

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»

На правах рукописи



Павельева Дарья Анатольевна

**СУХОЙ СЫВОРОТОЧНЫЙ ПЕРМЕАТ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В
ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВАХ: ТЕХНОЛОГИЯ, СОСТАВ, СВОЙСТВА**

4.3.3. Пищевые системы

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук,
профессор
Мельникова Елена Ивановна

Воронеж - 2025

Оглавление

Введение	3
Глава 1. Переработка сыворотки в мире и Российской Федерации.....	9
1.1 Объемы производства молочной сыворотки, способы ее переработки	9
1.2 Пермеаты: классификация, сферы применения в пищевой промышленности	28
1.3 Пути решения проблемы избыточного потребления сахарозы.....	35
1.4 Заключение по первой главе	40
Глава 2. Методы и методики экспериментальных исследований.....	41
2.1 Схема проведения эксперимента.....	41
2.2 Методы экспериментальных исследований	44
2.3 Обработка результатов экспериментов.....	51
Глава 3. Совершенствование технологии производства сывороточного пермеата	52
3.1 Анализ состава и свойств сухого сывороточного пермеата	52
3.2 Особенности технологических режимов подготовки подсырной сыворотки к промышленной переработке	55
3.3 Обоснование технологических режимов производства сухого деминерализованного сывороточного пермеата.....	57
3.4 Анализ показателей качества и безопасности сухого деминерализованного сывороточного пермеата	76
3.5 Научное обоснование области применения сухого деминерализованного сывороточного пермеата	84
Глава 4. Прикладные аспекты использования сухого деминерализованного сывороточного пермеата	95
Заключение	105
Список использованных источников	107
Приложения	133

Введение

Актуальность темы исследования. В соответствии с Указом Президента Российской Федерации от 21 января 2020 года № 20 «Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации» уровень самообеспеченности продуктами отечественного производства должен составить не менее 90 % к 2030 году, в соответствии с данными Федеральной службы государственной статистики в 2024 году его реальное значение – 86 %. Учитывая высокую импортозависимость в сегменте сывороточных ингредиентов для различных отраслей пищевой промышленности на фоне осложнения внешнеполитической ситуации, целесообразна разработка конкурентоспособной технологии качественной продукции со стабильным составом и физико-химическими свойствами.

Актуальность работы обусловлена растущими объемами производства белковых молочных продуктов и, как следствие, - молочной сыворотки, более 200 млн т которой ежегодно вырабатывается в мире. В нашей стране производится до 14 млн т. в год, из которых 50-60 % приходится на подсырную сыворотку, которая поступает на дальнейшую переработку.

Перспективным рецептурным ингредиентом ряда ассортиментных групп пищевых продуктов является сухой сывороточный пермеат, поскольку основной его компонент лактоза характеризуется низким гликемическим индексом (ГИ 46) и коэффициентом сладости 0,4-0,6 по отношению к сахарозе. Сухой сывороточный пермеат улучшает внешний вид изделий и позволяет осуществить частичную или полную замену сахара белого, однако, высокая зольность и наличие солоноватого привкуса затрудняет его использование в пищевых продуктах.

Таким образом, научное обоснование, разработка и внедрение эффективной и конкурентоспособной технологии сухого сывороточного пермеата, с учетом практических рекомендаций для его применения в различных отраслях пищевой промышленности является актуальной и значимой.

Степень разработанности темы. Развитие пищевой промышленности в условиях дефицита сырья актуализировало вопросы полного использования исходных ресурсов, в том числе побочных, к которым можно отнести молочную сыворотку. В результате появился ряд исследований, посвященных проблематике переработки сыворотки, фракционирования компонентов и получения новых ингредиентов на ее основе, как отечественных, так и зарубежных авторов: А.Г. Храмова, Н.Н. Липатова, В.Д. Харитонов, И.А. Евдокимова, С.А. Рябцевой, О.В. Дымара, Л.А. Забодаловой, Н.А. Тихомировой, Т. Huppertz, S. Nielsen, A. Merkel, и др. Вместе с тем, проблема рационального использования лактозосодержащего сырья и разработки продуктов на его основе остается актуальной.

Исследования по теме диссертационной работы выполнялись при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение № 075-11-2022-020 от 07.04.2022 г., ИГК 000000S407522QO40002, в рамках Постановления Правительства РФ № 218.

Цель и задачи исследований. Целью работы является совершенствование традиционной технологии сухого сывороточного пермеата для расширения сферы его применения в пищевом производстве.

Для достижения поставленной цели определены следующие задачи:

– на основе анализа состава и свойств сухого сывороточного пермеата, в том числе с учетом требований ISO и стандарта «Кодекс Алиментариус», сформулировать комплекс физико-химических (в т. ч. с учетом минерального профиля) и микробиологических показателей для обеспечения его качества и безопасности;

– обосновать корректировку действующей технологии сывороточного пермеата за счет введения новых технологических операций – двухстадийной деминерализации с применением наночистоты и электродиализа;

– исследовать термодинамические характеристики, соотношение свободной и связанной влаги в сухом деминерализованном сывороточном пермеате для оценки возможности его применения при производстве десертных продуктов;

– разработать рецептурно-компонентные решения и технологические рекомендации по применению сухого деминерализованного сывороточного пермеата в производстве продуктов питания;

– провести промышленную апробацию и внедрение в производство технологии сухого сывороточного пермеата, десертных продуктов с его использованием, рассчитать экономическую эффективность предложенной технологии.

Научная новизна. Обоснован комплекс требований (физико-химические, реологические свойства, показатели качества и безопасности) для сухого сывороточного пермеата, расширяющие сферы его применения в пищевом производстве.

По результатам проведенных исследований подобраны режимы производства сухого сывороточного пермеата, включающие дополнительную технологическую операцию – двухстадийную деминерализацию за счет применения нано-фильтрации и электродиализа для получения сухого деминерализованного сывороточного пермеата с массовой долей золы в сухом веществе $0,56 \pm 0,04$ %.

Получены новые данные о технологических характеристиках, химическом составе, физико-химических свойствах, динамике изменения качественного и количественного состава микрофлоры сухого деминерализованного сывороточного пермеата на различных этапах производства продукта с высокими показателями качества и безопасности, соответствующие требованиям ISO и «Кодекс Алиментариус».

Теоретическая и практическая значимость. Разработана последовательность технологических операций для получения сухого сывороточного пермеата со степенью деминерализации не менее 90 %, позволяющая расширить сферы его применения в пищевом производстве, в частности в десертных продуктах, кондитерских изделиях.

Даны рекомендации по использованию сухого сывороточного пермеата со степенью деминерализации не менее 90 % в производстве продуктов питания и предложены рецептурно-компонентные решения фруктового мармелада и мороженого, позволяющие осуществить замену сахарозы.

Утверждены комплект документов ТУ 10.51.55-030-00426012-2019 «Продукт сывороточный сухой (пермеат)» и технологическая инструкция. Технология сухого деминерализованного сывороточного пермеата внедрена в условиях филиала ПАО Молочный комбинат «Воронежский» «Калачеевский сырзавод» (г. Калач Воронежской области). Экономическая и технологическая целесообразность предложенных решений подтверждена следующими показателями: маржинальный доход при реализации продукта внутри страны в расчете на 1 тонну составил 32 728 руб., уровень рентабельности по маржинальному доходу составляет 48 %, внутренняя норма рентабельности проекта составляет 20 %.

Основные положения диссертационного исследования внедрены в учебный процесс при реализации дисциплин: «Пищевые добавки функционального назначения» и «Технология функциональных продуктов животного происхождения» направления подготовки бакалавров 19.03.03 «Продукты питания животного происхождения»; «Технологии переработки вторичных сырьевых ресурсов молочной отрасли» направления подготовки магистров 19.04.03 «Продукты питания животного происхождения».

Методология и методы исследования. Методы исследований - стандартные и общепринятые в исследовательской практике, а также модифицированные, усовершенствованные и специальные, выполненные с применением современных приборов и информационных технологий для оценки свойств сырья, полуфабрикатов и продукции.

Положения, выносимые на защиту:

- химический состав, физико-химические, микробиологические показатели и минеральный профиль на различных этапах мембранной фильтрации подсырной сыворотки и готового сухого сывороточного пермеата;

- технологические режимы и технология получения сухого сывороточного пермеата, включающая дополнительные операции двухэтапной деминерализации (нанофильтрация, электродиализ), откорректированные температурные режимы вакуум-выпаривания, позволяющие получить готовый продукт с заданными фи-

зико-химическими, функционально-технологическими характеристиками и степенью деминерализации не менее 90 %;

- новые рецептурно-компонентные решения для пищевых производств, предусматривающие замену сахарозы сухим деминерализованным сывороточным пермеатом.

Степень достоверности и апробация результатов. Подтверждение достоверности результатов проведенных исследований базируется на доказательствах и использовании апробированных математических методов. Полученные результаты характеризуются высокой воспроизводимостью, взаимной согласованностью экспериментально полученных значений, корректной статистической обработкой результатов.

Основные положения работы, выводы и рекомендации доложены и обсуждены на конференциях, научно-практических форумах различного уровня: международных (Ставрополь, 2020, 2021; Керчь, 2022; Воронеж, 2017, 2018, 2022, 2023, 2024; Могилев, 2023; Минск, 2023), всероссийских (Воронеж, 2021) и на отчетных научных конференциях ВГУИТ 2020, 2021, 2022, 2023, 2024.

Результаты настоящей работы представлены на конкурсах и выставках: международная выставка инновационных продуктов и технологий (Воронеж, 2018), выставка «Продукты здорового питания – новый тренд пищевой промышленности» (Воронеж, 2022), конкурс научно-исследовательских работ в сфере молочной отрасли (Вологда, 2023), VIII международная выставка изобретений и инноваций имени Н.Г. Славянова (Воронеж, 2023), выставка в рамках XI Международной научно-технической конференции «Продовольственная безопасность: научное, кадровое и информационное обеспечение» (Воронеж, 2024), награждены дипломами.

По теме диссертации опубликована 21 научная работа, в том числе 3 статьи в журналах, включенных в перечень ВАК при Минобрнауки РФ для публикации результатов диссертационных исследований, 3 статьи в журналах, входящих в международные базы данных Scopus и Web of Science.

Структура и объем работы. Текст диссертации изложен на 143 страницах, содержащих введение, 4 главы экспериментального и аналитического материала, заключение, список литературы и приложения. Список литературы включает 195 наименований, в том числе 89 иностранных источников. Приложения к диссертации представлены на 11 страницах.

Глава 1. Переработка сыворотки в мире и Российской Федерации

1.1 Объемы производства молочной сыворотки, способы ее переработки

Ежегодно глобальные продовольственные системы сталкиваются с серьезными проблемами, вызванными геополитическими кризисами, изменением климата, ростом населения и динамическим совершенствованием его потребительских предпочтений. Уровень развития мировой пищевой и перерабатывающей промышленности, а также состояние сырьевой базы требуют принципиально нового подхода к вопросу полной и рациональной переработки молока - создание и внедрение безотходных технологий, позволяющих максимально и наиболее полно использовать все компоненты исходных сырьевых ресурсов¹.

По оценке экспертов аналитического центра Mordor Intelligence в 2024 г. стоимость мирового молочного рынка составляет 620,0 млрд \$., по прогнозам, при ежегодном росте (+ 4,4 %) к 2029 г. она достигнет 768,8 млрд \$², а его сегментацию будут определять следующие факторы, такие как рост населения планеты, осведомленность и забота о здоровье покупателей и высокий спрос на молочные ингредиенты с добавленной стоимостью.

Ожидается, что потребление молочных продуктов на душу населения в течение следующего десятилетия будет ежегодно увеличиваться на 1,0 %: максимальным станет в Индии и Пакистане, а наиболее низким в Китае. Сегодня в Европе и Северной Америке общий спрос на молочные продукты стабильно снижа-

¹ Galanakis, С.М. The future of Food / С.М. Galanakis // Foods. – 2024. – 13. – 4. – 506. – <https://doi.org/10.3390/foods13040506>

² Dairy Market SIZE & SHARE ANALYSIS - GROWTH TRENDS & FORECASTS UP TO 2029 [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/dairy-products-market>

ется³. По итогу 2024 года в Южной Америке отметили значительный рост потребления молочных продуктов на уровне 12 % по сравнению с 2019 годом, в основном из-за государственных инвестиций, выпуска инновационных продуктов производителями и растущей информированности о здоровом питании^{4,5}. В Азиатско-Тихоокеанском регионе молочный рынок стабильно расширяется из-за высокого спроса, возрастающего потребления и присутствия на рынке стран с ведущими мировыми производителями молочных продуктов⁶.

По прогнозам⁷, объем потребления молока в мире к декабрю 2025 года составит около 679,877 млн. тонн (рисунок 1.1).

