

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2026-3-2650>
<https://elibrary.ru/XJPGHS>

Обзорная статья
<https://fptt.ru>

Нетермические технологии обработки сырого молока: микробиологическая безопасность и качество



А. Ч. Бурак¹, А. А. Лукин^{2,3,*}, А. В. Гриценко^{2,3},
И. В. Тимошук⁴, А. К. Горелкина⁴

¹ ООО «БЕЛРОСАКВА», Минск, Беларусь

² Южно-Уральский государственный аграрный университет^{ROR}, Челябинск, Россия

³ Южно-Уральский государственный университет^{ROR}, Челябинск, Россия

⁴ Кемеровский государственный университет^{ROR}, Кемерово, Россия

Поступила в редакцию: 23.04.2026

Принята после рецензирования: 22.06.2026

Принята к публикации: 07.07.2026

*e-mail: luhin3415@gmail.com

© А. Ч. Бурак, А. А. Лукин, А. В. Гриценко, И. В. Тимошук,
А. К. Горелкина, 2026



Аннотация.

Рост спроса на минимально обработанные молочные продукты усиливает необходимость повышения микробиологической безопасности сырого молока при сохранении природного состава, пищевой ценности и органолептических свойств. Цель исследования – комплексно оценить нетепловые технологии и их комбинированные многоступенчатые системы, а также цифровые инструменты сопровождения, применяемые для повышения микробиологической безопасности сырого молока при максимальном сохранении его пищевой, биохимической и сенсорной ценности.

Объектами исследования являлись научные публикации на английском языке, индексируемые в базах Scopus, PubMed и Web of Science, а также на русском языке, представленные в Российском индексе научного цитирования, посвященные нетепловым технологиям обеспечения безопасности и качества сырого молока. Выполнены поиск, отбор релевантных источников и критический анализ результатов по направлениям: ультрафиолетовое излучение, холодная плазма, высокое гидростатическое давление, импульсные электрические поля, микрофильтрация, а также оптимизация режимов с применением методов искусственного интеллекта и цифровая прослеживаемость на основе технологий распределенного реестра.

Установлено, что перечисленные методы способны существенно снижать микробную контаминацию и инактивировать значимые патогены, включая *Escherichia coli* и *Listeria monocytogenes*, при более бережном сохранении витаминов, ферментов и биоактивных белков (в т. ч. лактоферрина), по сравнению с тепловой обработкой. Показано, что наиболее перспективны многоступенчатые синергетические системы, сочетающие физические барьеры и факторы инактивации, что повышает воспроизводимость и позволяет гибко балансировать безопасность и качество. Отмечена важность цифровых инструментов для подбора режимов, предиктивного контроля качества и оптимизации параметров безопасности в цепочке поставок. Нетепловые технологии являются значимым ресурсом повышения безопасности сырого молока при сохранении его качественных характеристик, особенно при использовании комбинированных схем и цифрового мониторинга. Дальнейшие исследования должны быть направлены на унификацию протоколов валидации, сравнение технологий в промышленном масштабе и комплексную оценку влияния на нутриенты, сенсорные свойства и экономику процесса.

Ключевые слова. Молочные продукты, патогены, ультрафиолетовое излучение, холодная плазма, высокое гидростатическое давление, импульсные электрические поля, микрофильтрация, искусственный интеллект, цифровая прослеживаемость

Для цитирования: Бурак А. Ч., Лукин А. А., Гриценко А. В., Тимошук И. В., Горелкина А. К. Нетермические технологии обработки сырого молока: микробиологическая безопасность и качество. Техника и технология пищевых производств. 2026. Т. 56. № 3. С. 465–480. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2026-3-2650>

Non-Thermal Technologies for Raw Milk Processing: Microbiological Safety and Quality



Leonid Ch. Burak¹, Aleksandr A. Lukin^{2,3,*},
Alexander V. Gritsenko^{2,3}, Irina V. Timoshchuk⁴,
Alena K. Gorelkina⁴

¹ LLC BELROSAKVA, Minsk, Belarus

² South Ural State Agrarian University^{ROR}, Chelyabinsk, Russia

³ South Ural State University^{ROR}, Chelyabinsk, Russia

⁴ Kemerovo State University^{ROR}, Kemerovo, Russia

Received: 23.04.2026

Revised: 22.06.2026

Accepted: 07.07.2026

*e-mail: lukin3415@gmail.com

© L.Ch. Burak, A.A. Lukin, A.V. Gritsenko, I.V. Timoshchuk,
A.K. Gorelkina, 2026



Abstract.

The growing demand for minimally processed dairy products increases the need to improve the microbiological safety of raw milk while preserving its natural composition, nutritional value, and sensory properties. This review describes key non-thermal processing technologies, combined treatment schemes, and digital tools for quality and traceability management.

The literature analysis encompassed English-language publications indexed in Scopus, PubMed, and Web of Science, as well as Russian-language articles from the Russian Science Citation Index. The evaluation focused on core technologies, including ultraviolet radiation, cold plasma, high hydrostatic pressure, pulsed electric fields, and microfiltration, alongside AI-driven optimization of processing parameters and digital traceability based on distributed ledger technologies.

Compared to conventional thermal treatments, these methods offer superior efficacy in reducing microbial contamination and inactivating major pathogens, such as *Escherichia coli* and *Listeria monocytogenes*, while preserving vitamins, enzymes, and bioactive proteins like lactoferrin. Multistage synergistic systems demonstrate the greatest potential because they combine physical barriers and inactivation mechanisms, thereby increasing process reproducibility and enabling a flexible balance between safety and quality. Furthermore, digital tools facilitate optimal parameter selection, predictive quality control, and the optimization of safety parameters throughout the supply chain.

Non-thermal technologies leveraging combined schemes and digital monitoring enhance raw milk safety while maintaining its natural quality profile. Future research should focus on standardizing validation protocols, evaluating these technologies on an industrial scale, and comprehensively assessing their impact on nutrients, sensory attributes, and process economics.

Keywords. Dairy products, pathogens, ultraviolet radiation, cold plasma, high hydrostatic pressure, pulsed electric fields, microfiltration, artificial intelligence, digital traceability

For citation: Burak LCh, Lukin AA, Gritsenko AV, Timoshchuk IV, Gorelkina AK. Non-Thermal Technologies for Raw Milk Processing: Microbiological Safety and Quality. Food Processing: Techniques and Technology. 2026;56(3):465–480. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2026-3-2650>

Введение

Сырое молоко – молоко, не подвергавшееся термической пастеризации, в последние годы вновь привлекает внимание потребителей. Возросший интерес к сырому молоку обусловлен стремлением покупателей к натуральным и минимально обработанным пищевым продуктам, которые более полезны и оказывают благоприятное воздействие на здоровье [1, 2]. Сторонники употребления сырого молока полагают, что отсутствие термической обработки позволяет сохранить термолабильные витамины (В₂, В₁₂, С), природные ферменты и полезную микрофлору, благотворно влияющую

на пищеварение и иммунитет [3]. Однако научная обоснованность этих преимуществ остается предметом дискуссий. Основные вопросы вызывают реальная степень усвоения питательных веществ, эффективность микроорганизмов в регуляции иммунного ответа, а также общая оценка безопасности употребления непастеризованного продукта [4]. До внедрения пастеризации сырое молоко зачастую являлось основной причиной опасных инфекционных заболеваний. В настоящее время, несмотря на совершенствование санитарно-микробиологического контроля и технологий термической обработки молочной продукции, риск

бактериальной контаминации сырого молока патогенными микроорганизмами (*Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* spp. и *Campylobacter jejuni*) сохраняется вследствие возможного загрязнения на этапах получения, доения и обращения с сырьем [5, 6]. Микробиологическая обсемененность продукта возможна вследствие субклинического мастита, фекального загрязнения в процессе доения, а также нарушений санитарных правил при транспортировке, хранении и переработке [7]. Пастеризация остается «золотым стандартом» безопасности [8]. Вместе с тем тепловая обработка неизбежно снижает биологическую ценность молока, видоизменяя его вкус и разрушая часть полезных компонентов. Кроме того, данная процедура сопровождается такими нежелательными эффектами, как частичная потеря термолабильных нутриентов, денатурация белков и ферментов, развитие реакций Майяра и ухудшение органолептических качеств, что в целом снижает потребительские свойства продукта и его привлекательность [9, 10]. Оптимальным решением обеспечения микробиологической стабильности, максимального сохранения органолептических свойств и пищевой ценности научное сообщество признает использование нетепловых методов обработки. Такие технологии способны инактивировать патогенные микроорганизмы при низких температурах за счет действия различных механизмов, включая электропорацию клеточных мембран, повреждение ДНК и генерацию активных форм кислорода, при этом обеспечивая максимальное сохранение биологически активных веществ и органолептических свойств продукта [11]. К таким нетермическим технологиям относятся ультрафиолетовое излучение (УФ-С), холодная плазма (ХП), обработка высоким гидростатическим давлением (ВГД), импульсное электрическое поле (ИЭП) и микрофильтрация (МФ). Современные научные исследования сфокусированы на многоступенчатых комбинированных системах (например ВГД + ИЭП и МФ + УФ-С), обеспечивающих высокую микробиологическую безопасность продукта за счет технологической синергии [12–14]. Новые перспективные возможности предлагает цифровая трансформация: применение искусственного интеллекта для онлайн-оптимизации процессов, блокчейна для обеспечения прослеживаемости продукции и нанотехнологий для модернизации фильтрационных систем [15–17]. Несмотря на обширный массив публикаций, существующие обзоры, как правило, ограничены либо отдельными нетепловыми методами, либо их микробиологическим воздействием, либо общими вопросами цифровизации отрасли. Наблюдается дефицит системных работ, объединяющих анализ физических методов, ИТ-инструментов и гибридных подходов к безопасности сырого молока в контексте технологических, экономических, экологических и социальных факторов. Следовательно, необходим системный обзор, который позволит оценить не только эффективность отдельных технологий,

