Zhou, S., Jia, Q., Cui, L., Dai, Y. et al. 2023. Physical-chemical and sensory quality of oat milk produced using different cultivars. *Foods*, 12(6). Article number: 1165. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods12061165>.
- Ziaro, M., Cichońska, P. 2021. Lactic acid bacteria-fermentable cereal- and pseudocereal-based beverages. *Microorganisms*, 9(12). Article number: 2532. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms9122532>.

Сведения об авторах

Алексаночкин Денис Игоревич – Волоколамское шоссе, 11, г. Москва, Россия, 125080;
Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), магистр;
e-mail: aleksanochkindi@list.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-7677-6583>

Denis I. Aleksanochkin – 11 Volokolamsk Highway, Moscow, Russia, 125080;
Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH), Master Student;
e-mail: aleksanochkindi@list.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-7677-6583>

Семенов Иван Дмитриевич – Волоколамское шоссе, 11, г. Москва, Россия, 125080;
Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), студент;
e-mail: ivansemenov965@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-8208-892X>

Ivan D. Semenov – 11 Volokolamsk Highway, Moscow, Russia, 125080;
Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH), Student;
e-mail: ivansemenov965@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-8208-892X>

Фоменко Иван Андреевич – Волоколамское шоссе, 11, г. Москва, Россия, 125080;
Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), канд. техн. наук;
e-mail: fomenkoia@mgupp.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2478-1705>

Ivan A. Fomenko – 11 Volokolamsk Highway, Moscow, Russia, 125080;
Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH), Cand. Sci. (Engineering);
e-mail: fomenkoia@mgupp.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2478-1705>