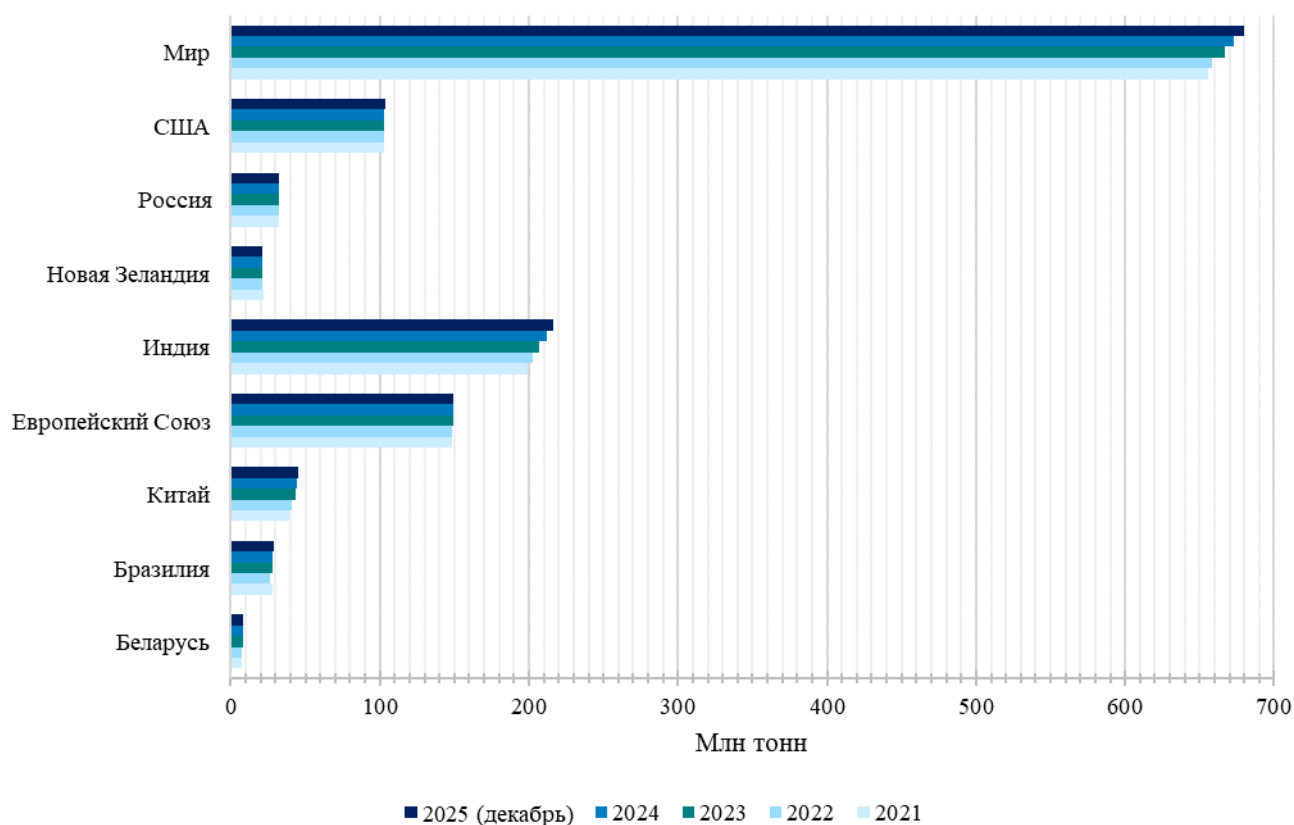


Рисунок 1.1 – Мировой объем потребления молока, 2021-2025 гг., млн т

³ OECD-FAO AGRICULTURAL OUTLOOK 2023-2032 © OECD/FAO 2023 [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/oecd-fao-agricultural-outlook-2023-2032_08801ab7-en

⁴ Рыбалова, Т.И. Тренды и инсайты нового десятилетия / Т.И. Рыбалова // Молочная промышленность, 2020. - № 2. - С. 4-7.

⁵ Zabodalova L.A. Manufacturing of curd products of increased biological value for the elderly from dried components / L. A. Zabodalova, M.S. Belozerova, T.N. Evstigneeva // Acta Scientiarum Polonorum, Technologia Alimentaria, 2018. – Т. 17, № 2. – С. 177 – 184.

⁶ Dairy Market size & share analysis - growth trends & forecasts up to 2029 [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/dairy-products-market>

⁷ United States Department of Agriculture Foreign Agricultural Service [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/downloads>

Основной задачей, связанной с производством и потреблением продовольственных товаров, является выпуск продуктов с достаточным содержанием макронутриентов для организации устойчивого питания населения без ущерба для глобального здравоохранения. Современные тенденции демонстрируют увеличение производства молокоемких белковых продуктов, технология которых связана с получением больших объемов побочного сырья – молочной сыворотки, более 200 млн т которой ежегодно вырабатывается в секторе^{8,9,10,11}. По опубликованным данным Федерального центра развития экспорта продукции АПК Минсельхоза России¹² сегодня крупнейшие компании-производители этого вторичного ресурса: Arla Foods, Дания; Cabot Creamery Co-Op, США; Dana Dairy Group Ltd., Швейцария; Fonterra CoOperative Group, Новая Зеландия; Glanbia, Plc, Ирландия; Groupe Lactalis, Франция; Royal Frieslandcampina N.V., Нидерланды.

В России ежегодный объем производства молочной сыворотки оценивается до 14 млн т^{13,14,15}. В отрасли сыворотку принято делить на следующие основные виды: казеиновая, подсырная и творожная¹⁶.

Казеиновая сыворотка – побочный продукт от производства казеина, выпуск которого отечественными предприятиями в 2024 году составил 344 т, что на 40 % выше по сравнению с результатами 2023 года¹⁷ (рисунок 1.2).

⁸ Мельникова, Е. И. Мировой и российский рынок сывороточных ингредиентов / Е. И. Мельникова, Е. В. Богданова, Д. А. Павельева // Молочная промышленность. – 2020. – № 8. – С. 56-58.

⁹ Короткий, И.А. Современные тенденции в переработке молочной сыворотки / И.А. Короткий, И.Б. Плотников, И.А. Мазеева // Техника и технология пищевых производств. – 2019. – Т. 49. – No 2. – С. 227–234. doi: 10.21603/2074-9414-2019-2-227-234.

¹⁰ Пономарев, А.Н. Молочная сыворотка как сырьевой ресурс для производства пищевых ингредиентов [Текст] / А. Н. Пономарев, Е.И. Мельникова, Е.В. Богданова// Молочная промышленность, 2018. – № 7. – С. 38 – 39

¹¹ Храмов, А.Г. Эволюция переработки молочной сыворотки: прошлое, настоящее, будущее (часть 1) / А. Г. Храмов, А. А. Борисенко, И. А. Евдокимов [и др.] // Современная наука и инновации. – 2021. – № 2(34). – С. 129-139. – DOI 10.37493/2307-910X.2021.2.12.

¹² Обзор ВЭД: Молочная сыворотка [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://aemcx.ru/reviews/обзор-вэд-молочная-сыворотка/>

¹³ Обзор: как развивается рынок сывороточных напитков в России [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://milknews.ru/longridy/obzor-rynka-syvorotochnih-napitkov.html>

¹⁴ Переработка молочной сыворотки: повышение маржинальности и снижение экологического ущерба MilkLife.ru по материалам маркетингового агентства V-Brand [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://milklife.ru/publication/10821.html>

¹⁵ Кручинин, А. Г. Современное состояние рынка вторичных сырьевых ресурсов молочной промышленности / А. Г. Кручинин, А. В. Бигаева, С. Н. Туровская, Е. Е. Илларионова // Ползуновский вестник. – 2022. – № 4-1. – С. 140-148. – DOI 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.04.018.

¹⁶ Паладий, И.В. Молочная сыворотка: обзор работ. Часть 1. Классификация, состав, свойства, производные, применение / И.В. Паладий, Е.Г. Врабие, К.Г. Спринчан, М.К. Болога // ЭОМ. 2021. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/molochnaya-syvorotka-obzor-rabot-chast-1-klassifikatsiya-sostav-svoystva-proizvodnye-primenenie>.

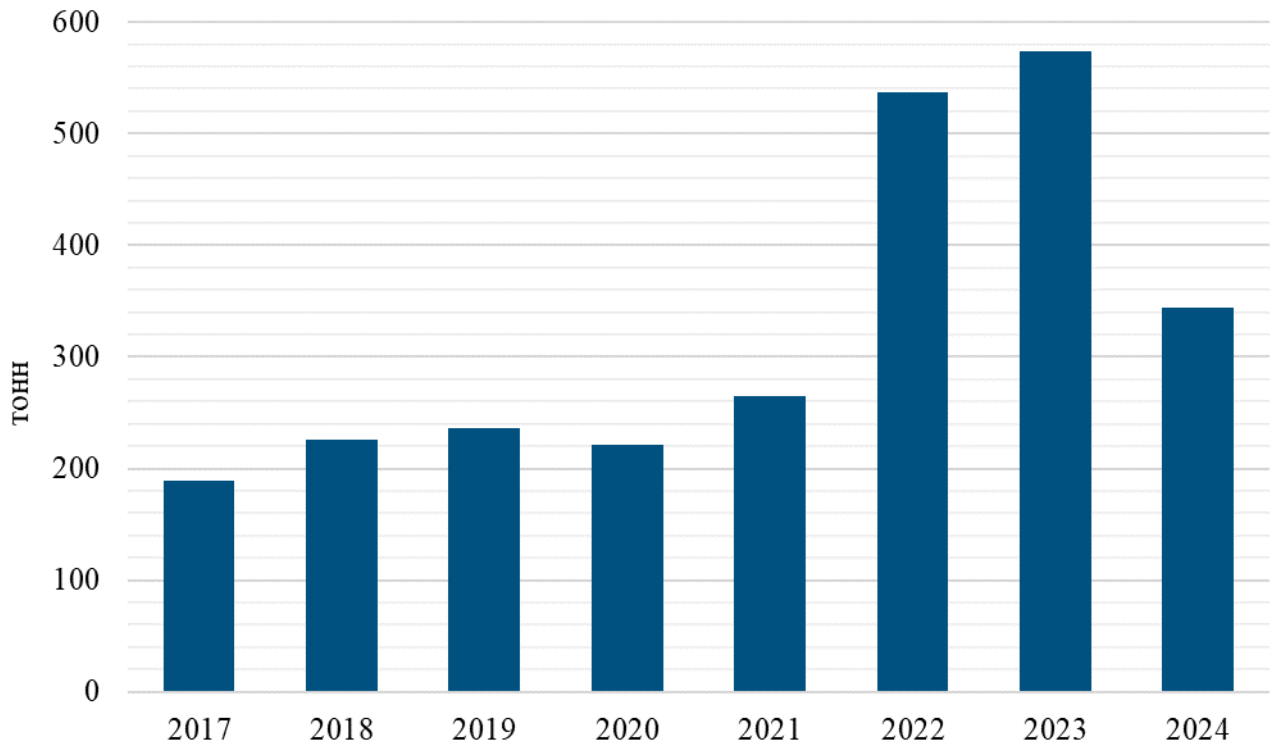


Рисунок 1.2 – Объем производства казеина в РФ, 2017-2024 гг., тонн

По итогу 2023 года теоретический выход казеиновой сыворотки в натуральном виде составил около 4,1 тыс. т.

Объем производства творога и творожных продуктов (рисунок 1.3) в январе-октябре 2024 году составил 668,3 тыс. т¹⁸.

¹⁷ Рынок казеина в России 2017-2024 гг. Цифры, тенденции, прогноз [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://tk-solutions.ru/russia-rynok-kazeina>.

¹⁸ Производство творога выросло на 4,5 % [Электронный ресурс] // Milknews - Новости молочного рынка. – 2024. – Режим доступа: <https://milknews.ru/analitika-rinka-moloka/rinok-moloka-v-Rossii/proizvodstvo-tvoroga-oktyabr-2024.html>.



Рисунок 1.3 – Объем производства творога и творожных продуктов в РФ, 2017-2024 гг., тыс. тонн

При производстве творога и сыра из 1 т сырья выход сыворотки составляет примерно 905 кг¹⁹. Исходя из этого можно оценить объем натуральной творожной сыворотки, полученной в 2023 году, на уровне 6,70 млн т.

За 2024 год отечественными предприятиями было выпущено 861 тыс. т сыра и сырных продуктов (рисунок 1.4), прирост в категории составил + 7 %²⁰.

¹⁹ Храмцов, А.Г. Технологический прорыв молочной отрасли АПК России на примере универсального сельхозсырья. Монография / А.Г. Храмцов – СПб: Профессия, 2023. – 218 с, ил., табл.

²⁰ За 2020-2024 гг. производство сыра в России увеличилось на 51%: с 572 до 861 тыс т., - Новости рынков, BusinesStat [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://businesstat.ru/news/cheese/>.