но и их практическую реализуемость, масштабируемость и потенциал внедрения в современных молочных цепях поставок. Цель исследования – комплексно оценить нетепловые технологии и их комбинированные многоступенчатые системы, а также цифровые инструменты сопровождения, применяемые для повышения микробиологической безопасности сырого молока при максимальном сохранении его пищевой, биохимической и сенсорной ценности. Для достижения поставленной цели определены следующие исследовательские вопросы:

1. Какие нетепловые технологии наиболее эффективны для инактивации патогенных микроорганизмов в сыром молоке и каковы механизмы их антимикробного действия?
2. В какой степени эти технологии позволяют сохранить качество сырого молока, включая его питательную ценность, биоактивные компоненты и сенсорные характеристики, по сравнению с традиционной пастеризацией?
3. Насколько результативны многоступенчатые комбинированные подходы относительно отдельных технологий и обеспечивают ли они необходимый для промышленного применения уровень микробиологической безопасности?
4. Какую роль играют цифровые инструменты, включая искусственный интеллект, блокчейн и смежные решения, в оптимизации технологических параметров, мониторинге процессов и прослеживаемости продукции?
5. Какие технологические, экономические, экологические, нормативные и социальные факторы определяют масштабируемость и практическую осуществимость внедрения этих решений в молочную отрасль?

Объекты и методы исследования

Объектами исследования являлись научные публикации за период 2015–2026 гг., посвященные нетепловым технологиям обеспечения микробиологической безопасности и качества сырого молока. Рассматривались источники на английском языке, индексируемые в базах Scopus, PubMed и Web of Science, а также публикации на русском языке, представленные в Российском индексе научного цитирования (РИНЦ).

Исследование выполнено в формате критического тематического обзора. Проведены поиск, отбор источников и анализ результатов по следующим направлениям: ультрафиолетовое излучение (в т. ч. диапазон УФ-С), холодная плазма, высокое гидростатическое давление, импульсные электрические поля, микрофильтрация. Дополнительно рассмотрены перспективные подходы, включая нанотехнологические решения для фильтрации и барьерных материалов, оптимизацию режимов обработки с применением методов искусственного интеллекта, а также цифровую прослеживаемость на основе технологий распределенного реестра.

Поиск осуществляли по ключевым словам и их сочетаниям с применением логических операторов AND/OR. Использовали русскоязычные и англоязычные термины, отражающие объект исследования (сырое молоко / raw milk / unpasteurized milk), тип обработки (нетепловая обработка / non-thermal processing), а также конкретные технологии (UV-C, cold plasma, HPP, PEF, microfiltration). Для расширения охвата выполняли дополнительный поиск по спискам литературы наиболее релевантных публикаций.

Критерии включения: научные публикации за 2015–2026 гг., содержащие экспериментальные данные или технологический анализ применения указанных нетепловых методов к сырому молоку и / или оценку показателей безопасности и качества.

Критерии исключения: дублирующиеся записи; работы, не относящиеся к сырому молоку; публикации, посвященные исключительно термической обработке без рассмотрения нетепловых альтернатив; источники с недостаточным описанием методов и результатов для последующего анализа.

Сопоставление результатов проводили по следующим группам показателей: микробиологическая эффективность, влияние на нутриенты и биоактивные компоненты, а также технологическая реализуемость и ограничения масштабирования.

Результаты и их обсуждение

Проблемы, связанные с традиционной термической пастеризацией. Термическая пастеризация, обычно реализуемая как высокотемпературная кратковременная обработка (HTST; 72–75 °C в течение 15–20 с) или ультравысокотемпературная обработка (UHT; 135–150 °C в течение 1–4 с), остается базовым методом обеспечения безопасности молочной продукции благодаря высокой эффективности инактивации вегетативных патогенных микроорганизмов и частичной инактивации ферментов порчи, что способствует увеличению срока годности [18, 19]. Вместе с тем под действием высокой температуры происходит изменение пищевой ценности и органолептических свойств молока. Основным недостатком термического воздействия – разрушение чувствительных к нагреву веществ и изменение свойства белков. Наиболее чувствительны к действию высоких температур водорастворимые витамины: при интенсивном нагреве снижается содержание витамина С и части витаминов группы В, причем степень потерь зависит от режима обработки и исходного состава молока [20, 21]. Одновременно изменяется активность эндогенных ферментных систем молока (липопротеинлипазы, плазмина, щелочной фосфатазы), что может сказываться на стабильности продукта при хранении и последующей переработке [22, 23]. Значимой проблемой термообработки является уменьшение доли биоактивных белков – иммуноглобулинов, лактоферрина и лактопероксидазы, которые участвуют

в защите от микробов и поддержке иммунных функций; под действием высоких температур они частично разрушаются, что подтверждается рядом исследований [24]. Кроме того, термическая обработка значительно изменяет микробиоту молока [25].

Нагревание влияет на вкус, запах и цвет молока вследствие денатурации белков, протекания реакции Майяра (между лактозой и аминокетонами, в т. ч. лизинами) и окисления липидов. В результате могут появляться характерные «вареные» и сернистые ноты, а также изменения оттенка, более выраженные для УНТ по сравнению с HTST [24, 26]. С физико-химической точки зрения денатурация сывороточных белков и перестройка казеиновых мицелл способны повышать вязкость и в отдельных случаях приводить к образованию осадка при хранении [27]. Термические процессы энергоемки и требуют циклов нагрева и охлаждения, что увеличивает ресурсную нагрузку производства и его вклад в углеродный след отрасли [28]. В совокупности потери термочувствительных компонентов, изменения сенсорных свойств и экологические издержки усиливают интерес к нетепловым альтернативам, обеспечивающим микробиологическую безопасность при более мягком воздействии на качество продукта [29].

Современные нетепловые методы повышения безопасности сырого молока. На фоне роста ожиданий потребителей и ужесточения требований к безопасности пищевой продукции активно развиваются нетепловые технологии обработки сырого молока, ориентированные на снижение микробной нагрузки при сохранении пищевой ценности и органолептических показателей [30]. Эти методы различаются по механизмам инактивации микроорганизмов, эффективности в отношении отдельных групп патогенов и уровню технологической готовности. Основные показатели эффективности, влияние на качество и возможность практического внедрения нетермических методов обработки представлены в таблице 1.

Современные технологии нетепловой обработки.
Ультрафиолетовое облучение (УФ-С) (200–280 нм, наиболее часто около 254 нм) снижает микробную обсемененность преимущественно благодаря фотохимическому повреждению ДНК и нарушению репликации [31, 32]. Основным технологическим ограничением для молока является высокая мутность, уменьшающая глубину проникновения излучения. Поэтому для достижения стабильного эффекта применяют тонкопленочные и проточные реакторы, обеспечивающие малую толщину слоя и эффективное перемешивание [33, 34]. В зависимости от дозы и конструкции установки описывают снижение численности микроорганизмов в диапазоне $\sim 1\text{--}6 \log_{10}$ КОЕ/мл, включая *Listeria monocytogenes* и *Escherichia coli* [35]. Преимуществом УФ-С по сравнению с тепловой пастеризацией выступает потенциал лучшего сохранения органолептики и части биоактивных белков, однако эффект существенно зависит от дозы: при завышенных

Таблица 1. Сравнительный обзор основных показателей эффективности существующих нетепловых технологий

Table 1. Performance indicators of non-thermal technologies: Comparative analysis

Критерий	Ультрафиолетовое излучение	Холодная плазма	Высокое гидростатическое давление	Импульсное электрическое поле	Микрофилтрация
Снижение микробиологической обсемененности ($\log_{10}$)	1–6; ограничено мутностью, важна конструкция реактора	3–5; зависит от режима и матричного эффекта	Обычно ≥ 5 для вегетативных форм; споры более устойчивы	4–5; зависит от поля, удельной энергии и температуры	Обычно ≥ 3 ; физическое удаление; эффективна в обезжиренной фракции
Влияние на качество	Обычно минимальное; при высоких дозах возможны свет-индуцированные привкусы	В целом умеренное; при жестких режимах возможен рост окислительных процессов	Часто близко к свежему; возможны изменения белковой системы при интенсивных режимах	Минимальные изменения при контроле омического нагрева	Свежий вкус; чаще применяют к обезжиренному молоку
Энергопотребление	Умеренно низкое	Умеренное	Высокое	Умеренно высокое	Умеренное
Затраты (капитальные / эксплуатационные)	Умеренно низкие	Умеренные	Очень высокие	Высокие	Умеренно высокие
Технологическая готовность для промышленного внедрения	7–9	5–7	8–9	6–8	8–9

дозах возможны свет-индуцированные дефекты вкуса, связанные с образованием летучих соединений. Кроме того, эффективность против спор ограничена, поэтому УФ-С чаще рассматривают в качестве компонента комбинированных схем (например совместно с микрофилтрацией) [34, 36].

Холодная плазма. Холодная плазма представляет собой частично ионизированный газ, в котором антимикробный эффект связан с действием реактивных форм кислорода и азота, а также заряженных частиц, вызывающих повреждение мембран, биополимеров и нуклеиновых кислот [37–39]. В ряде работ показано снижение численности микроорганизмов на несколько $\log_{10}$ в течение трех минут, при этом характер изменений качества зависит от режима и состава молока. Согласно данным Н. М. Abbas *et al.*, обработка молока холодной плазмой обеспечивала более низкие уровни общей микрофлоры и колиформ по сравнению с пастеризованным и сырым молоком при хранении при 4 °С в течение 7 суток, что указывает на потенциал технологии для повышения микробиологической стабильности [40]. Вместе с тем для холодной плазмы сохраняются ограничения, связанные с неоднородностью воздействия в непрозрачных матрицах и рисками окислительных изменений, что требует оптимизации параметров и конструкции реактора.

Обработка высоким гидростатическим давлением (ВГД). Обработка молока ВГД (400–600 МПа) способствует эффективной инактивации микрофлоры,

обеспечивая при этом максимальное сохранение органолептических свойств продукта [41, 42]. Установлено, что действие в течение нескольких минут при 600 МПа снижает численность вегетативных форм на 5 $\log_{10}$ КОЕ/мл. Однако бактериальные споры обладают значительной резистентностью, поэтому, как правило, требуются комбинированные методы обработки [43–45].

Существенным ограничением ВГД является его недостаточная эффективность против спор: повышение давления или времени обработки для их инактивации ведет к росту энергозатрат и снижению производительности в промышленных масштабах [44]. Тем не менее способность ВГД сохранять исходную пищевую ценность и вкусовой профиль молока остается его ключевым преимуществом [45]. В отличие от классической пастеризации, данная технология способствует сохранению термолабильных витаминов и биоактивных белков, таких как лактоферрин и иммуноглобулины [46, 47]. Дегустационная оценка подтверждает, что молоко после ВГД-обработки практически идентично свежему. Помимо продления срока годности и сокращения пищевых отходов, технология ВГД обладает экологическим преимуществом за счет более низкого энергопотребления по сравнению с традиционной термической обработкой [48].

Импульсное электрическое поле (ИЭП). Воздействие импульсных электрических полей вызывает электропорацию мембран микробных клеток, что при-

водит к их необратимой инактивации [49, 50]. Эффективность процесса напрямую коррелирует с напряженностью поля, длительностью импульсов, удельной энергией и температурой обработки. Результаты исследований показали, что обработка ИЭП при параметрах 35 кВ/см, 100 импульсов и температуре 40 °C способствовала снижению обсемененности *E. coli* 4–5 $\log_{10}$ КОЕ/мл [51]. Для достижения стабильно высоких уровней инактивации требуется прецизионный контроль омического нагрева и обеспечение однородности обработки потока. Основным ограничением метода остается низкая результативность в отношении спор, в связи с чем ИЭП часто интегрируют в гибридные схемы, что может затруднять масштабирование технологии и увеличивать эксплуатационные расходы [52]. Технология ИЭП также изучается на предмет потенциального применения для регулирования ферментативной активности в молоке: ИЭП может эффективно снижать активность таких ферментов, как ксантиноксидаза и липаза, лишь незначительно влияя на плазмин, участвующий в расщеплении молочных белков [53]. Обработка ИЭП обеспечивает высокую сохранность органолептических свойств сырого молока – естественного вкуса, цвета и текстуры. Сенсорные оценки часто показывают, что молоко, обработанное ИЭП, неотличимо от свежего. С точки зрения воздействия на окружающую среду, технология ИЭП способствует достижению целей устойчивого развития за счет снижения энергопотребления по сравнению с традиционной пастеризацией и минимизации пищевых отходов [54]. Кроме того, обработка ИЭП позволяет сохранить около 94 % термочувствительных витаминов групп А и В [55].

Микрофилтрация (МФ). Применение МФ позволяет физически удалить из молока микроорганизмы, а также часть споровой микрофлоры за счет мембранного разделения. На практике оборудование для МФ удобно встраивать в технологическую линию. Следует отметить, что процесс наиболее эффективен при обработке обезжиренной фракции молока [56]. Преимущественно перспективным является комбинирование МФ с другими нетепловыми методами обработки,

такими как ультразвук или УФ-С излучение. В отличие от термической пастеризации, такие гибридные схемы способствуют обеспечению микробиологической стабильности и более эффективному сохранению биологически активных веществ. Согласно данным Y. Liu *et al.* [57], сочетание МФ с УФ-С или ультразвуком позволяет сохранить долю нативных белков в большей степени, чем комбинация МФ с высокотемпературной кратковременной пастеризацией (HTST); при этом микробная обсемененность снижается до неопределяемого уровня, а срок годности увеличивается до 40 суток. Исследование W. Zhang *et al.* [58] также свидетельствует о том, что по сравнению со стандартной пастеризацией HTST применение МФ совместно с ультразвуком способствует увеличению срока хранения и максимальному сохранению пищевой ценности молока.

В таблице 2 показана эффективность комбинированной МФ в сочетании с ультразвуковой технологией для сырого обезжиренного молока. Исследования демонстрируют, что молочная фракция сохраняет важные биоактивные соединения, такие как лактоферрин и иммуноглобулины, и поддерживает свежий вкус и аромат молока [59, 60]. Комбинирование МФ с ультразвуком снижает бактериальную нагрузку более выражено, чем HTST и МФ по отдельности, при умеренном снижении общего белка [58].

Перспективные направления развития нетепловых технологий и цифровизации молочной цепочки. Системы фильтрации, усовершенствованные с помощью нанотехнологий. Модифицированные фильтрационные системы предполагают использование наноматериалов для повышения эффективности разделения и селективности мембран, что потенциально позволяет удалять загрязняющие вещества и патогены без выраженной потери ценных компонентов молока [61]. В качестве примеров рассматриваются наночастицы серебра (Ag-NPs) как антимикробные модификаторы мембран, а также углеродные нанотрубки (CNTs), способные повысить механическую прочность и транспортно-селективные свойства мембранных

Таблица 2. Синергетический эффект микрофилтрации в сочетании с ультразвуковой обработкой [58]

Table 2. Synergistic effect of microfiltration combined with ultrasonic treatment [58]

Условия обработки	Общее содержание белка, мг/мл	Общее количество бактерий, $\log_{10}$ КОЕ/мл	Бактериальные споры, $\log_{10}$ КОЕ/мл
Сырое обезжиренное молоко (контроль)	36,0 ± 0,4	6,16 ± 0,02	3,69 ± 0,01
Высокотемпературная кратковременная обработка	35,7 ± 0,2	4,02 ± 0,09	3,64 ± 0,01
Микрофилтрация	35,2 ± 0,1	2,46 ± 0,02	не обнаружены
Микрофилтрация + ультразвук (432 Дж/мл)	34,2 ± 0,3	1,73 ± 0,04	не обнаружены
Микрофилтрация + ультразвук (1296 Дж/мл)	34,0 ± 1,0	не обнаружены	не обнаружены

материалов [62]. Самостоятельным вектором развития является использование нанотехнологий для инкапсуляции и защиты биоактивных компонентов, что минимизирует деградацию чувствительных нутриентов в процессах переработки и хранения [63].

Параллельно с этим внедрение наноматериалов в пищевой сектор сопряжено с серьезными барьерами в области безопасности, правового регулирования и экономической целесообразности. Ключевым риском признается потенциальная миграция наночастиц (в частности Ag и TiO₂) в пищевой продукт, а также дефицит данных о долгосрочном токсикологическом профиле при их систематическом употреблении. Надзорные ведомства (например FDA и EFSA) пока не разработали единых специфических регламентов для искусственно созданных наноматериалов (ENM), контактирующих с пищей, что препятствует их широкому внедрению [64]. Ситуацию усугубляет отсутствие стандартизированных протоколов обнаружения и количественного анализа ENM в сложных матрицах, таких как молоко, что затрудняет объективную оценку рисков и сопоставимость результатов различных исследований [65]. С практической точки зрения процедура получения разрешений (например статуса GRAS или заключений EFSA) требует масштабных и дорогостоящих токсикологических тестов. Высокие материальные затраты и необходимость приобретения специализированного оборудования являются существенным барьером для широкого промышленного внедрения, а также ограничивают возможность для использования на малых предприятиях [62].

Технологии искусственного интеллекта. В настоящее время технологии искусственного интеллекта (ИИ), включая методы машинного и глубокого обучения, а также анализ данных в реальном времени, научное сообщество рассматривает как эффективный инструмент для более точного контроля качества сырого молока и повышения эффективности производства [17, 66]. ИИ способен обеспечивать непрерывный мониторинг ключевых показателей качества продукта (рН, мутности и др.) за счет подключения устройства интернета вещей (IoT) и датчиков, что позволяет своевременно выявлять отклонения и оперативно оценивать риски микробиологической обсемененности [67]. В рамках прогнозной аналитики модели машинного обучения (например комбинированные методы для классификации риска порчи или регрессионные модели для прогноза срока годности) позволяют работать со сложными многомерными наборами данных [68, 69]. Для управления процессами в реальном времени перспективны подходы обучения с подкреплением, при которых параметры обработки (например доза УФ-С или режим ВГД) могут динамически корректироваться на основе потоков данных от датчиков и заданных критериев оптимизации [70, 71]. В качестве примера прикладного применения описываются цифровые платформы, предоставляющие рекомендации в реальном времени

для снижения потерь и повышения технологических выходов в молочной переработке [17]. Несмотря на высокий потенциал, внедрение ИИ сдерживается рядом факторов: сложностью интерпретации моделей, что затрудняет валидацию и регуляторное обоснование; потребностью в больших, качественных и репрезентативных размеченных данных; рисками алгоритмической предвзятости, а также вопросами конфиденциальности и владения данными. Дополнительными барьерами являются необходимость значительных капитальных вложений в инфраструктуру (датчики, системы связи, вычислительные мощности) и недостаточная подготовка персонала, что особенно критично для малых и средних предприятий.