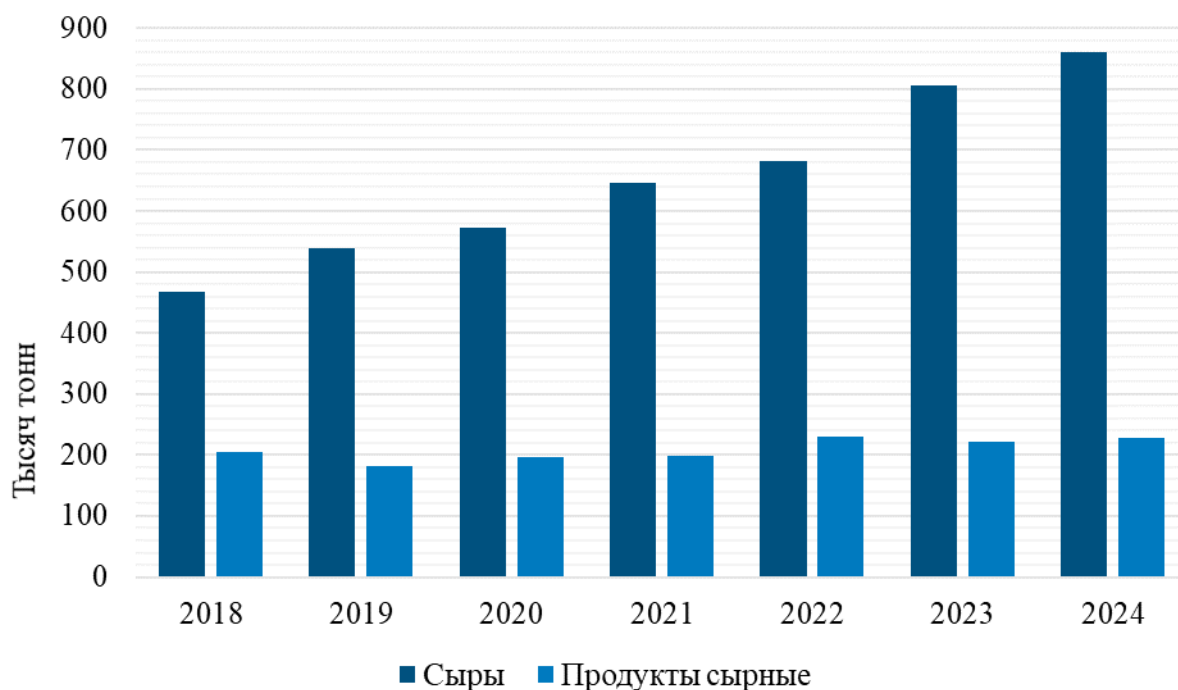


Рисунок 1.4 – Объем производства сыров и продуктов сырных в РФ, 2018-2024 гг., тыс. тонн

Объем производства подсырной сыворотки в натуральном виде за 2024 г можно оценить в 7,5 млн т.

По оценке Международной молочной федерации, 50 % мирового объема натуральной сыворотки сливается в канализацию вместе с другими жидкими стоками²¹. В РФ до недавнего времени²² этот показатель достигал 80 %²³, однако, ужесточение правовых норм и стандартов для утилизации сточных вод, а также величина издержек на очистку повлекли за собой изменение подхода к управлению этим вторичным сырьевым ресурсом²⁴. Основные проблемы переработки мо-

²¹ Ahmad, T. Treatment and utilization of dairy industrial waste: A review / T. Ahmad, R. M. Aadil, H. Ahmed, U. Rahman, B. C. V. Soares, S. L. Q. Souza, T. C. Pimentel, H. Scudino, J. T. Guimarães, E. A. Esmerino, M. Q. Freitas, R. B. Almada, S. M. R. Vendramel, M. C. Silva, A. G. Cruz // Trends in Food Science & Technology. -2019. – 88. – с. 361–372. – <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.04.003>.

²² Нестеренко, П. Г. Исторические аспекты использования и переработки молочной сыворотки / П. Г. Нестеренко, И. А. Евдокимов, А. Г. Храмцов // Молочная промышленность. - 2008. - № 11. - С. 32-34.

²³ Храмцов, А.Г. Технологический прорыв молочной отрасли АПК России на примере универсального сельхозсырья. Монография / А.Г. Храмцов – СПб: Профессия, 2023. – 218 с, ил., табл. (с. 11).

²⁴ Chen, Z. A novel membrane-based integrated process for fractionation and reclamation of dairy wastewater/ Z. Chen, J. Luo, Y. Wang, W. Cao, B. Qi, Y. Wan // Chemical Engineering Journal. – 2017. – Т. 313. – с. 1061–1070. – <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.10.134>.

лочной сыворотки связаны со сложным физико-химическим составом, большими объемами производства, дефицитом оборудования и технологий.

В России реализация молочной сыворотки в натуральном виде составляет не более 15 % всего объема, при небольшой доле творожной сыворотки²⁵, и только около 40 - 45 % подсырной сыворотки подвергается дальнейшей переработке, что составляет примерно 800 тыс. т в год готовой продукции²⁶. Такой подход создает серьезные экологические риски и снижает рентабельность использования молочного сырья на отечественных предприятиях²⁷.

Промышленную переработку молочной сыворотки рассматривают как целенаправленное и контролируемое воздействие на сложную биотехнологическую систему, которое можно разделить на 3 основных направления (рисунок 1.5)^{28 29}, а структура производства преобладающих типов сывороточных ингредиентов распределена следующим образом (рисунок 1.6).

²⁵ Волкова, Т. А. Эффективные технологии переработки молочной сыворотки / Т. А. Волкова // Производство сыра, масла и другой молочной продукции в современных условиях. Проблемы и пути решения: Сборник материалов международной научно-практической конференции, Углич, 20–22 июня 2023 года. – Углич: ВНИИМС – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, 2023. – С. 229-231.

²⁶ Храмцов, А.Г. Технологический прорыв молочной отрасли АПК России на примере универсального сельхозсырья. Монография / А.Г. Храмцов – СПб: Профессия, 2023. – 218 с, ил., табл.

²⁷ Родионов, Д.А. Анализ экспериментальных данных по кинетическим характеристикам очистки молочной сыворотки на ультрафильтрационных элементах типа БТУ 05/2 / Д. А. Родионов, С. И. Лазарев, К. К. Полянский [и др.] // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2020. – Т. 82, № 4(86). – С. 88-94. – DOI 10.20914/2310-1202-2020-4-88-94.

²⁸ Мельникова, Е. И. Мировой и российский рынок сывороточных ингредиентов / Е. И. Мельникова, Е. В. Богданова, Д. А. Павельева // Молочная промышленность. – 2020. – № 8. – С. 56-58.

²⁹ Топалов, В. К. Молочная сыворотка - источник ценных пищевых ингредиентов и дополнительной прибыли / В. К. Топалов, М. С. Золоторева, В. К. Топалов, И. А. Евдокимов, А. Г. Храмцов // Сыроделие и маслоделие, 2017. – № 5. – С. 30 – 31.

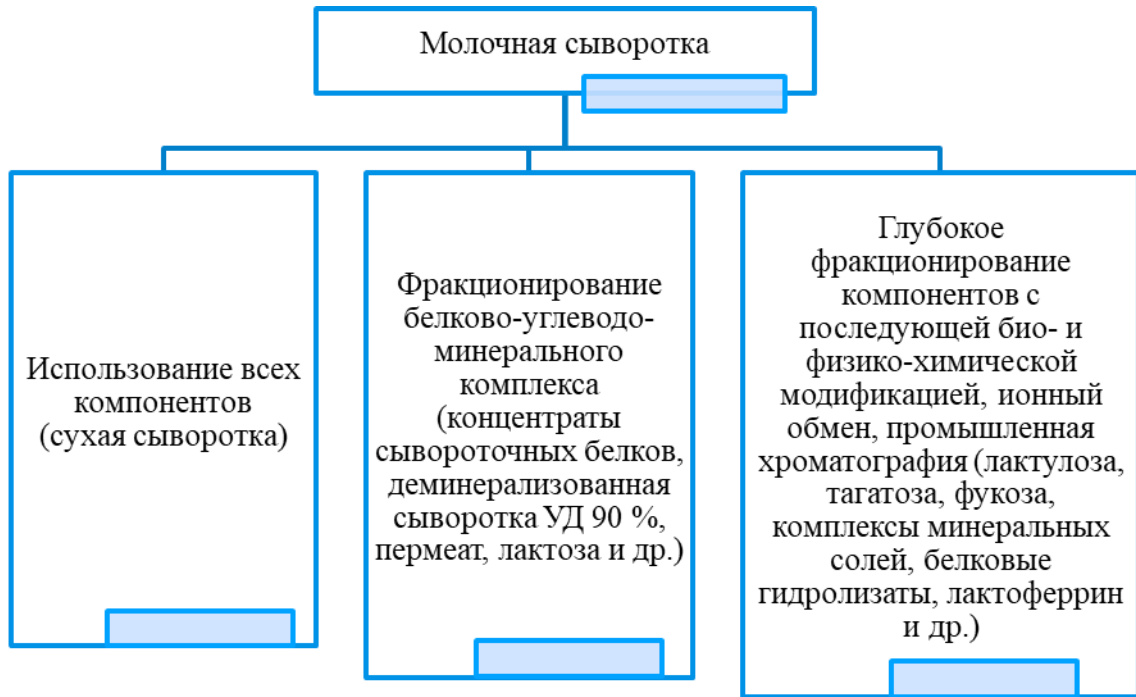


Рисунок 1.5 – Основные направления промышленной переработки молочной сыворотки

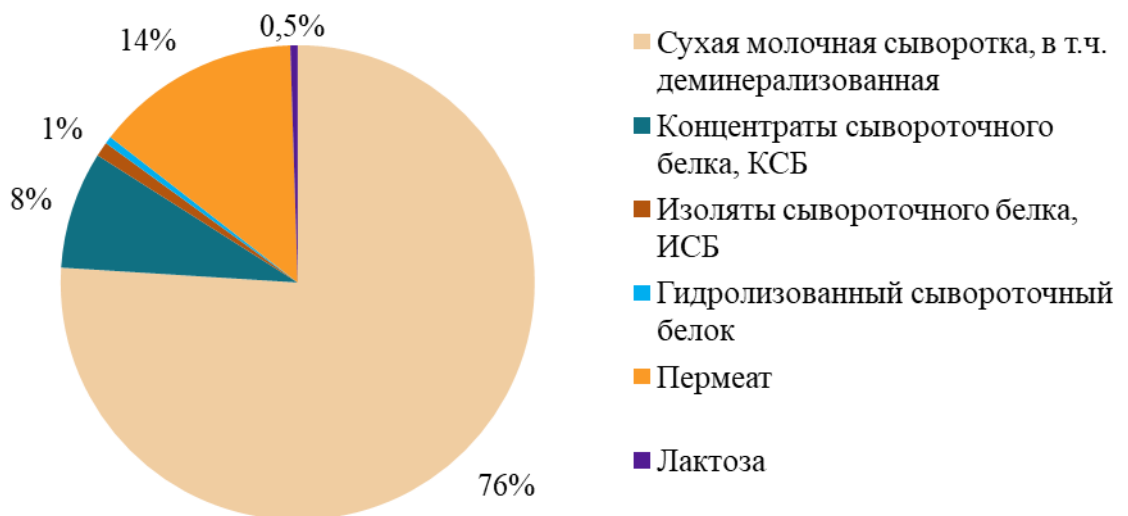


Рисунок 1.6 – Структура промышленного производства сывороточных ингредиентов

Мировая торговля сывороточными ингредиентами по итогу 2024 г оценивается в 99 млрд \$ и по прогнозам аналитического центра Market Reports к 2030 г

достигнет 128,8 млрд \$³⁰. Основной драйвер роста производства – постоянное расширение сферы применения на фоне развития индустрии функциональных продуктов. Данные исследования Future Market Insights и аналитической службы компании Kieselmann подтверждают, что мировой рынок функциональных молочных продуктов в период 2022-2032 гг. будет расти в среднем на 4,3 % в год. В 2024 г. объем данного рынка в мире оценивался в 80 млрд \$ и по прогнозам увеличится к 2033 г. до 120 млрд \$³¹. В последние десятилетия крупнейшие мировые компании активно инвестируют в сектор (Fonterra Co-operative Group Ltd. (Новая Зеландия), Arla Foods (Дания), Hilmar Cheese Company, Inc. (США), Carbery Group (Ирландия), Wheyco GmbH (Германия), LACTALIS (Франция), Dana Dairy Group Ltd. (Швейцария) сформировав «ингредиентные» подразделения и стабильно наращивая мощности, реализовывая новые технологии переработки вторичных молочных ресурсов. Наиболее распространенные — это технологии получения сухой сыворотки, на долю которой приходится около 70 % от общего объема ингредиентов, а производство, по оценкам FAO-OECD, к 2032 г. достигнет 3,7 млн т (рисунок 1.7)³².