Обеспечение прослеживаемости технологией блокчейн. Блокчейн представляет собой распределенный реестр, в котором записи невозможно незаметно изменить или удалить. В молочной отрасли данная технология способствует повышению прозрачности и достоверности данных о движении продукции по цепочке «от фермы до потребителя» [43, 72]. Интеграция блокчейна с IoT позволяет автоматически фиксировать и передавать в систему такие параметры, как температурные режимы при хранении и транспортировке, а также отдельные микробиологические показатели, что облегчает контроль рисков и повышает качество прослеживаемости [74]. За счет защищенного хранения и верификации записей блокчейн также рассматривается как инструмент снижения вероятности фальсификации и уменьшения числа ошибок при маркировке товаров [75, 76]. В прикладном аспекте выделяются как публичные, так и корпоративные решения (платформы Ethereum и Hyperledger Fabric), которые уже интегрируются в цепочки поставок [74, 76]. Однако широкое внедрение технологии ограничено рядом технических и организационных факторов: проблемы масштабируемости при высокой интенсивности регистрации событий; значительное энергопотребление отдельных алгоритмов консенсуса; сложность обеспечения совместимости различных платформ с действующими ИТ-системами предприятий; а также отсутствие унифицированных стандартов в области форматов данных и протоколов доступа.

Существенным препятствием являются стартовые инвестиции в датчики, связь и системную интеграцию [77]. С регуляторной точки зрения сохраняются вопросы соответствия требованиям защиты персональных и коммерчески чувствительных данных (например GDPR в ЕС), поскольку принцип неизменяемости записей может конфликтовать с требованиями корректировки / удаления данных, а различия в регуляторных требованиях к глубине и типу прослеживаемости повышают риск несовместимости решений между участниками цепочки и надзорными органами [75].

Сравнительный анализ и синергия. Интегрированная система оценки. Критический анализ отдельных нетепловых технологий показывает, что

их практическое внедрение зависит от множества факторов. В связи с этим необходима интегрированная система оценки, учитывающая ключевые критерии: эффективность инактивации микроорганизмов, сохранение пищевой ценности и органолептических свойств, экономические затраты, энергопотребление, воздействие на окружающую среду и технологическую готовность [9, 28]. Рассмотрение различных методов свидетельствует об отсутствии универсальной технологии. Выбор оптимального решения всегда определяется контекстом и приоритетами конкретного производства – обеспечением безопасности, достиганием эффективности, сопоставимой с традиционной пастеризацией, максимальным сохранением биологически активных веществ или экономически обоснованным увеличением срока годности. Например, обработка высоким гидростатическим давлением сочетает высокую эффективность инактивации патогенов и оптимальную сохранность нативных свойств продукта, однако его внедрение требует значительных капитальных вложений, а периодический режим обработки ограничивает производительность технологического процесса [78]. Относительная экономичность УФ-С облучения снижается из-за проблем при обработках мутных сред и риска изменения вкуса и запаха продукта [79].

Анализ баланса между эффективностью и качеством. Выбор нетермических методов обработки сырого молока связан с необходимостью балансировать между микробиологической эффективностью, качеством готового продукта и затратами, что напрямую определяет целесообразность внедрения. Для инактивации патогенных микроорганизмов ВГД обеспечивает снижение их численности более чем на десять порядков, что практически равнозначно традиционной пастеризации [43]. Напротив, для обеспечения микробиологической стабильности методами ИЭП и УФ-С зачастую необходима точная настройка параметров либо включения их в многоступенчатые (гибридные) процессы [52]. Хотя нетермические методы в целом более эффективно сохраняют пищевую ценность по сравнению с термической пастеризацией, их влияние на компоненты молока различается. ВГД и ИЭП, как правило, в большей степени сохраняют нативные структуры белков, тогда как холодная плазма (ХП) за счет реактивных частиц может модифицировать белки, но одновременно повышается риск окисления липидов [40]. Следует отметить, что максимальное сохранение нутриентов не всегда означает более высокое потребительское принятие или улучшение функциональных свойств. Например, при недостаточно контролируемой обработке ХП возможно появление посторонних привкусов, что при эффективном сохранении пищевой ценности ухудшает органолептические свойства и восприятие продукта. МФ эффективно сохраняет нутриенты в обезжиренном молоке, однако в цельном молоке может быть менее результативна

против патогенов и слабее инактивировать микробные токсины [57]. Кроме того, хотя ВГД способствует сохранению иммуноглобулинов, высокое давление влечет за собой небольшие конформационные изменения, потенциально снижающие сродство к антигенам или иммуномодулирующую активность [79].

Анализ экономических и экологических аспектов. С экономической точки зрения такие технологии, как УФ-С и МФ, более приемлемы для внедрения благодаря их совместимости с непрерывными технологическими линиями и более низким относительным капитальным затратам [80]. В отличие от них, обработка под ВГД и крупномасштабная обработка методом ИЭП потребует значительных инвестиций, оправданных в первую очередь для крупных производителей или премиальных продуктовых линий [81]. В рамках экологического аспекта нетермические методы обработки, как правило, менее энергоемки, чем термические процессы. Однако для учета косвенных воздействий, таких как производство и утилизация наноматериалов в улучшенной фильтрации или энергоемкость компрессоров ВГД, необходима оценка полного цикла [82]. Увеличение срока годности (до 30–40 суток для молока, обработанного методами ВГД и МФ) дает значительное косвенное экологическое преимущество за счет сокращения объемов пищевых отходов. Тем не менее этот эффект необходимо сопоставлять с повышенными затратами энергии и ресурсов на обслуживание более сложного технологического оборудования [47].

Комбинирование нетермических технологий.

Интеграция нетепловых технологий в многоступенчатые системы знаменует собой смену парадигмы в консервировании сырого молока. Комбинирование нескольких нетермических методов обработки может обеспечить синергетический эффект, способствуя повышению микробиологической безопасности при максимальном сохранении нутриентного состава и органолептических показателей продукта. Пилотные исследования показывают, что сочетание высокого гидростатического давления (400–600 МПа) с импульсными электрическими полями (20–50 кВ/см) способно обеспечивать снижение численности патогенов *E. coli* и *L. monocytogenes* более чем на $6 \log_{10}$ КОЕ/мл [83]. Аналогично в лабораторных условиях продемонстрировано, что комбинирование МФ с УФ-С-облучением позволяет снизить обсемененность обезжиренного молока до уровня ниже предела обнаружения, одновременно увеличивая срок годности до 40 суток [84]. Вместе с тем следует учитывать, что доказательная база по синергетическому действию таких комбинаций пока в основном ограничена результатами лабораторных и пилотных испытаний. Для их широкого внедрения необходимо проведение промышленных испытаний и комплексная технико-экономическая оценка, включая анализ рентабельности. Переход от перспективных пилотных проектов к коммерчески жизнеспособным процессам, одобренным регулирующими органами,

требует разработки четкой дорожной карты валидации. В таблице 3 приведена структурированная дорожная карта валидации нетепловых и многоступенчатых процессов. Она служит систематической основой для достижения нормативного соответствия традиционной пастеризации, гарантируя стабильные показатели безопасности и качества продукта. Данная карта включает: а) определение «наихудшего сценария» обсеменения сырого молока патогенами (включая устойчивые штаммы *L. monocytogenes* и *E. coli* O157:H7); б) проведение испытаний в потребительской упаковке при минимальных и максимальных параметрах обработки; в) подтверждение снижения содержания патогенных микроорганизмов минимум на 5 порядков (5-log reduction) в течение всего срока годности; г) документирование критических показателей качества (сохранение биоактивных белков, органолептический профиль) при валидированных режимах. Такой подход отвечает принципам валидации, установленным регулирующими органами, и доказывает, что процесс позволяет стабильно получать продукт, соответствующий заданным требованиям.

Несмотря на многообещающие результаты, широкое внедрение многоступенчатых технологий сталкивается со значительными проблемами. Основные барьеры включают существенные капиталовложения в интегрированные системы; при этом оценки стоимости конфигураций ВГД + ИЭП варьируются от 1 до 3 млн долларов. [78]. Кроме того, существует острая необходимость в стандартизированных протоколах валидации для обеспечения равномерного и предсказуемого снижения численности патогенов при различных комбинациях технологий. Регулирую-

щие органы требуют снижения количества ключевых патогенов минимум на 5 порядков для нетермических процессов, чтобы они считались эквивалентными традиционной пастеризации. Это требует всесторонней валидации для каждой конфигурации многоступенчатой системы [85].

Социально-экономические и экологические последствия нетепловых технологий. Внедрение нетермических технологий обработки молока следует рассматривать не только как инструмент повышения технологической эффективности, но и как значимый фактор формирования социально-экономических и экологических эффектов в молочной отрасли. Применение данных технологий создает дополнительные экономические возможности, прежде всего за счет дифференциации продукции и формирования ее более высокой потребительской ценности. Молоко, обработанное методами ВГД и ИЭП, нередко воспринимается как более свежее и обладающее более высокой пищевой ценностью, что позволяет производителям реализовывать такую продукцию по премиальной цене – в среднем на 10–20 % выше по сравнению с молоком, подвергнутым традиционной пастеризации [48]. Вместе с тем существенные капитальные затраты на приобретение и внедрение соответствующего оборудования выступают значимым ограничивающим фактором, особенно для малых и средних предприятий, и потенциально могут усиливать структурное экономическое неравенство в отрасли. В связи с этим масштабирование нетермических технологий, вероятно, потребует разработки и внедрения адаптивных финансовых механизмов, включая модели совместного распределения издержек, льготное финансирование и целевые меры

Таблица 3. План валидации для нетепловых и многоступенчатых процессов

Table 3. Validation plan for non-thermal and multi-stage processes

Фаза	Этап	Описание	Соответствие нормативным требованиям	Источник
Определение	Опасные факторы / КТП	Идентификация ключевых патогенов и критических технологических параметров	Отражение реальных угроз биологической безопасности	[85]
Испытание	Инокуляционное исследование	Тестирование с высокой концентрацией микроорганизмов при минимальных КТП	Валидация сценария «наихудшего случая»	[86]
Верификация	Микробиологический и качественный анализ	Снижение популяции $\geq 5 \log_{10}$ КОЕ/мл + сохранение качества в течение срока годности	Подтверждение безопасности и стабильности продукта	Рекомендации FDA/EFSA
Документирование	Досье / масштабирование	Сбор данных для перехода от пилотного проекта к промышленному производству	Доказательная база, готовая к представлению в надзорные органы	[82]

Примечание: КТП – критические технологические параметры (в контексте систем HACCP).

Note: КТП – stands for Critical Technological Parameters in HACCP systems.

государственной поддержки [78]. Не менее важным условием рыночного успеха является формирование информированного потребительского спроса: согласно имеющимся данным, 65–75 % потребителей демонстрируют более высокую готовность приобретать молоко, обработанное нетермическими способами, при условии четкой и научно обоснованной коммуникации его преимуществ с точки зрения безопасности и пищевой ценности [87]. Дополнительное усиление социально-экономических эффектов обеспечивается за счет цифровой интеграции производственно-сбытовых процессов. В частности, применение технологии блокчейн способствует повышению прозрачности цепей поставок, снижению рисков фальсификации и укреплению доверия со стороны потребителей. Переход к инновационным технологическим решениям стимулирует развитие новых сегментов рынка труда, ориентированных на обслуживание систем искусственного интеллекта, цифровой мониторинг и аналитическую обработку данных [88]. С экологической точки зрения нетермические методы во многом соответствуют принципам циркулярной экономики и ресурсосберегающего производства. Установлено, что обработка ВГД может снижать энергопотребление до 50 % по сравнению с ультравысокотемпературной обработкой (УНТ), в то время как ХП и УФ-С-облучение позволяют минимизировать либо полностью исключить применение химических консервантов [78]. Одним из наиболее значимых экологических эффектов является увеличение срока хранения молочной продукции. Сочетание обработки ВГД и МФ сохраняет молоко в течение 30–40 суток, что способствует сокращению объемов пищевых отходов. По данным результатов пилотных исследований, использование подобных технологических комбинаций может снижать потери молочной продукции до 20 % [47]. Существенным фактором также выступает водосберегающий потенциал современных фильтрационных решений: применение самоочищающихся наномембран уменьшает расход воды в процессах безразборной мойки оборудования (CIP) на 15–25 %. Несмотря на явные преимущества, экологическая результативность нетермических технологий не является безусловной и должна оцениваться комплексно на основе анализа жизненного цикла (LCA) с учетом энергозатрат, расхода воды, материалов и образования отходов на всех стадиях производства. Особого внимания заслуживают потенциальные экологические риски, связанные с производством, эксплуатацией и утилизацией наноматериалов, применяемых в усовершенствованных фильтрационных системах. Количественная оценка данных рисков представляется необходимым условием для подтверждения того, что суммарный экологический эффект внедрения указанных технологий действительно остается положительным в долгосрочной перспективе [87].

Нормативно-правовые аспекты и отраслевые стандарты. Нормативно-правовое регулирование

производства и обращения сырого молока существенно варьирует между ключевыми мировыми рынками, что отражает различия в приоритетах защиты потребителей и отраслевых практиках [89]. В связи с этим возрастает потребность в международной стандартизации протоколов безопасности, особенно применительно к новым нетермическим технологиям обработки. В ЕС производство и реализация сырого молока осуществляются в соответствии с Регламентом (ЕС) № 853/2004, устанавливающим комплексные гигиенические требования и критерии безопасности [89]. Напротив, в США нормативное обеспечение оборота сырого молока реализуется преимущественно на уровне штатов, что обуславливает значительную неоднородность нормативных требований. Производство, хранение, перевозку и реализацию сырого молока в ЕАЭС регулирует Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции», который устанавливает обязательные требования к сырому молоку, процессам его получения, транспортировки и маркировке. По мере расширения применения нетермических технологий ожидается адаптация действующих регуляторных рамок с включением специализированных процедур оценки безопасности и эффективности. Так, в настоящее время, FDA рассматривает обработку ВГД как безопасный метод инактивации патогенов. Необходимо отметить, что для заявления об эквивалентности ВГД пастеризации необходима экспериментальная валидация, подтверждающая снижение целевых патогенов не менее чем на $5 \log_{10}$ КОЕ/мл. EFSA допускает использование УФ-С-облучения для обработки молока после пастеризации при соблюдении установленных условий. Для других нетермических методов обработки, включая холодную плазму и МФ с применением нанотехнологий, регуляторный статус остается менее определенным. В зависимости от конструкции процесса и используемых материалов такие технологии могут квалифицироваться либо как новые методы пищевой обработки, либо как технологии / материалы, контактирующие с пищевой продукцией, что предполагает проведение комплексной оценки безопасности. При этом унифицированные протоколы для подобных оценок во многих случаях отсутствуют.

Несоответствие нормативных требований в разных странах формирует существенные барьеры для международной торговли и потенциально повышает риски для потребителей. В связи с этим разработка и внедрение стандартов для нетермических технологий представляются критически важными для снижения неопределенности и унификации мер по обеспечению безопасности пищевых продуктов. Наряду с нормативными требованиями необходимо создание согласованных, технологически нейтральных протоколов валидации для нетермических и многостадийных процессов. Такие протоколы должны позволять производителям обоснованно демонстрировать достижение

целевого уровня инактивации микроорганизмов, сопоставимого с пастеризацией. Основными решениями должны стать гармонизация критериев микробиологической безопасности с учетом рекомендаций FDA, EFSA и ВОЗ, а также разработка процедур валидации для многоступенчатых технологических процессов.

Выводы

Современная мировая молочная промышленность сталкивается с необходимостью обеспечения баланса между потребительским спросом на минимально обработанное сырое молоко, обладающее высокой питательной ценностью, и соблюдением строгих стандартов безопасности. Нетермические технологии, включая УФ-излучения (диапазона С), холодную плазму, обработку высоким давлением, воздействие импульсным электрическим полем и микрофильтрацию, наряду с внедрением нанотехнологий, искусственного интеллекта (ИИ) и блокчейна, открывают принципиально новые возможности для отрасли. Данные методы позволяют существенно снизить концентрацию патогенных микроорганизмов, максимально сохраняя биологически активные компоненты и органолептические свойства продукта. В настоящем обзоре представлен всесторонний критический анализ механизмов действия, эффективности, масштабируемости и рыночного потенциала указанных технологий в сравнении с традиционной термической пастеризацией. Проведен конвергентный анализ, объединяющий возможности оптимизации процессов на базе ИИ и систем прослеживаемости на основе блокчейна в контексте нетермической обработки сырого молока.

Для полноценной реализации потенциала этих технологий будущие исследования должны быть направлены на устранение ряда критических пробелов. Необходима смена парадигмы в пользу интегрированной многоцелевой оптимизации. В рамках этого подхода следует одновременно моделировать сложные компромиссные зависимости между инактивацией патогенов, сохранением биоактивной функциональности и сенсорной целостности продукта в единых условиях обработки. Обязательны комплексные исследования долгосрочной стабильности нутриентов при использовании нетермических методов. Оптимизация

многоступенчатых систем должна быть ориентирована на снижение микробной обсемененности более чем на 6 порядков при обеспечении экономической эффективности производства. Решение проблем масштабируемости требует инновационных инженерных подходов (разработка модульных реакторов), позволяющих снизить капитальные затраты и упростить внедрение технологий на малых предприятиях. Преодоление социально-экономических барьеров невозможно без развития государственно-частного партнерства и проведения широких образовательных кампаний. С точки зрения экологии решающее значение имеет оценка жизненного цикла (LCA) нетермических технологий для количественного подтверждения их преимуществ в области устойчивого развития.

Параллельно должна совершенствоваться нормативно-правовая база для установления стандартизованных протоколов валидации нетермических методов обработки. Разработка инновационных продуктов (например обогащенного пробиотиками сырого молока, прошедшего многоступенчатую обработку) позволит отрасли соответствовать современным трендам здорового питания. Комплексное решение технических, нормативных, социально-экономических и экологических задач позволит нетермическим инновациям обеспечить устойчивое развитие молочной промышленности, гарантируя поставки безопасного, натурального и высококачественного продукта, отвечающего глобальным запросам потребителей.