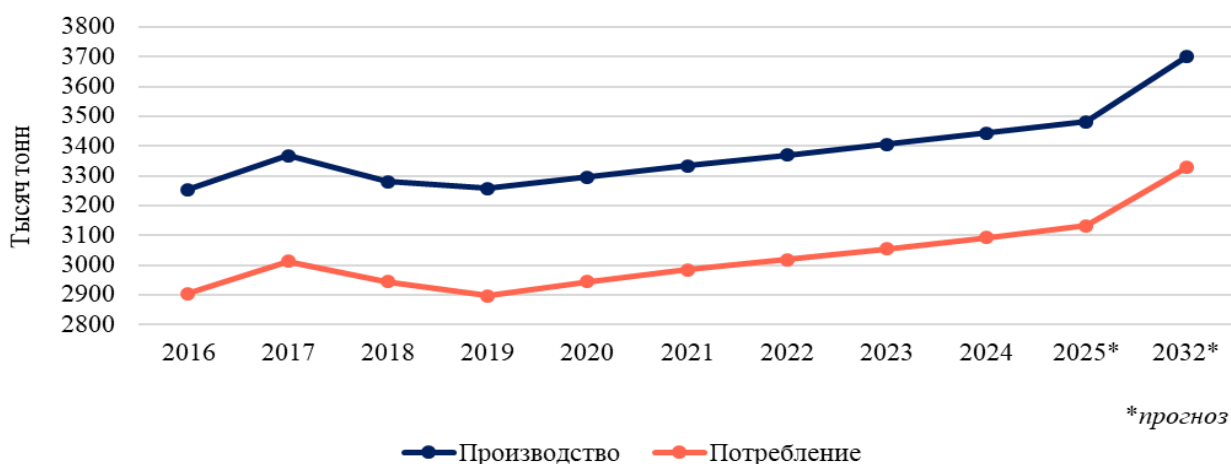


Рисунок 1.7 – Оценка мирового производства и потребления сухой молочной сыворотки, тыс. тонн, 2016-2032 гг.

³⁰ Global Whey Market Research Report 2025 [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.themarketreports.com/report/global-whey-market-research-report>.

³¹ Functional market share and trends of dairy products by product, application and region-understanding 2033 [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.marketresearchintellect.com/ru/product/global-functional-dairy-products-market/>

³² Пономарев, А.Н. Молочная сыворотка как сырьевой ресурс для производства пищевых ингредиентов / А. Н. Пономарев, Е.И. Мельникова, Е.В. Богданова // Молочная промышленность, 2018. – № 7. – С. 38 – 39.

Крупнейшие производители сухой сыворотки - Европейские страны (более 55 %), далее - США и Океания, на их долю приходится около 35 % всего объема.

По данным ТК Solutions в 2024 году российские предприятия получили 540954 т молочной сыворотки, среднегодовой спад объемов производства за 2017-2024 гг. составил 2,4 %, а крупнейшими компаниями-производителями стали:

- ООО «ВАМИН Татарстан»;
- АО «ВБД»;
- АО «ДАНОН Россия»;
- ОАО «Белебеевский молочный комбинат»;
- ЗАО «КМКК»;
- ОАО «МИЛКОМ»³³.

В Российской Федерации ежегодно производится более 140 тыс. т сухой сыворотки, 500 тыс. т — жидкой и 150 тыс. т — продуктов из сыворотки³⁴, и, тем не менее, в этом секторе есть большой потенциал для развития. В отчете аналитического центра Milknews в январе-феврале 2025 года производство сыворотки выросло на 9,1 % к уровню того же периода прошлого года - до 178,4 тыс. т в том числе сухой сыворотки – на 3,2 %, до 36,9 тыс. т. При этом ее потребление в аналогичном периоде 2024 года увеличилось на 16,7 % - 91,6 тыс. т, а сухой – на 6,8 % - до 17,4 тыс.³⁵. Согласно данным ФТСР в РФ ежегодно импортируется от 50 до 90 тыс. т в год молочной сыворотки, преимущественно из Республики Беларусь (94 % всего импорта)³⁶. Основные сферы применения сухой молочной сыворотки - производство хлебобулочных и кондитерских изделий для усиления аромата и улучшения цвета, а также в мясной и молочной отраслях.

³³ Рынок молочной сыворотки в России 2017-2024 гг. Цифры, тенденции, прогноз [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://tk-solutions.ru/russia-rynok-molochnoj-syvorotki>

³⁴ Фандеев, Д.А. Современная наука: функциональные решения на основе сыворотки [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://promilk.tech/index.html#services>

³⁵ Производство сухой сыворотки выросло на 3,2 % [Электронный ресурс] // Milknews - Новости молочного рынка. – 2025. – Режим доступа: <https://milknews.ru/analitika-rinka-moloka/rinok-moloka-v-Rossii/suhaya-syvorotka-fevral-2025.html>

³⁶ Национальный союз производителей молока / Развитие молочной индустрии России: итоги 2022 года и прогноз на 2023 год [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://vet.lenobl.ru/media/news/docs/55995/Итоги_развития_молочной_отрасли._Прогноз_2023.pdf

В последние годы аналитические службы отмечают постепенное смещение спроса в сегмент деминерализованной сыворотки³⁷ - ожидается что размер глобального рынка к 2030 году достигнет 532,88 млрд \$³⁸. Ключевые регионы производства - Северная Америка и Европа, переживают устойчивый рост, обусловленный правительственными инициативами, а крупнейшими компаниями-производителями остаются Euroserum, Valio, RENY PICOT, Lactalis, Hochwald, Dairy Crest, ALIMA Group, James Farrell & Co, Mirel® Dairy Product, FrieslandCampina Domo³⁹. Рынок деминерализованной сыворотки сегментирован по типам: УД-40, УД-50, УД-70, УД-90, наиболее востребованными видами остается сухая сыворотка с уровнем деминерализации 70 и 90 %. Деминерализованная сыворотка имеет более широкую сферу применения: в детском и специализированном питании, в технологии цельномолочных продуктов, консервов, кондитерских, хлебобулочных и мясных производств.

Мировой и отечественный опыт доказывает, что предпочтительной является мембранная технология переработки сыворотки^{40,41}, позволяющая очищать, разделять компоненты по размеру молекул и концентрировать среды при щадящих температурных режимах с минимальными энергетическими затратами⁴², однако недостаточность экспериментальной и теоретической баз не позволяет масштабно внедрить баромембранные процессы в подобные пищевые системы⁴³. Применение

³⁷ Евдокимов, И. А. Электродиализ молочной сыворотки / И. А. Евдокимов, Н. Я. Дыкало, А. В. Пермяков ; Евдокимов И. А., Дыкало Н. Я., Пермяков А. В. ; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное агентство по образованию, Георгиевский технологический ин-т (филиал) Гос. образовательного учреждения высш. профессионального образования "Северо-Кавказский гос. технический ун-т". – Георгиевск : Георгиевский технологический ин-т (филиал) СевКавГТУ, 2009. – 245 с.

³⁸ Global Demineralized Whey Powder Market By Type (D-40, D-50), By Application (Baby Foods, Clinical Foods), By Geographic Scope And Forecast [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.verifiedmarketreports.com/product/global-demineralized-whey-powder-market-growth-2019-2024/>

³⁹ Global Demineralized Whey For Milk Powder Market 2023 by Manufacturers, Regions, Type and Application, Forecast to 2029 [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.marketresearchreports.com/gir/global-demineralized-whey-milk-powder-market-2023-manufacturers-regions-type-and-application>

⁴⁰ Argenta A.B. Membrane Separation Processes Applied to Whey: A Review / A.B. Argenta, P.S. De Agnes. – Food Reviews International. – 2019. – V. 36. – P. 499–528.

⁴¹ Володин, Д. Н. Мембранные технологии переработки сыворотки: эффективные и рентабельные решения / Д. Н. Володин, А. С. Гридин, В. К. Топалов [и др.] // Переработка молока. 2022 № 7(273). С. 6–11. <https://www.elibrary.ru/edkzid>

⁴² Золоторева, М. С. О переработке молочной сыворотки и внедрении наилучших доступных технологий / М. С. Золоторева, Д. Н. Володин, В. К. Топалов [и др.] // Переработка молока. – 2016. – № 7(201). – С. 17-19.

⁴³ Тихонов С.Л., Безотходная мембранная технология переработки молочной сыворотки / Тихонов С.Л., Лазарев В.А., Муратов А.А.// Индустрия питания // Food Industry. - 2017. - №1 (2). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/bezothodnaya-membrannaya-tehnologiya-pererabotki-molochnoy-syvorotki>

мембранных методов (микрофильтрация - МФ, ультрафильтрация - УФ, нанофильтрация - НФ и обратный осмос - ОО), где за счет градиента давления и полупроницаемой мембраны обеспечивается фракционирование компонентов раствора, как гетерогенной системы^{44,45}, при умеренных температурных режимах и щадящей обработке, позволяет компонентам исходного сырья оставаться в нативном состоянии и сохранять свои функционально-технологические характеристики⁴⁶.

Фракционирование белково-углеводо-минерального комплекса молочной сыворотки дает возможность получить пищевые ингредиенты с высокой добавленной стоимостью – концентраты (КСБ) и изоляты (ИСБ) сывороточных белков, глобальное потребление которых постоянно растет⁴⁷. По прогнозам аналитического центра Market Research Future в период 2022-2030 гг. при среднегодовом темпе роста 7,36 % рынок достигнет 25,4 млрд \$⁴⁸. Объем мирового рынка концентратов сывороточного белка в 2023 году составил 1,35 млн т, прогнозируется, что при ежегодном приросте на 3,5 % к 2032 году его размер составит около 1,64 млн т^{49,50}. Кроме того, растущие инновации в производстве белковых ингредиентов, которые обладают широким спектром аминокислотного профиля и выполняют различные функции в организме потребителя, включая контролируемую потерю веса, сохранение энергетического баланса и восстановление мышечного тонуса, придадут дополнительный рыночный потенциал.

⁴⁴ Buchanan, D. Recent advances in whey processing and valorisation: Technological and environmental perspectives. / D. Buchanan, W. Martindale, E. Romeih, E. Hebishy // In International Journal of Dairy Technology. - 2023. - Vol. 76, - Issue 2, pp. 291–312. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12935>

⁴⁵ Mazorra-Manzano, M.A. Production of whey protein hydrolysates with angiotensin-converting enzyme-inhibitory activity using three new sources of plant proteases / M.A. Mazorra-Manzano, W.G. Mora-Cortes, M.M. Leandro-Roldan, D.A. González-Velázquez, M.J. Torres-Llanez, J.C. Ramírez-Suarez, A.F. González-Córdova, B. Vallejo-Córdova // Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. – 2020. – 28. –101724. – <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101724>

⁴⁶ Pastukh, O. N. To the issue of using secondary dairy raw materials / O.N. Pastukh, E.V. Zhukova // In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. - Vol. 640. - Issue 3, 032022. IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/640/3/032022>

⁴⁷ Агаркова, Е.Ю. Исследование процесса концентрирования различных видов подсырной сыворотки / Агаркова Е.Ю., Кручинин А.Г. // Переработка молока. - 2019. - № 3. - С. 20-22.

⁴⁸ Whey Protein Ingredients Market Research Report Information by Type (Whey Protein Isolate, Concentrate, Hydrolyzed Whey Protein, Demineralized Whey Protein), Application (Sports Nutrition, Beverages, Meat Products) and by Region – [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.marketresearchfuture.com/reports/whey-protein-ingredients-market-5122>

⁴⁹ Insights on the Whey Protein Global Market to 2027 – by Type, Application and Region. Source: Research and Markets / – February 24, 2022. – [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://www.globenewswire.com/en/news-release/2022/02/24/2391441/28124/en/Insightson-the-Whey-Protein-Global-Market-to2027-by-Type-Application-and-Region.html>

⁵⁰ Global Whey Protein Concentrate Market Size, Share, Analysis. [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.expertmarketresearch.com/reports/whey-protein-concentrate-market>

Концентраты и изоляты сывороточных белков широко применяются в различных отраслях пищевой промышленности, что обусловлено их физико-химическими свойствами (жиро- и влагоудерживающая, эмульгирующая способности) и выполнением ряда технологических функций в пищевых системах, таких как эмульгирование, пенообразование и гелеобразование. С точки зрения физиологического воздействия на организм человека сывороточные белки выступают в качестве источника незаменимых аминокислот и аминокислот с разветвленной цепью (валина, лейцина и изолейцина)⁵¹. Направления последующего использования КСБ и ИСБ определяются массовой долей общего белка в них. Эти ингредиенты широко применяются в детском, геродиетическом, спортивном питании и кондитерском производстве для обогащения, а также в качестве стабилизаторов при выпуске мясных и молочных продуктов⁵².

Технологии КСБ и ИСБ сопровождаются получением второго продукта – сывороточного пермеата, несмотря на уникальные функционально-технологические свойства, рынок которого не так активно развивается, в 2024 году его стоимость составила около 839 млн \$, По данным Global Market Insights Inc., объем рынка сывороточного пермеата к 2032 году достигнет приблизительно 1,2 млрд \$ (рисунок 1.8). Темпы роста рынка в период с 2025 по 2032 гг. составят 4,52 %⁵³.

⁵¹ Тепел, А. Химия и физика молока/ А. Тепел. – Пер. с нем. под ред. канд. техн. наук, доц. С.А. Фильчаковой // СПб.: Профессия. – 2012. – 832 с.

⁵² Золоторева, М. С. Молочная сыворотка - источник ценных пищевых ингредиентов и дополнительной прибыли / М. С. Золоторева, В. К. Топалов, И. А. Евдокимов, А. Г. Храмцов // Сыроделие и маслоделие, 2017. – № 5. – С. 30 – 31.

⁵³ Whey Permeate Market Size - By Form (Powder, Liquid), By Application (Bakery Products, Confectionery, Dairy Products, Beverages, Swine Feed, Cattle Feed, Poultry Feed, Protein Supplements), By End Use & Forecast, 2025 – 2032 [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.gminsights.com/industry-analysis/whey-permeate-market>

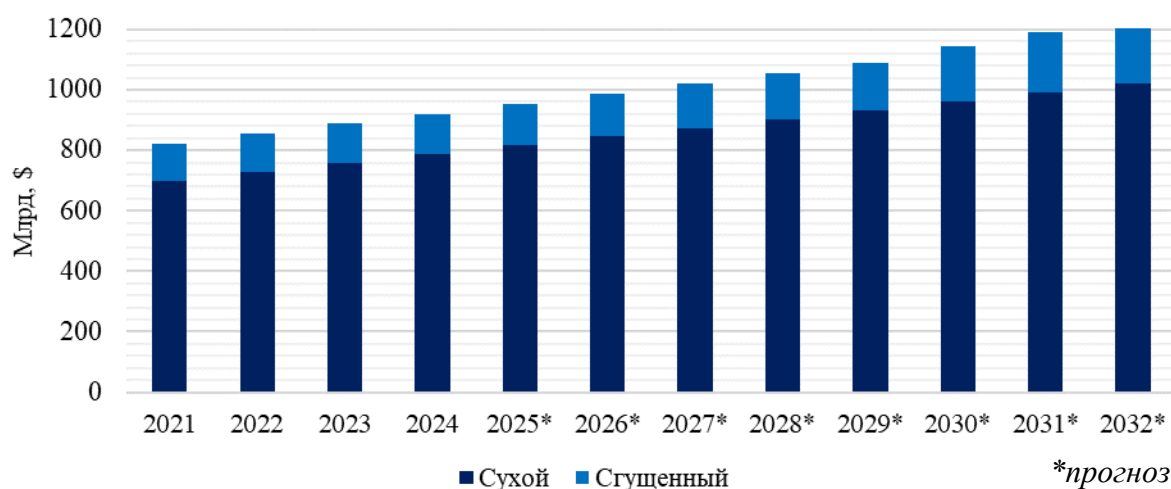


Рисунок 1.8 – Стоимость мирового рынка сывороточного пермеата, млрд \$, 2021-2032 гг.

Лидерами по производству пермеата остаются страны Северной Америки: на их долю приходится более 46 % всего мирового рынка; доля Европейского Союза составляет около 34 %; Азиатско-Тихоокеанского региона – более 16 %⁵⁴; ведущие компании - American Dairy Products Institute (США), Agri-Dairy Products, Inc. (США), LACTALIS Ingredients (Франция), Arion Dairy Products B.V. (Нидерланды), Naverro Hoogwegt B.V. (Нидерланды), Melkweg Holland BV (Нидерланды), Arla Foods (Дания), Agropur Ingredients (США), Sloan Valley Dairies Ltd. (Канада), FIT Company (Франция), FIT Company (Франция).

На территории Российской Федерации сывороточный пермеат производят следующие предприятия: ФЛ ПАО МКВ «Калачеевский сырзавод», ООО «Трубчевский молочный комбинат», ОАО «Северное молоко», Cremo SA, ООО «Зеленые Линии», МК «Ставропольский», ООО «Тагрис молоко» и другие⁵⁵. По оценке аналитического центра DISCOVERY Research Group, в 2022 г. объем рынка пермеата молочного сухого в натуральном выражении составил 14 945,8 т. По информации союза «Торгово-промышленная палата Воронежской области» ФЛ ПАО МКВ «Калачеевский сырзавод» экспортировал молочный пермеат в страны

⁵⁴ Мельникова, Е.И. Мировой и российский рынок сывороточных ингредиентов / Е.И. Мельникова, Е.В. Богданова, Д.А. Павельева // Молочная промышленность. - 2020. - № 8. - С. 56-58

⁵⁵ Производители сывороточного пермеата, обновленный рейтинг 2025 [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://b2b-postavki.ru/proizvoditel/syvorotochnyy-permeat-russia.html>

Юго-Восточной и Центральной Азии, а также на Ближний Восток: 2,34 тыс. т в 2022 г., за 7 месяцев 2023 года – 2 тыс. т. Однако, высокая импортозависимость существует: в 2022 г. сухого молочного пермеата компании Arla Foods Ingredients S.A. было приобретено на сумму более 253,7 тыс. \$^{56,57}.

Преимущественно пермеат используют в производстве кормов для сельскохозяйственных животных⁵⁸, но растет его применение в пищевой промышленности, также в качестве источника сырья для производства лактозы⁵⁹, мировой рынок которой уверенно развивается: с 1,27 млрд \$ в 2022 году до 1,32 млрд \$ в 2023 году при совокупном годовом темпе роста (CAGR) 4,4 %, сегментирован преимущественно на моногидрат лактозы, лактулозу, галактозу, лактитол и другие производные. По прогнозам в 2027 году при среднегодовом росте в 3,6 % рынок достигнет 1,52 млрд \$⁶⁰. Крупнейшие заводы по выпуску лактозы ArNoCo — совместное предприятие Arla Foods и DMK — производят 25 тыс. т лактозы и 12 тыс. т КСБ в год, перерабатывают 700 тыс. т сыворотки (около 2 тыс. т в сутки); завод Arla Foods в Ютландии (Дания) выпускает 80 тыс. т лактозы в год⁶¹. По данным ФСГС (Росстат), ФТС России и компании «Союзмолоко» в России за 2024 год объем рынка лактозы / молочного сахара составил 19,4 тыс. т, ожидается, что к 2027 году он вырастет до 20,1 тыс. т (рисунок 1.9).

⁵⁶ Анализ рынка пермеата молочного сухого в России [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://drgroup.ru/analiz-rynka-permeata-molochnogo-sukhogo-v-rossii.html?ysclid=lwi8nvluoh323048394>

⁵⁷ Воронежский «Молвест» стал лидером по производству пермеата / союз «Торгово-промышленная палата Воронежской области» [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://voronezh.tpprf.ru/ru/events/members-news/voronezhskiy-molvest-stal-liderom-proizvodstva-permeata-i509171/>

⁵⁸ Кудряшов, В.Л. Производство кормовых добавок из молочной сыворотки на основе инновационных мембранных и биотехнологических процессов / В.Л. Кудряшов // Пищевая индустрия. - №3 – 2018. – с. 53-55.

⁵⁹ Babenyshev, S.P. Experimental determination of parameters for milk whey microfiltration process / S.P. Babenyshev, I.A. Evdokimov, A.A. Bratsikhin, V.E. Zhidkov, G.S. Anisimov, D.S. Mamay // Journal of Hygienic Engineering and Design. - 2019. - Volume 28. - Pages 85-95.

⁶⁰ Lactose Global Market Report 2023 [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://www.reportlinker.com/p06284591/?utm_source=GNW

⁶¹ Обзор российского и мирового рынков молока и молочной продукции по состоянию на 06.06.2023 года / ГКУ КК «Кубанский сельскохозяйственный информационно-консультационный центр» [Электронный ресурс] // Режим доступа: http://www.kaicc.ru/sites/default/files/moloko_rf_i_mir_06.06.23.pdf

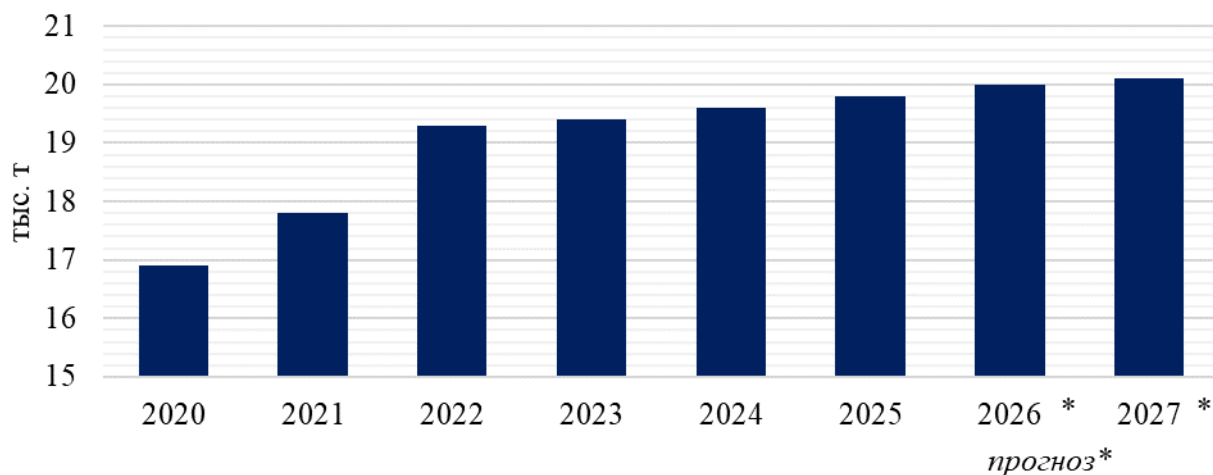


Рисунок 1.9 - Объемы рынка лактозы / молочного сахара в РФ и его прогноз, тыс. тонн, 2020-2027 гг.

Лактоза широко используется в медицине, фармацевтике, косметологической и химической отраслях⁶², попадая в организм человека выполняет роль источника энергии, проявляет бифидогенную активность, нормализует полезную микрофлору кишечника⁶³, стимулирует усвоение кальция, фосфора и магния организмом, предупреждая развитие гипокальциемии⁶⁴.

Известны технологии глубокого фракционирования молочной сыворотки с последующей био- и физико-химической модификацией, ионный обмен, промышленная хроматография, позволяющие производить минорные компоненты: производные сывороточных белков (иммуноглобулины, сывороточные пептиды, гидролизаты, гликомакропептиды, лактоферрин и др.⁶⁵), пребиотики⁶⁶ (галакто-

⁶² Храмов, А.Г. Инновационные приоритеты технологического прорыва производства оригинального ингредиента для индустрии питания из универсального сельскохозяйственного сырья - молочной сыворотки // Индустрия питания / Food Industry. 2019. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/innovatsionnye-prioritety-tehnologicheskogo-proryuva-proizvodstva-originalnogo-ingredienta-dlya-industrii-pitaniya-iz-universalnogo>

⁶³ Синельников, Б.М. Лактоза и ее производные / Б.М. Синельников, А.Г. Храмов, И.А. Евдокимов, С.А. Рябцева, А.В. Серов; науч. ред. акад. РАСХН А.Г. Храмов. — СПб.: Профессия, 2007. — 768 с., ил., табл. ISBN 978-5-93913-137-7

⁶⁴ Тепел, А. Химия и физика молока [Текст] / А. Тепел. — Пер с нем. под ред. канд. техн. наук, доц. С.А. Фильчаковой // СПб.: Профессия. — 2012. — 832 с.

⁶⁵ Ионова, И. И. Перспективные ресурсосберегающие технологии минорных белковых компонентов из молочной сыворотки / И. И. Ионова, А. О. Юрасов, Н. А. Тихомирова // Переработка молока. — 2022. — № 7(273). — С. 32-34. — DOI 10.33465/2222-5455-2022-7-30-32.

⁶⁶ Рябцева, С. А. Физиологические эффекты, механизмы действия и применение лактулозы / С. А. Рябцева, А. Г. Храмов, Р. О. Будкевич и др. // Вопросы питания. — 2020. — Т. 89. - №2. — С.5-15.

олигосахариды, лактулозу, фукозу), и производные лактозы, которые могут быть использованы в качестве сахарозаменителей (тагатоза, глюкозо-галактозные сиропы, лактосахароза, лактитол)⁶⁷. Сфера применения таких ингредиентов ограничена детским и специализированным медицинским питанием, заменителями женского молока, косметологией⁶⁸.

Все ингредиенты на основе глубокой переработки молочной сыворотки активно используются в различных отраслях⁶⁹ (рисунок 1.10).