Критерии авторства

Авторы в равной степени участвовали в подготовке и написании статьи.

Contribution

All the authors bear equal responsibility for the content of the article.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors state that there is no conflict of interest.

Список литературы / References

1. Masotti F, Cattaneo S, Stuknytė M, Noni de I. Current insights into non-thermal preservation technologies alternative to conventional high-temperature short-time pasteurization of drinking milk. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2023;63(22):5643–5660. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.2022596>
2. Бурак Л. Ч., Ермошина Т. В., Саманкова Н. В. Устойчивое производство. Концепция качества 4.0. Фундаментальные исследования. 2025. № 9. С. 81–90. [Burak LCh, Ermoshina TV, Samankova NV. Sustainable production. Quality 4.0 concept. *Fundamental Research*. 2025;(9):81–90. (In Russ.)] <https://doi.org/10.17513/fr.43905>
3. Berge AC, Baars T. Raw milk producers with high levels of hygiene and safety. *Epidemiology & Infection*. 2020;148:e14. <https://doi.org/10.1017/S0950268820000060>

4. Sebastianski M, Bridger NA, Featherstone RM, Robinson JL. Disease outbreaks linked to pasteurized and unpasteurized dairy products in Canada and the United States: A systematic review. *Canadian Journal of Public Health*. 2022;113(4):569–578. <https://doi.org/10.17269/s41997-022-00614-y>
5. Koski L, Kisselburgh H, Landsman L, Hulkower R, Howard-Williams M, et al. Foodborne illness outbreaks linked to unpasteurized milk and relationship to changes in state laws – United States, 1998–2018. *Epidemiology & Infection*. 2022;150:e183. <https://doi.org/10.1017/S0950268822001649>
6. Bilung ML, Radzi ES, Tahar AS, Zulkharnain A, Ngui R, et al. BOX-PCR and ERIC-PCR evaluation for genotyping Shiga toxin-producing *Escherichia coli* and *Salmonella enterica* serovar Typhimurium in raw milk. *Foods and Raw Materials*. 2025;13(2):264–275. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2025-2-639>
7. Shrestha S, Basnet HB, Luitel H, Bastola S, Bhattarai RK. Identification, antimicrobial resistance and molecular detection of shiga toxin-producing *E. coli* (STEC) isolated from raw milk of cattle in Chitwan, Nepal. *bioRxiv*. 2024. <https://doi.org/10.1101/2024.01.30.578021>
8. Azizi-Lalabadi M, Moghaddam NR, Jafari SM. Pasteurization in the Food Industry. In: Jafari SM, editor. *Thermal processing of food products by steam and hot water*. Netherlands: Elsevier; 2023. pp. 247–273. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818616-9.00009-2>
9. Бурак Л. Ч. Ограничения и возможности современных технологий в обеспечении микробиологической безопасности пищевых продуктов. Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2024. № 2–3. С. 6–13. [Burak LCh. Limitations and opportunities of modern technologies in ensuring microbiological safety of food products. *Proceedings of Higher Educational Institutions. Food Technology*. 2024;(2–3):6–13. (In Russ.)] <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2024.2-3.1>
10. Новокшанова А. Л., Кузин А. А., Медведева Н. А. Производство и качество молока коровьего сырого в Вологодской области. Молочнохозяйственный вестник. 2021. № 4. С. 158–168. [Novokshanova AL, Kuzin AA, Medvedeva NA. Production and quality of raw cow milk in the Vologda region. *Dairy Farming Bulletin*. 2021;(4):158–168. (In Russ.)] https://doi.org/10.52231/2225-4269_2021_4_158
11. Makararpong D, Tantayanon S, Gowanit C, Jareonsawat J, Samnamnim S, et al. Enhancing raw bovine milk quality using ultraviolet-c (UV-C) irradiation: A microbial and lipid peroxidation study. *Food Science of Animal Resources*. 2024;44(2):372–389. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2024.e16>
12. Бурак Л. Ч., Сапач А. Н., Саманкова Н. В. Современные методы дезактивации афлатоксинов в пищевых продуктах. Научное обозрение. Биологические науки. 2024. № 4. С. 31–40. [Burak LCh, Sapach AN, Samankova NV. Modern methods of aflatoxin deactivation in food products. *Scientific Review. Biological Sciences*. 2024;(4):31–40. (In Russ.)] <https://doi.org/10.17513/srbs.1383>
13. Yawut N, Mekwilai T, Vichiansan N, Braspaiboon S, Leksakul K, et al. Cold plasma technology: Transforming food processing for safety and sustainability. *Journal of Agriculture and Food Research*. 2024;18:101383. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101383>
14. Бурак Л. Ч., Ермошина Т. В., Саманкова Н. В. Достижение устойчивого развития за счет использования новых технологий переработки пищевых продуктов. Фундаментальные исследования. 2024. № 10. С. 171–179. [Burak LCh, Ermoshina TV, Samankova NV. Achieving sustainable development through the use of new food processing technologies. *Fundamental Research*. 2024;(10):171–179. (In Russ.)] <https://doi.org/10.17513/fr.43705>
15. Michel M, Eldridge AL, Hartmann C, Klassen P, Ingram J, et al. Benefits and challenges of food processing in the context of food systems, value chains and sustainable development goals. *Trends in Food Science & Technology*. 2024;153:104703. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104703>
16. Ozyaybi N. High-pressure processing of milk and dairy products: Latest update. *Processes*. 2024;12(10):2073. <https://doi.org/10.3390/pr12102073>
17. Gbashi S, Njobeh PB. Enhancing food integrity through artificial intelligence and machine learning: A comprehensive review. *Applied Sciences*. 2024;14(8):3421. <https://doi.org/10.3390/app14083421>
18. Kelly AL, Waldron DS, Datta N, O'Shea N. Heat exchangers, pasteurizers and UHT equipment – design and operation. In: Fuquay JW, Fox PF, Roginski H, editors. *Encyclopedia of dairy sciences*. Netherlands: Elsevier; 2022. pp. 321–335. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818766-1.00257-9>
19. Рязанцева К. А., Шерстнева Н. Е. Традиционные и инновационные способы применения ультрафиолетового излучения в молочной промышленности. Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 2. С. 390–406. [Ryazantseva KA, Sherstneva NE. Traditional and innovative methods of using ultraviolet radiation in the dairy industry. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2022;52(2):390–406. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2372>
20. Ryser ET. Pasteurization of liquid milk products: Principles, public health aspects. In: McSweeney PLH, McNamara JP, editors. *Encyclopedia of dairy sciences*. Netherlands: Elsevier; 2022. pp. 439–443. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818766-1.00034-9>
21. Бурак Л. Ч. Перспективы использования технологии сверхкритического диоксида углерода в пищевой промышленности. Обзор предметного поля. Ползуновский вестник. 2025. № 1. С. 32–50. [Burak LCh. Prospects for using supercritical carbon dioxidetechnology in food industry. Subject field overview. *Polzunovsky Bulletin*. 2025;(1):32–35. (In Russ.)] <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2025.01.004>