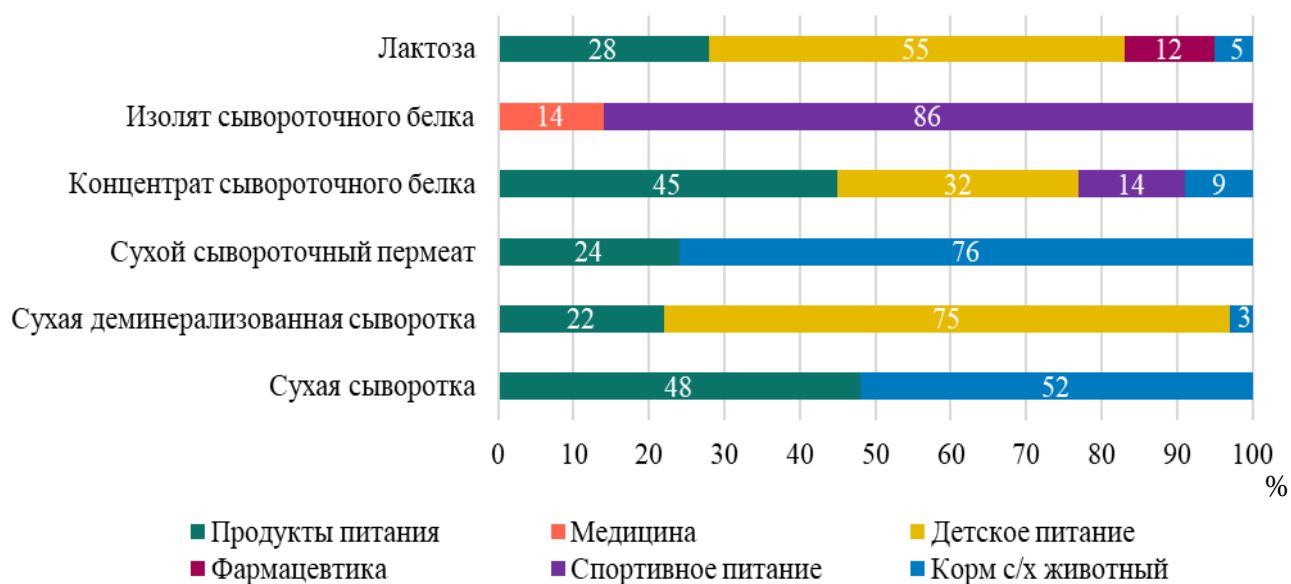


Рисунок 1.10 – Сферы применения пищевых ингредиентов из молочной сыворотки

⁶⁷ Храпцов, А.Г. Инновационные приоритеты технологического прорыва производства оригинального ингредиента для индустрии питания из универсального сельскохозяйственного сырья - молочной сыворотки // Индустрия питания / Food Industry. 2019. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/innovatsionnye-prioritety-tehnologicheskogo-proryuva-proizvodstva-originalnogo-ingredienta-dlya-industrii-pitaniya-iz-universalnogo>

⁶⁸ Марьина, Т. «Вторсырье» из молочной реки. Побочный продукт может принести немалую прибыль [Электронный ресурс] // АО «Издательский дом «С.-Петербургские ведомости». – 2023. – https://spbvedomosti.ru/news/country_and_world/vtorsyre-iz-molochnoy-reki-pobochnyy-produkt-mozhet-prinesti-nemaluyu-pribyl/.

⁶⁹ Симоненко, С.В. Использование компонентов молочной сыворотки для производства продуктов специализированного питания / Симоненко С.В., Антипова Т.А., Фелик С.В., Андросова Н.Л., Кудряшова О.В. // МНИЖ. 2022. №4-1 (118). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-komponentov-molochnoy-syvorotki-dlya-proizvodstva-produktov-spetsializirovannogo-pitaniya>

Российский рынок сыровоточных ингредиентов имеет потенциал к развитию в связи с постоянным расширением сферы применения, ориентацией производителей на высокомаржинальные товары и активной государственной поддержкой⁷⁰. Внедрение ресурсосберегающих технологий с применением мембранных методов разделения исходного сырья, способствуют увеличению добавленной стоимости продуктов на основе белка и лактозы подсырной сыворотки⁷¹. Это позволяет минимизировать или устранить ущерб, наносимый окружающей среде в результате выбросов производственных отходов⁷².

*Требования к сырью для производства сухого деминерализованного
сыровоточного пермеата*

Химический состав молочной сыворотки⁷³ (50 % сухих веществ молока, включая 95 % лактозы, 80 % минеральных веществ, 20 % белков и 10 % жира⁷⁴) позволяет дополнительно получать более 225 тыс. т лактозы, 20 тыс. т молочного жира, 30 тыс. т белковых и 35 тыс. т минеральных веществ ежегодно⁷⁵, а уникальные белковый, углеводный и липидный комплексы указывают на значительные преимущества применения в качестве сырья для производства новых ингредиентов и пищевых продуктов, что весьма актуально и экономически целесообразно.

⁷⁰ Молоко и молокопродукты Российской Федерации: внутреннее производство, внешняя торговля, ценовая конъюнктура // Национальный союз производителей молока: Информационно-аналитический отчет о ситуации в молочной отрасли 2019. URL: <http://www.souzmoloko.ru/materiali/Predvaritelnye-itogi-2019>.

⁷¹ Khramtsov, A.G., Systematization and ranking of linguistic terminology of secondary dairy raw materials in its rational use / A.G. Khramtsov, D.N. Volodin, O.S. Batdyeva, S.M. Batdyev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. - 2021. – Т. 848. - 113. - 012193. - DOI 10.1088/1755-1315/848/1/012193

⁷² Чебакова, Г.В. Использование вторичного молочного сырья для производства кисломолочных сыровоточных напитков / Чебакова Г.В., Ворошик М.Е., Есепенок К.В. // Инновации и инвестиции. 2019. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-vtorichnogo-molochnogo-syrya-dlya-proizvodstva-kislomolochnyh-syvorotochnyh-napitkov>

⁷³ Храмов, А.Г. Феномен молочной сыворотки / А.Г. Храмов. – СПб.: Профессия, 2011. – 804 с.

⁷⁴ Буданов, А.А. Обоснование перспектив применения молочной сыворотки в выработке пищевых продуктов / А. Буданов, К.Г. Гапизова, О.Н. Пастух, П.А. Корневская // Инновационные технологии в науке: управление качеством, метрологическое обеспечение, новые подходы и цифровизация производства в сфере АПК : Сборник научных материалов I Всероссийской (национальной) научно-практической конференции с международным участием, приуроченной к Всемирному дню метрологии, Саратов, 28 апреля 2023 года. – Саратов: Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова, 2023. – С. 336-340.

⁷⁵ Храмов, А.Г. Эволюция переработки молочной сыворотки: прошлое, настоящее, будущее (часть 1) / А. Г. Храмов, А. А. Борисенко, И. А. Евдокимов [и др.] // Современная наука и инновации. – 2021. – № 2(34). – С. 129-139. – DOI 10.37493/2307-910X.2021.2.12. (с. 132)

разно^{76,77}, однако, специфические физико-химические показатели молочной сыворотки ограничивают возможности ее использования (таблица 1.1)⁷⁸.

Таблица 1.1 - Физико-химические показатели молочной сыворотки

Наименование показателя	Молочная сыворотка		
	Подсырная несоленая	Творожная	Казеиновая
Массовая доля сухих веществ, %	6,21-6,36	5,10-5,92	5,53-7,51
Массовая доля лактозы, %	4,77-4,92	3,50-4,25	3,50-5,54
Массовая доля белка, %	0,78-0,83	0,45-0,55	0,50-1,51
Массовая доля жира, %	0,2-0,5	0,1-0,2	0,02-0,1
Массовая доля золы, %	0,41-0,54	0,53-0,82	0,30-0,93
Плотность, кг/м ³	1018-1027	1019-1026	1020-1025
Кислотность, °Т	16-25	60-85	50-120
Активная кислотность, ед. рН	6,53-6,67	4,60-4,74	4,34-4,75

Различия свойств для каждого типа сыворотки обусловлены их химическим составом: степень перехода отдельных компонентов молока-сырья взаимосвязана с процессами гелеобразования и синереза⁷⁹. В сыворотку переходит до 12 % мелкодисперсного молочного жира, в зависимости от технологии и содержания в исходном молоке. Белковая составляющая представлена казеиновой пылью и сбалансированными сывороточными белками. Состав минеральных веществ практически идентичен молоку, преобладают ионы натрия, калия, кальция, магния, хлора, фосфора⁸⁰, их содержание варьируется от 0,3 до 0,8 % (до 15,0 % в сухом веществе), а количественное соотношение анионов (3,50 г/кг) и катионов (3,35 г/кг)

⁷⁶ Ramani, K. Significance of Whey as a Biofunctional Asset in Dairy Industry / K. Ramani, R.A. Patel // International Journal of Research Publication and Reviews. – 2023.- Vol 4, - no 10, pp 2828-2833. - DOI: <https://doi.org/10.55248/gengpi.4.1023.102902> (с. 2829)

⁷⁷ Yatskov, M. Design of systems for integrated processing of dairy raw materials in the cheese industry / M. Yatskov, N. Korchyk, V. Besediuk // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2021. – Vol. 3, No. 11-111. – P. 80-87. – DOI 10.15587/1729-4061.2021.234818.

⁷⁸ Храмов, А. Г. Феномен молочной сыворотки / А. Г. Храмов. - СПб.: Профессия, 2011. - 804 С.

⁷⁹ Гаврилов, Г.Б. Справочник по переработке молочной сыворотки: Технологии, процессы и аппараты, мембранное оборудование / Г.Б. Гаврилов, А.Ю. Просеков, Э.Ф. Кравченко, Б.Г. Гаврилов. – Санкт-Петербург: Издательство Профессия, 2015. – 176 с. – ISBN 978-5-904757-81-6.

⁸⁰ Храмов, А. Г. Технологический суверенитет молочной отрасли пищевой индустрии АПК РФ на примере универсального сельхозсырья : информ. сб. / А. Г. Храмов.– Ставрополь : Изд-во СКФУ, 2023.– 482 с.

совпадает с молоком⁸¹. Массовая доля лактозы колеблется от 70 до 75 % в сухом веществе⁸², ее содержание ниже в творожной⁸³ и казеиновой сыворотке из-за ферментации в молочную кислоту⁸⁴, что обуславливает высокую кислотность относительно подсырной сыворотки и уменьшает эффективность последующих операций мембранного фракционирования⁸⁵ и сушки, что определяет выбор сырья для дальнейшего производства сухого деминерализованного сывороточного пермеата.

1.2 Пермеаты: классификация, сферы применения в пищевой промышленности

Развитие продовольственного рынка инициировало организацию промышленного выпуска пермеатов: побочных продуктов от производства белковых ингредиентов - фильтратов, содержащих раствор лактозы, минеральных солей и других низкомолекулярных соединений, преимущественно в виде сухого порошка с длительным сроком хранения, характеризующегося высоким содержанием лактозы от 76 до 96 % в сухом веществе.

⁸¹ Тепел, А. Химия и физика молока [Текст]/ А. Тепел. – Пер с нем. под ред. канд. техн. наук, доц. С.А. Фильчаковой // СПб.: Профессия. – 2012. – с. 25-27.

⁸² Волкова, Т. А. О лактозе и ее производных / Т. А. Волкова // Переработка молока. – 2021. – № 11(265). – С. 16-19.

⁸³ Короткий, А. И. Разработка низкотемпературной технологии извлечения белка из творожной сыворотки / А. И. Короткий, Е. В. Короткая, Е. Н. Неверов [и др.] // Вестник КрасГАУ. – 2020. – № 2(155). – С. 148-154. – DOI 10.36718/1819-4036-2020-2-148-154.

⁸⁴ Евдокимов, И. А. Анализ переработки молочной сыворотки и создание перспективных ресурсосберегающих технологий / И.А. Евдокимов, М. С. Золоторева, д. Н. Володин, В. С. Сомов//Наука. Инновации. Технологии.- 2013.-№ 1.- С.37-44.

⁸⁵ Дымар, О.В. Мембранные технологии в молочной промышленности: прошлое, настоящее и будущее. Часть 2. Электромембранные процессы/ О.В. Дымар // Переработка молока. - 2023. - № 11. – С. 18-21.

В 2017 г. Комиссия «Кодекс Алиментариус» при ФАО/ВОЗ утвердила стандарт на сухие пермеаты из молочного сырья CSX 331-2017⁸⁶. В Российской Федерации нормативными документами (ТР ТС 033/2013⁸⁷; ТР ТС 029/2012⁸⁸) не регламентированы требования к пермеатам и отсутствует понятийный аппарат, несмотря на активное внутреннее производство, потребление и успешную организацию экспорта.

Химические показатели сухих пермеатов из молочного сырья, в соответствии со стандартом CSX 331-2017, представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 - Стандарт на сухие пермеаты из молочного сырья CSX 331-2017

Критерии	Сухой пермеат из молочного сырья	Сухой сывороточный пермеат	Сухой молочный пермеат
Минимальное содержание лактозы кристаллической (массовая доля, %)	76,0	76,0	76,0
Максимальное содержание азота (массовая доля, %)	1,1	1,1	0,8
Максимальное содержание молочного жира (массовая доля, %)	1,5	1,5	1,5
Максимальное содержание золы (массовая доля, %)	14,0	12,0	12,0
Максимальное содержание влаги (массовая доля, %)	5,0	5,0	5,0

По внешнему виду пермеаты представляют собой сыпучий порошок белого цвета с желтоватым оттенком, сладковатым молочным вкусом, не имеющий статуса пищевых добавок и, соответственно, литеры с индексом «Е», что позволяет производить продукты с «чистой этикеткой». Наибольшая востребованность сывороточных пермеатов на рынке обусловлена доступностью, экономической целесообразностью, способностью заменить в рецептурах пищевых продуктов более

⁸⁶ CSX 331-2017 Standard for Dairy Permeate Powders [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.fao.org/faowho-codexalimentarius/codex-texts/list-standards/ru/>

⁸⁷ ТР ТС 033/2013. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности молока и молочной продукции», - 2023 - [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/499050562>

⁸⁸ ТР ТС 029/2012. Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств, - 2023 - [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/902359401>

дорогостоящие ингредиенты, например, чистую лактозу, а также функционально-технологическими характеристиками, отвечающими требованиям производства широкого спектра продуктов^{89,90,91,92}.

Сухие сывороточные пермеаты широко используются в технологиях различных ассортиментных групп в качестве самостоятельного ингредиента, но основным ограничивающим фактором их применения в пищевых целях⁹³, в частности для детского питания и ряда кондитерских производств, можно отнести высокое содержание минеральных веществ и, как следствие, специфический горько-соленый вкус^{94,95}. По итогу 2023 года доля применения сывороточных пермеатов по отраслям была сегментирована следующим образом (рисунок 1.11)⁹⁶:

⁸⁹ Magomedov G.O. Technological aspects of whey by-products use in the production of zephyr of improved quality / G.O. Magomedov, A.N. Ponomarev, E.I. Melnikova, I.V. Plotnikova, K.K. Polyanskiy, E.N. Miroschnichenko // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. – 2022. - Sci. 1052 012050 doi:10.1088/1755-1315/1052/1/012050

⁹⁰ Суюнчева, Б.О. Комплексная переработка и использование молочной сыворотки с реализацией наилучших доступных технологий в хлебопечении и кондитерском производстве / Б.О. Суюнчева, О.А. Суюнчев, С.А. Рябцева [и др.] // Современные достижения биотехнологии. Глобальные вызовы и актуальные проблемы переработки и использования вторичных сырьевых ресурсов агропромышленного комплекса России: Материалы VIII Международной научно-практической конференции, Ставрополь, 21–24 июня 2021 года / Под редакцией И.А. Евдокимова, А.Д. Лодыгина. – Ставрополь: Общество с ограниченной ответственностью "Бюро новостей", 2021. – С. 305-309.

⁹¹ Дымар, О. В. Повышение эффективности переработки молочных ресурсов: научно-технологические аспекты / О. В. Дымар. — Минск: Колорград, 2018. — 236 с.

⁹² Евдокимов, И.А. Деминерализованный пермеат, как альтернатива молочному сахару / И.А. Евдокимов, Д.Н. Володин, В.К. Топалов, В.А. Михнева // Молочная промышленность. – 2013. – № 2. – С. 38.

⁹³ Миклух, И. В. Технологические аспекты переработки мелассы, полученной при производстве молочного сахара / И. В. Миклух, Л. Н. Соколовская, О. В. Дымар // Молодежь в науке - 2016 : сборник материалов Международной конференции молодых ученых: в 2 частях, Минск, 22–25 ноября 2016 года / Национальная академия наук Беларуси. Совет молодых ученых. Том Часть 1. – Минск: Республиканское унитарное предприятие «Издательский дом «Белорусская наука», 2017. – С. 457-466.

⁹⁴ Мельникова, Е.И. Пермеаты молочного сырья как новые продукты на российском рынке / Е.И. Мельникова, Е.С. Рудниченко, Д.А. Павельева // Переработка молока. - 2022. - № 7 (273). - С. 38-39.

⁹⁵ Murphy, E.G. Powder and reconstituted Properties of commercial Infant and Follow-on Formulas / E.G. Murphy, N.E. Regost, Y.H. Roos, M.A. Fenelon // Foods. – 2020. – 9. – 1. – 84. – <https://doi.org/10.3390/foods9010084>

⁹⁶ Whey Permeate Market Size - By Form (Powder, Liquid), By Application (Bakery Products, Confectionery, Dairy Products, Beverages, Swine Feed, Cattle Feed, Poultry Feed, Protein Supplements), By End Use & Forecast, 2024 – 2032. – [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.gminsights.com/industry-analysis/whey-permeate-market>

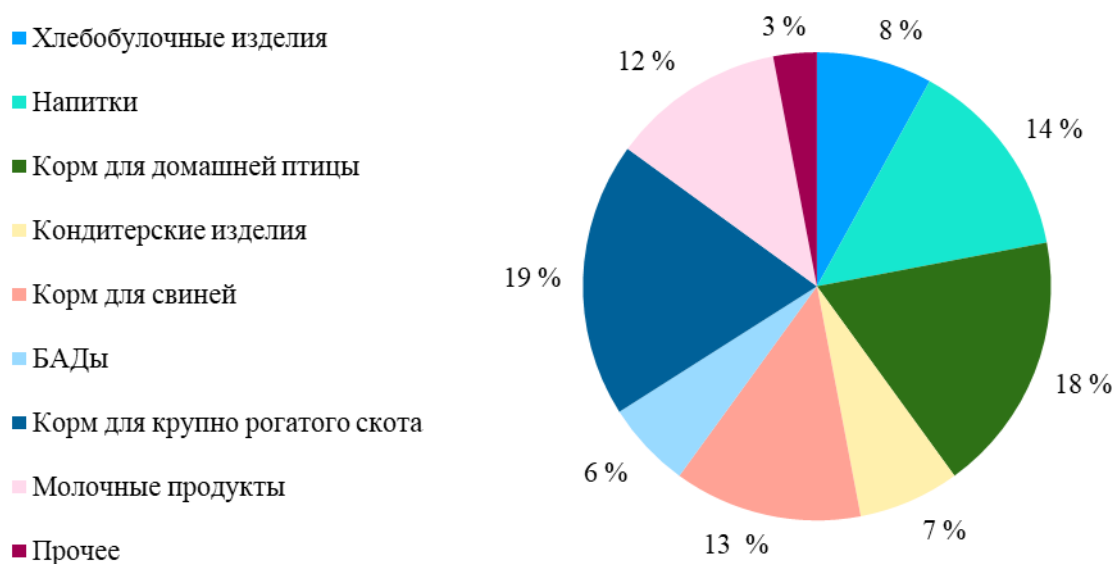


Рисунок 1.11 – Сферы применения сухого сывороточного пермеата, %, 2023 г.

Наибольший спрос на сухой сывороточный пермеат наблюдали со стороны кормовой промышленности (50 %), производств напитков (14 %) и молочных продуктов (12 %).

Сухой сывороточный пермеат обладает приятным молочным ароматом, быстрой растворимостью и более сладким вкусовым профилем в сравнении с чистой лактозой благодаря эффекту усиления вкуса содержащихся в нем минералов, а также низкой стоимостью - около 80 руб. за кг (стоимость лактозы – 130-230 руб. за кг)⁹⁷. Кроме того, потребление энергии при выпуске сухого пермеата значительно ниже, а выход в 2-2,5 раза больше в сравнении с производством лактозы.

Стандартная схема производства сухого сывороточного пермеата предусматривает последовательность следующих технологических операций (рисунок 1.12)⁹⁸.

⁹⁷ Володин, Д.Н. Использование сывороточных ингредиентов в производстве продуктов питания / Д. Н. Володин, М. С. Золоторева, А. В. Костюк [и др.] // Молочная промышленность. – 2017. – № 2. – С. 65-67.

⁹⁸ Мельникова, Е. И. Состав и функционально-технологические свойства пермеата подсырной сыворотки / Е. И. Мельникова, Е. В. Богданова, Д. А. Павельева // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2022. – № 1. – С. 223-232. – DOI 10.36107/spfp.2022.276.



Рисунок 1.12 - Технологическая схема производства сухого сывороточного пермеата

В соответствии со стандартом на сухие пермеаты молочного сырья (СХС 331-2017) максимальное содержание золы в недеминерализованном сухом сывороточном пермеате не должно превышать 12,0 %. Нормы массовой доли золы в пересчете на сухое вещество для деминерализованного сывороточного пермеата составляют не более 7,0, 4,0, 2,5 и 1,0 %, в зависимости от уровня деминерализации: 25, 50, 70 и 90 %, соответственно (таблица 1.3).

Таблица 1.3 - Химический состав сухих сывороточных пермеатов

Наименование показателя	Значение
Массовая доля влаги, %	2 – 5
Массовая доля лактозы, %	76 – 92
Массовая доля жира, %	0 - 1,5
Массовая доля белка, %	1,2 – 4
Массовая доля золы в пересчете на сухое вещество, не более, %	
- деминерализованный пермеат	
УД 25 %	7,0
УД 50 %	4,0
УД 70 %	2,5
УД 90 %	1,0
- недеминерализованный пермеат	9,0

Производство пермеата с применением ультра- и нанофильтрации позволяет получить готовый продукт с частичной деминерализацией⁹⁹, при которой удаляется около 25-30 % солей молочной сыворотки, а массовая доля золы в пересчете на сухое вещество не более 7 %^{100,101,102,103}. Ультрафильтрационные мембраны с размерами пор от 0,01 до 0,1 мкм позволяют концентрировать жир, белки, а также связанные с ними ионы и минеральные вещества (кальций, магний, фосфаты и цитраты), при этом свободные - переходят в УФ-пермеат (натрий, калий, хлорид-ионы)¹⁰⁴. Электролиты Na⁺, K⁺, Cl⁻ относятся к избыточным макроэлементам раци-

⁹⁹ Cuartas-Uribe, B. A study of the separation of lactose from whey ultrafiltration permeate using nanofiltration / B. Cuartas-Uribe, M.I. Alcaina-Miranda, E. Soriano-Costa, J.A. Mendoza-Roca, M.I. Iborra-Clar, J. Lora-García // Desalination. – Volume 241, Issues 1–3, – 2009. – Pages 244-255, ISSN 0011-9164. – <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.11.086>.

¹⁰⁰ Talebi, S. Pilot study on the removal of lactic Acid and minerals from acid Whey using Membrane Technology / S. Talebi, F. Suarez, G.Q. Chen, X. Chen, K. Bathurst, S.E. Kentish // ACS Sustainable Chemistry & Engineering. – 2020. – 8. – 7. – 2742–2752. – <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b06561>.

¹⁰¹ Волкова, Т. А. Деминерализация молочной сыворотки / Т. А. Волкова // Производство сыра, масла и другой молочной продукции в современных условиях. Проблемы и пути решения: Сборник материалов международной научно-практической конференции, Углич, 20–22 июня 2023 года. – Углич: ВНИИМС – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, 2023. – С. 240-244.

¹⁰² Евдокимов И.А. Альтернативные тренды переработки ультрафильтрационного пермеата/ И.А. Евдокимов, М.В. Крохмаль, М.И. Шрамко, Г.С. Анисимов, Р.О. Будкевич // Молочная промышленность. – 2018. – № 8. – С.37-40. DOI :10.31515/1019-8946-2018-8-46-48.

¹⁰³ Куренков, С. А. Переработка пермеата полученного в процессе ультрафильтрации молока / С. А. Куренков, Л. А. Куренкова, М. Н. Коверда // Молодые исследователи агропромышленного и лесного комплексов – регионам: Материалы III международной молодежной научно-практической конференции, Вологда-Молочное, 26 апреля 2018 года. Том 2, Часть 2. – Вологда-Молочное: Вологодская государственная молочнохозяйственная академия им. Н.В. Верещагина, 2018. – С. 238-241.

¹⁰⁴ Cunha, T.M.P. A theoretical approach to dairy products from membrane processes / T.M.P. Cunha, M.H.M. Canella, I.C.S. Naas, R.D.M.C. Amboni, E.S. Prudencio // Food Science and Technology. – 2022. – 42. – <https://doi.org/10.1590/fst.12522>

она. Их высокая концентрация в тканях и крови организма нарушает водный баланс, осмотическое давление, кислотно-щелочной баланс (рН) и приводит к развитию заболеваний почек, сердца, желудочно-кишечного тракта, печени и т. д., поэтому их содержание в пищевых продуктах стоит ограничить.

Наночислительная мембрана с размером пор от 0,001 до 0,01 мкм позволяет задерживать вещества молекулярной массы от 100 до 300 Да; в НФ-пермеат переходят минеральные вещества, некоторые органические кислоты, небелковый азот и небольшое количество лактозы (около 0,07 %). Процесс наночислительной эффективен для разделения низкомолекулярных растворов¹⁰⁵, механизмы которого определяются комбинацией стерических и электростатических эффектов или принципом электронейтральности, а также химическим составом и свойствами исходного сырья, технологическими параметрами и характеристикой мембран¹⁰⁶. Производительность НФ-мембран зависит от режима работы (рециркуляция, концентрация, непрерывная диафильтрация) и свойств растворенных веществ и материала¹⁰⁷.

В случае необходимости получения пермеата с высоким уровнем деминерализации предусматривается проведение процесса электродиализа, позволяющего снизить содержание минеральных веществ за счет разделения ионов путем транспортировки через мембраны катионного и анионного обмена^{108,109}, расположенных между двумя электродами, под воздействием постоянного тока. Электрическое поле провоцирует миграцию ионов, заряженные частицы, выделяемые из растворимых солей, легко удаляются, а незаряженные, такие как лактоза и другие сахара,

¹⁰⁵ Blais, H.N. A review of multistage membrane filtration approaches for enhanced efficiency during concentration and fractionation of milk and whey / H.N. Blais, K. Schroën, J.T. Tobin // *International Journal of Dairy Technology*. – 2022. – 75. – 4. – 749–760. – <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12884>

¹⁰⁶ Дымар, О.В. Мембранные технологии в молочной промышленности: прошлое, настоящее и будущее. Часть 1. Баромембранные процессы / О.В. Дымар // *Переработка молока*. - 2023. - № 10. – С. 16-22.