22. Orlien V, Aalaei K, Poojary MM, Nielsen DS, Ahrné L, *et al.* Effect of processing on *in vitro* digestibility (IVPD) of food proteins. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2023;63(16):2790–2839. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1980763>
23. Salhi A, Carriere F, Grundy MML, Aloulou A. Enzymes involved in lipid digestion. In: Grundy MML, Wilde PJ, editors. *Bioaccessibility and digestibility of lipids from food*. Cham: Springer International Publishing; 2021. pp. 3–28. https://doi.org/10.1007/978-3-030-56909-9_1
24. Singh P, Pandey VK, Singh R, Negi P, Maurya SN, *et al.* Substantial enhancement of overall efficiency and effectiveness of the pasteurization and packaging process using artificial intelligence in the food industry. *Food and Bioprocess Technology*. 2025;18:1125–1140. <https://doi.org/10.1007/s11947-024-03527-5>
25. Filidou E, Kandilogiannakis L, Shrewsbury A, Kolios G, Kotzampassi K, *et al.* Probiotics: Shaping the gut immunological responses. *World Journal of Gastroenterology*. 2024;30(15):2096–2108. <http://dx.doi.org/10.3748/wjg.v30.i15.2096>
26. Донская Г. А., Креккер Л. Г., Дрожжин В. М., Колосова Е. В. Перекисное окисление липидов и термообработка молока для приготовления кисломолочного продукта смешанного брожения. *Вестник КрасГАУ*. 2022. № 5. С. 226–233. [Donskaya GA, Krekker LG, Drozhzhin VM, Kolosova EV. Lipid peroxidation and heat treatment of milk for the preparation of a fermented milk product of mixed fermentation. *Bulletin of KrasSAU*. 2022;(5):226–233. (In Russ.)] <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2022-5-226-233>
27. Mediawathe A, Huppertz T, Chandrapala J, Vasiljevic T. Effect of protein content on heat stability of reconstituted milk protein concentrate under controlled shearing. *Foods*. 2024;13:263. <https://doi.org/10.3390/foods13020263>
28. Rathod NB, Kahar SP, Ranveer RC, Annapure US. Cold plasma an emerging nonthermal technology for milk and milk products: A review. *International Journal of Dairy Technology*. 2021;74(4):615–626. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12771>
29. Mota J, Moura-Alves M, Teixeira AF, Nóbrega R, Lameirão D, *et al.* From cheese whey to functional ingredients: Upcycling whey proteins for cardiovascular and immunomodulatory health – evidence mapping and perspectives from Portugal. *Foods*. 2026;15:908. <https://doi.org/10.3390/foods15050908>
30. Bhujel M, Rai V, Maskey B. Recent developments in non-thermal processing techniques to improve the quality and safety of milk and milk products. *Himalayan Journal of Science and Technology*. 2024;8(1):20–31. <https://doi.org/10.3126/hijost.v8i1.83139>
31. Kim D-K, Kim S-J, Kang D-H. Bactericidal effect of 266 to 279 nm wavelength UVC-LEDs for inactivation of gram positive and Gram negative foodborne pathogenic bacteria and yeasts. *Food Research International*. 2017;97:280–287. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.04.009>
32. Delorme MM, Guimarães JT, Coutinho NM, Balthazar CF, Rocha RS, *et al.* Ultraviolet radiation: An interesting technology to preserve quality and safety of milk and dairy foods. *Trends in Food Science & Technology*. 2020;146–154. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.06.001>
33. Guamán-Lozada DF, Chuquin Vasco D, Parada Rivera M, Pilco Bonilla G. Effect of milk film thickness on the efficiency of UVC radiated sterilization of raw cow's milk. *International Journal of Food Properties*. 2023;26(1):1497–1505. <https://doi.org/10.1080/10942912.2023.2220553>
34. Makararpong D, Tantayanon S, Gowanit CH, Jareonsawat J, Samnamnim S, *et al.* Enhancing raw bovine milk quality using ultraviolet-c (UV-C) irradiation: A microbial and lipid peroxidation study. *Food Science of Animal Resources*. 2024;44(2):372–389. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2024.e16>
35. Crook JA, Rossitto PV, Parko J, Koutchma T, Cullor JS. Efficacy of ultraviolet (UV-C) light in a thin-film turbulent flow for the reduction of milkborne pathogens. *Foodborne Pathogens and Disease*. 2015;12(6):506–513. <https://doi.org/10.1089/fpd.2014.1843>
36. Atik A. Non-thermal UV-C processing as an alternative to pasteurisation in fermented dairy beverages: Ayran and kefir. *Fermentation*. 2025;11:557. <https://doi.org/10.3390/fermentation11100557>
37. Coutinho NM, Silveira MR, Pimentel TC, Freitas MQ, Moraes J, *et al.* Chocolate milk drink processed by cold plasma technology: Physical characteristics, thermal behavior and microstructure. *LWT – Food Science and Technology*. 2019;102:324–329. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.12.055>
38. Бурак Л. Ч., Сапач А. Н., Завалей А. П. Влияние обработки холодной плазмой на качество и пищевую ценность растительного сырья. Обзор предметного поля. *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*. 2024. Т. 14. № 2. С. 173–183. [Burak LCh, Sapach AN, Zavaley AP. Effect of cold plasma treatment on the quality and nutritional value of plant raw materials. A review of the subject field. *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2024;14(2):173–183. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21285/achb.914>
39. Nikmaram N, Keener KM. The effects of cold plasma technology on physical, nutritional, and sensory properties of milk and milk products. *LWT – Food Science and Technology*. 2022;154:112729. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112729>
40. Abbas HM, Altamim EA, Salama M, Fouad MT, Zahran HA. Cold plasma technology: A sustainable approach to milk preservation by reducing pathogens and enhancing oxidative stability. *Sustainability*. 2024;16:8754. <https://doi.org/10.3390/su16208754>

41. Agriopoulou S, Severoğlu M, Varzakas T, Özer HB. Recent advances in high pressure processing of milk and milk products – a review. *Journal of Agricultural Sciences*. 2023;29(1):1–12. <https://doi.org/10.15832/ankutbd.1150112>
42. Lim SH, Chin NL, Sulaiman A, Tay CH, Wong TH. Microbiological, physicochemical and nutritional properties of fresh cow milk treated with industrial high-pressure processing (HPP) during storage. *Foods*. 2023;12(3):592. <https://doi.org/10.3390/foods12030592>
43. Kateh S, Purnomo EH, Hasanah U. Meta-analysis: Microbial inactivation in milk using high-pressure processing (HPP). *International Journal of Food Science & Technology*. 2024;59(6):4185–4193. <https://doi.org/10.1111/ijfs.16758>
44. Saputra A, Gavahian M, Purnomo EH, Rahayu WP, Utama Z, et al. High-pressure processing as an emerging technology for enhancing dairy product safety and quality: A critical review of latest advances, sustainability impact, limitations, and prospects. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2025;65(33):8341–8365. <https://doi.org/10.1080/10408398.2025.2499623>
45. Andrés MT, González-Seisdedos J, Antuña V, Fierro JF. Non-thermal milk decontamination by ionic modulation: A deionization-based alternative to pasteurization. *Foods*. 2026;15:387. <https://doi.org/10.3390/foods15020387>
46. Razali MF, Narayanan S, Md Hazmi NA, Rahim MA, Razi NA, et al. Minimal processing for goat milk preservation: Effect of high-pressure processing on its quality. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2021;45(7):e15590. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15590>
47. Tan SF, Chin NL, Tee TP, Chooi SK. Physico-chemical changes, microbiological properties, and storage shelf life of cow and goat milk from industrial high-pressure processing. *Processes*. 2020;8(6):697. <https://doi.org/10.3390/pr8060697>
48. Cacace F, Bottani E, Rizzi A, Vignali G. Evaluation of the economic and environmental sustainability of high-pressure processing of foods. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2020;60:102281. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102281>
49. Ahmad T, Butt MZ, Aadil RM, Mehmood T, Nadeem M, et al. Impact of nonthermal processing on different milk enzymes. *International Journal of Dairy Technology*. 2019;72(4):481–495. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12622>
50. Rodrigues RM, Avelar Z, Machado L, Pereira RN, Vicente AA. Electric field effects on proteins – novel perspectives on food and potential health implications. *Food Research International*. 2020;137:109709. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109709>
51. Adhipaththu WAMBW, Christopher MS, Marasingha MMT, Thunmuduna TASV, Udayanga MS. The impact of pulsed electric field technology on enzymes, microbial and nutritional quality in milk processing – a comprehensive review. *Journal of Science of the University of Kelaniya*. 2024;17(1):39–50. <https://doi.org/10.4038/josuk.v17i1.8104>
52. Patel A, Koshta V, Prajapati P, Shah N. Approaches for shelf life extension of milk and milk products: At a glance. *Croatian Journal of Food Science and Technology*. 2024;16(1):98–132. <https://doi.org/10.17508/CJFST.2024.16.1.08>
53. Alirezalu K, Munekata PE, Parniakov O, Barba FJ, Lorenzo JM, et al. Pulsed electric field and mild heating for milk processing: A review on recent advances. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2020;100(1):16–24. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9942>
54. Mohamad A, Shah NNAK, Sulaiman A, Mohd Adzahan N, Aadil RM. Impact of the pulsed electric field on physico-chemical properties, fatty acid profiling, and metal migration of goat milk. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2020;44(12):e14940. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14940>
55. Siddique F, Imtiaz S, Noreen S, Hussain A, Ishaq H, et al. Emerging trends and future perspectives in pulsed electric technology for dairy processing: A comprehensive review. *Discover Food*. 2026;6:51. <https://doi.org/10.1007/s44187-025-00793-w>
56. Carter BG, Cheng N, Kapoor R, Meletharayil GH, Drake MA. Invited review: Microfiltration-derived casein and whey proteins from milk. *Journal of Dairy Science*. 2021;104(3):2465–2479. <http://doi.org/10.3168/jds.2020-18811>
57. Liu Y, Zhang W, Hettinga K, Zhang L, Zhou P. Improving the microbial and nutritional quality of skim milk using microfiltration combined with thermal and nonthermal techniques. *International Dairy Journal*. 2022;134:105466. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2022.105466>
58. Zhang W, Liu Y, Li Z, Chen H, Wang J, et al. Effects of microfiltration combined with ultrasonication on shelf life and bioactive protein of skim milk. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2021;77:105668. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105668>
59. Hong R, Xie A, Jiang C, Li B, Wang Y, et al. A review of the biological activities of lactoferrin: Mechanisms and potential applications. *Food & Function*. 2024;15:8182–8199. <https://doi.org/10.1039/D4FO02083A>
60. Li Y, Jia H, Zheng Y, Wang X, Chen L, et al. The nutritional composition and multi-omics analysis of raw milk from normande and holstein cows. *Food Frontiers*. 2025;6(6):3042–3058. <https://doi.org/10.1002/ff2.70115>
61. Nath K, Dave HK, Patel TM. Revisiting the recent applications of nanofiltration in food processing industries: Progress and prognosis. *Trends in Food Science & Technology*. 2018;73:12–24. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.01.001>
62. Sayel MF, Khalid NT, Rashid KT. A comparative study for soft cheese production by using traditional method and milk concentrated with nanomembrane technique. *Health Biotechnology and Biopharma (HBB)*. 2025;8(4):81–110. <https://doi.org/10.22034/HBB.2025.06>

63. Kumar LH, Sarkar PA. Potential of nanotechnology in dairy processing: A review. In: Goyal MR, editor. Sustainable biological systems for agriculture: Emerging issues in nanotechnology, biofertilizers, wastewater, and farm machines. Waretown: Apple Academic Press; 2018. pp. 55–79. <https://doi.org/10.1201/9781315165264>
64. Nirmal N, Vashisht P, Sharma S, Kumar A, Singh R, *et al.* Enhancement in the active food packaging system through metal-based nanomaterials: A review of innovations, challenges, and future directions. *Discover Food*. 2024;4:108. <https://doi.org/10.1007/s44187-024-00189-2>
65. Brandelli A, Lopes NA, Pinilla CMB. Nanostructured antimicrobials for quality and safety improvement in dairy products. *Foods*. 2023;12:2549. <https://doi.org/10.3390/foods12132549>
66. Пигина С. Ю., Лаптев С. В., Хомочкина С. М. Роботизация и цифровизация процессов в молочном скотоводстве – факторы улучшения качества молока и предотвращения мастита. *Техника и технологии в животноводстве*. 2024. Т. 14. № 4. С. 43–49. [Pigina SYu, Laptev SV, Khomochkina SM. Robotization and digitalization of processes in dairy farming – factors for improving milk quality and preventing mastitis. *Machinery and Technologies in Animal Husbandry*. 2024;14(4):43–49. (In Russ.)] <https://doi.org/10.3390/microorganisms12061051>
67. Гончаров А. В. Современные тенденции автоматизации технологических процессов в пищевой промышленности. *Отходы и ресурсы*. 2025. Т. 12. № S4. [Goncharov AV. Modern trends in automation of technological processes in the food industry. *Waste and Resources*. 2025;12(S4). (In Russ.)] <https://doi.org/10.15862/09FAOR425>
68. Rao VV. Leveraging AI for real-time inventory management in perishable goods supply chains. In: Whig P, Elngar A, editors. *Modernizing the food industry: AI-powered infrastructure, security, and supply chain innovation*. Hershey: IGI Global Scientific Publishing; 2026. pp. 207–232. <https://doi.org/10.4018/979-8-3373-5288-6.ch010>
69. Serrano-Torres GJ, López-Naranjo AL, Larrea-Cuadrado PL, Mazón-Fierro G. Transformation of the dairy supply chain through artificial intelligence: A systematic review. *Sustainability*. 2025;17:982. <https://doi.org/10.3390/su17030982>
70. Бурак Л. Ч., Ермошина Т. В., Родина Е. Е., Баландина С. В. Анализ состояния и тенденции развития концепции качества 4.0 для устойчивого производства продуктов питания. *Международный журнал экспериментального образования*. 2025. № 6. С. 77–90. [Burak LCh, Ermoshina TV, Rodina EE, Balandina SV. Analysis of the state and development trends of the quality 4.0 concept for sustainable food production. *International Journal of Experimental Education*. 2025;(6):77–90. (In Russ.)] <https://doi.org/10.17513/mjeo.12231>
71. Гусаров И. В., Обряева О. Д. Качество сырого молока: опыт высокотехнологичного производства в Вологодской области. *Сыроделие и маслоделие*. 2025. № 4. С. 5–10. [Gusarov IV, Obyraeva OD. Quality of raw milk: Experience of high-tech production in the Vologda region. *Cheese- and Butter Making*. 2025;(4):5–10. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2073-4018-2025-4-36>
72. Kumari S, Venkatesh VG, Shi Y. Agriculture supply chain risks in emerging economies: Antecedents of risk prioritization model. *Business Strategy and the Environment*. 2026;1–21. <https://doi.org/10.1002/bse.70697>
73. Kirubakaran D, Meer MS, Jayakodi S, Kumar R, Singh P, *et al.* Smart technologies enhance detection, monitoring, and traceability in global food safety. *Discover Food*. 2026;6:41. <https://doi.org/10.1007/s44187-025-00716-9>
74. Nwariaku H, Fadojutimi B, Lawson LGL, Adebayo A, Ogunleye T, *et al.* Blockchain technology as an enabler of transparency and efficiency in sustainable supply chains. *International Journal of Science and Research Archive*. 2024;12(2):1779–1789. <https://doi.org/10.30574/ijrsra.2024.12.2.1454>
75. Stanescu S-G, Ionescu CA, Ștefan MC, Ionescu L, Bondac G-T, *et al.* Digitalization and blockchain integration in agri-food supply chains: Towards a resilient, circular, and sustainable future. *Sustainability*. 2025;17:9276. <https://doi.org/10.3390/su17209276>
76. Akhigbe BI, Munir K, Akinade O, Akanbi L, Oyedele LO. IoT technologies for livestock management: A review of present status, opportunities, and future trends. *Big Data and Cognitive Computing*. 2021;5:10. <https://doi.org/10.3390/bdcc5010010>
77. Sawale P, Patil P, Singh A, Xavier J, Kumar P, *et al.* Non-thermal techniques for microbiological safety, nutritional preservation, and enhanced efficiency in dairy processing. *Functional Food Science*. 2024;4(5):180–203. <https://doi.org/10.31989/ffs.v4i5.1326>
78. Pasik K, Arkusz K, Klekiel T, Woźniak W, Stryjski R. Evaluating the effectiveness of ultraviolet-C lamps for reducing *Escherichia coli*: Distance and exposure time. In: Gzik M, Paszenda Z, Piętko E, Tkacz E, Milewski K, Jurkoć J, editors. *Innovations in biomedical engineering 2023*. Cham: Springer; 2024. pp. 215–224. https://doi.org/10.1007/978-3-031-52382-3_24
79. Liang N, Mohamed HM, Kim BJ, Lee S, Park J, *et al.* High-pressure processing of human milk: A balance between microbial inactivation and bioactive protein preservation. *The Journal of Nutrition*. 2023;153(9):2598–2611. <https://doi.org/10.1016/j.tjnut.2023.07.001>
80. Chetia J, Panda TC, Kumari S, Seth D. Effect of non-thermal processing on nutritional and functional properties of milk and milk products – a review. *Indian Journal of Animal Health*. 2023;62(2):32–48. <https://doi.org/10.36062/ijah.2023.spl.03323>

81. Hassoun A, Garcia-Garcia G, Trollman H, Jagtap S, Parra-López C, *et al.* Birth of dairy 4.0: Opportunities and challenges in adoption of fourth industrial revolution technologies in the production of milk and its derivatives. *Current Research in Food Science*. 2023;7:100535. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2023.100535>
82. Yang P, Rao L, Zhao L, Wu X, Wang Y, *et al.* High pressure processing combined with selected hurdles: Enhancement in the inactivation of vegetative microorganisms. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2021;20(2):1800–1828. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12724>
83. Liu Y, Shuang J, Hettinga K, Zhang L, Liu X, *et al.* Quality attributes of whole milk powder processed using ultrasonication and UV-C radiation compared with equivalent thermal treatment. *International Dairy Journal*. 2024;155:105954. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2024.105954>
84. Chakraborty P, Mukherjee A, Kumar S. Laws and regulations for emerging food-processing technologies. In: Kumar S, Mukherjee A, Mitra A, Halder D, editors. *Emerging technologies in food preservation*. Boca Raton: CRC Press; 2023. pp. 377–387. <https://doi.org/10.1201/9781003147978>
85. Souroullas K, Papademas P. Challenges in developing a process analytical technology (PAT)-based verification of UV-C treatment of milk. *International Journal of Dairy Technology*. 2025;78(1):e13168. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.13168>
86. Song X, Pendenza P, Díaz Navarro M, Valderrama García E, Di Monaco R, *et al.* European consumers perceptions and attitudes towards non-thermally processed fruit and vegetable products. *Foods*. 2020;9(12):1732. <https://doi.org/10.3390/foods9121732>
87. Malik M, Gahlawat VK, Mor RS, Singh MK. Unlocking dairy traceability: Current trends, applications, and future opportunities. *Future Foods*. 2024;10:100426. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2024.100426>
88. Čapla J, Zajác P, Ševcová K, Čurlej J, Fikselová M. Milk and dairy products – summary of european legislation, hygiene manuals, ISO standards and codex alimentarius standards. *Slovak Journal of Food Sciences*. 2022;16:431–462. <https://doi.org/10.5219/legestic.1>
89. Разумовская В. В., Лунева Н. А. Контроль безопасности молока-сырья в соответствии с актуальной нормативной документацией. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2023. № 5. С. 271–275. [Razumovskaya VV, Luneva NA. Safety control of raw milk in accordance with current regulatory documentation. *Proceedings of the Orenburg State Agrarian University*. 2023;(5):271–275. (In Russ.)] <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2023-103-5-271-275>

Дополнительная информация об авторах / Additional information about the authors

Бурак Леонид Чеславович / Leonid Ch. Burak ORCID 0000-0002-6613-439X; eLIBRARY SPIN 3898-5389
Лукин Александр Анатольевич / Aleksandr A. Lukin ORCID 0000-0003-4753-3210; eLIBRARY SPIN 2692-9210
Гриценко Александр Владимирович / Alexander V. Gritsenko ORCID 0000-0002-7652-7912; eLIBRARY SPIN 3252-3803
Тимошук Ирина Вадимовна / Irina V. Timoshchuk ORCID 0000-0002-1349-2812; eLIBRARY SPIN 1172-6298
Горелкина Алена Константиновна / Alena K. Gorelkina ORCID 0000-0002-3782-2521; eLIBRARY SPIN 9970-1320