¹⁰⁷ Храмов, А. Г. Технологический Прорыв аграрно-пищевых инноваций молочного дела на примере универсального сельхозсырья. Диафильтрация / А. Г. Храмов // *Аграрно-пищевые инновации*. – 2022. – № 2(18). – С. 9-25. – DOI 10.31208/2618-7353-2022-18-9-25.

¹⁰⁸ Bazinet, L. Special issue “membrane Technologies for sustainable Biofood production Lines”/ L. Bazinet // *Membranes*. – 2021. – 11. – 7. – 485. – <https://doi.org/10.3390/membranes11070485>

¹⁰⁹ Мельникова, Е. И. Сывороточные белки как источник биологически активных пептидов / Е. И. Мельникова, Е. В. Богданова // *Молочная промышленность*. – 2021. – № 3. – С. 55-56. – DOI 10.31515/1019-8946-2021-03-55-56.

остаются в растворе^{110,111}. В отличие от нанофильтрации, электродиализ не требует высокой гидростатической нагрузки на впускной раствор для индуцирования процессов массового обмена^{112,113}.

Состав и свойства сухого деминерализованного сывороточного пермеата позволяют расширить сферы его практического использования в технологиях пищевых продуктов для частичной или полной замены сахара белого, с целью возможной корректировки структуры питания населения.

1.3 Пути решения проблемы избыточного потребления сахарозы

Физиологические нормы потребления сахара белого¹¹⁴ (основной компонент сахароза - до 99,98 %), рекомендованные Министерством здравоохранения Российской Федерации¹¹⁵, должны составлять 24 кг на человека в год (включая сахаросодержащие продукты)¹¹⁶. Статистика показывает, что среднегодовое потреб-

¹¹⁰ Nielsen, E.N. Improving electro dialysis separation efficiency of minerals from acid whey by nano-filtration pre-processing / E.N. Nielsen, L.H. Skibsted, S.R. Yazdi, A. Merkel and L.M. Ahrné // *Int J Dairy Technol.* - 2022. - 75: 820-830.

¹¹¹ Merkel, A. Lactose mother Liquor stream Valorisation using an effective Electrodialytic Process / A. Merkel, M. Vavro, L. Čopák, L. Dvořák, L. Ahrné, C. Ruchti // *Membranes.* - 2022. - 13. - 1. - 29. - <https://doi.org/10.3390/membranes13010029>

¹¹² Володин, Д.Н. Эффективность деминерализации молочной сыворотки: анализ методов и оптимизация их использования / Д.Н. Володин, В.К. Топалов, И.К. Куликова [и др.] // *Молочная промышленность.* 2024. № 4. С. 50–55. <https://www.doi.org/10.21603/1019-8946-2024-4-6>

¹¹³ Дымар, О.В. Технологические аспекты переработки мелассы молочной. Часть 4. Деминерализация мелассы. Определение частных технологических особенностей / О.В. Дымар, О.Л. Сороко, И.В. Миклух [и др.] // *Молочная промышленность.* - 2019. - № 3. - С. 48-50.

¹¹⁴ Могильный, М.П. Показатели качества продуктов здорового питания / М.П. Могильный, Т.Ш. Шалтумаев, А.М. Могильный // *Новые технологии.* - 2014. - №1. - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/pokazateli-kachestva-produktov-zdorovogo-pitaniya>.

¹¹⁵ Приказ Министерства Здравоохранения Российской Федерации №614 от 19.08.2016 г. Об утверждении Рекомендаций по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания // https://static-0.minzdrav.gov.ru/system/attachments/attaches/000/032/267/original/Приказ_Минздрава_России_от_19.08.2016_№_61_0.pdf?1472214560

¹¹⁶ МР 2.3.1.0253-21. 2.3.1. Гигиена питания. Рациональное питание. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. Методические рекомендации"

ление сахара россиянами значительно выше и составляет 39 кг¹¹⁷ на человека в том числе в пересчете на чистый сахар белый: 4,4 кг кондитерских изделий; 5,6 кг конфет и шоколада; 2,2 кг повидла, варенья и джемов; около 1 кг мёда.

В 2022 году в мире насчитывалось 8,75 млн человек (+ 530 тыс. чел.) с сахарным диабетом (СД) 1 типа (рисунок 1.13)¹¹⁸, по прогнозам, к 2045 году этим заболеванием будут страдать 783 млн человек^{119,120}. Диабет 2 типа широко распространен и с каждым годом растет во всех регионах.

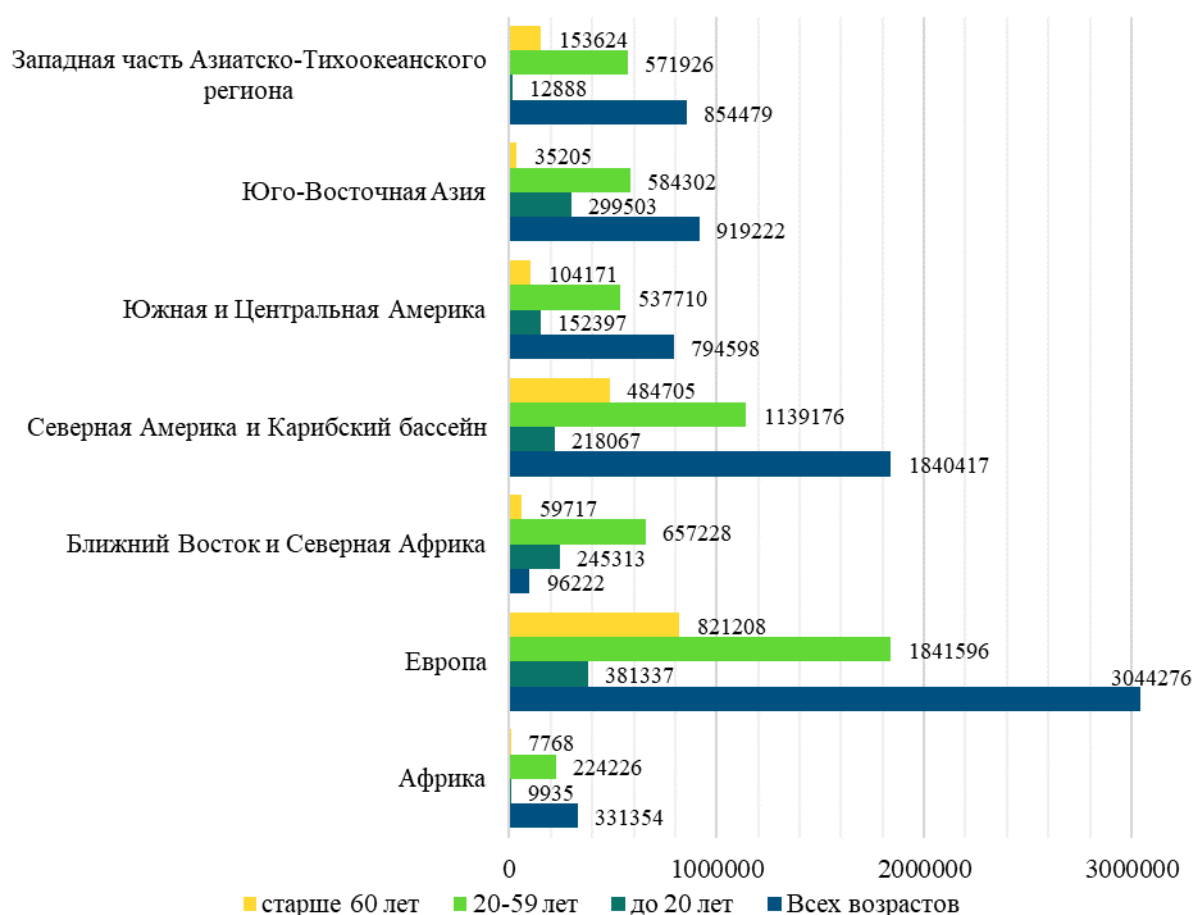


Рисунок 1.13 - Количество людей с диабетом 1 типа в каждом регионе IDF, по возрасту, 2022 г.

(утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 22.07.2021) [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://www.rosпотреbnadzor.ru/documents/details.php?ELEMENT_ID=18979.

¹¹⁷ Потребление основных продуктов питания населением Российской Федерации [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13278>

¹¹⁸ Ogle, G.D. Type 1 diabetes estimates in children and adults / G.D. Ogle, F. Wang, G.A. Gregory, J. Maniam // IDF Diabetes Atlas, - 2022. - URL: <https://diabetesatlas.org/atlas/t1d-index-2022/>

¹¹⁹ International Diabetes Federation. IDF Diabetes Atlas, 10th edn. Brussels, Belgium: 2021. [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.diabetesatlas.org>

¹²⁰ Harding, J.L. The incidence of Adult-onset Type 1 Diabetes: A systematic Review from 32 countries and Regions / J.L. Harding, P.L. Wander, X. Zhang, X. Li, S. Karuranga, H. Chen, H. Sun, Y. Xie, R.A. Oram, D.J. Magliano, Z. Zhou, A.J. Jenkins, R.C.W. Ma // Diabetes Care. - 2022. - 45. - 4. - 994-1006. - <https://doi.org/10.2337/dc21-1752>

Общая численность пациентов с сахарным диабетом в РФ¹²¹, состоящих на диспансерном учете, на 01.01.2024 г., по данным Федерального регистра больных сахарным диабетом¹²², составила более 5,2 млн. чел. (3,56 % населения РФ), из них: СД1 — 290 700 чел., СД2 — 4 805 659 чел., другие типы СД — более 103 тыс. Согласно сведениям НМИЦ эндокринологии, реальный показатель больных СД составляет более 10 млн человек, а к 2030 г. увеличится до 14 млн¹²³. Нездоровая пища в рационе и малоподвижный образ жизни спровоцировали серьезные проблемы ожирения у детей и молодежи. По данным Всемирной организации здравоохранения опыт пандемии COVID – 19 привёл к тому, что сегодня более 55 % взрослого населения России и около 10 % детей страдают от избыточного веса и ожирения¹²⁴, что вызвано различными социально-экономическими факторами, включая культуру питания, образ жизни, генетику и диетические модели.

Такая ситуация спровоцировала создание в 2023 году Федерального проекта «Борьба с сахарным диабетом» Минздрава России, одной из целей которого является снижение факторов риска заболевания, в том числе посредством популяризации правильного и здорового питания¹²⁵. Известно, что чрезмерное потребление свободных сахаров (моносахаридов и дисахаридов) с высоким гликемическим индексом (ГИ) приводит к развитию алиментарно-зависимых заболеваний (диабет, ожирение, сердечно-сосудистые заболевания, заболевания печени и почек) и, как следствие, сокращению продолжительности жизни, поэтому рекомендуется сократить их содержание до 10 % от общей калорийности суточного рациона^{126,127}.

¹²¹ Дедов, И.И. Динамика клинико-эпидемиологических показателей сахарного диабета в Российской Федерации в 2018-2022 гг / И.И. Дедов, М.В. Шестакова, О.К. Викулова, А.В. Железнякова, М.А. Исаков, Д.В. Сазонова, Н.Г. Мокрышева // Персонализированная медицина и практическое здравоохранение: сборник тезисов X (XXIX) Национального конгресса эндокринологов с международным участием, Москва, 23–26 мая 2023 года. – Москва: Б. и., 2023. – С. 20-21. – DOI 10.14341/Cong23-26.05.20-21. – EDN UGXQQY.

¹²² Профессиональный всероссийский ресурс по нозологиям диабета под эгидой Эндокринологического Научного Центра [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://sd.diaregistry.ru/content/o-proekte.html#content>

¹²³ Здравоохранение в России. 2023: Стат.сб./Росстат. - М., - 2023. – 179 с.

¹²⁴ WHO European Regional Obesity Report. - 2022. [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.who.int/europe/publications/i/item/9789289057738>

¹²⁵ Hruby, A., Ma, J., Rogers, G., Meigs, J.B., Jacques, P.F., 2017. Associations of dairy intake with incident prediabetes or diabetes in middle-aged adults vary by both dairy type and glycemic status. *J. Nutr.* 147 (9), 1764–1775.

¹²⁶ World Health Organization, Guideline: Sugars Intake for Adults and Children, World Health Organization, Geneva, - 2015 [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241549028>

¹²⁷ Жаббарова, С.К. Влияние сахарозаменителей и подсластителей на безвредность кондитерских изделий // *Universum: технические науки.* - 2019. - №2 (59). - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-saharozameniteley-i-podslastiteley-na-bezvrednost-konditerskih-izdelyiy>.

Углеводы характеризуются специфическим значением гликемического индекса (ГИ), который определяется уровнем гликемии по отношению к глюкозе в крови после их потребления человеком. Показатель обуславливает продолжительность насыщения, частоту и объем приема пищи, нагрузку на поджелудочную железу из-за необходимости вырабатывать инсулин, а также регуляцию массы тела¹²⁸. По значению гликемического индекса углеводы классифицируются на три группы: низкий (ГИ 55 или менее), средний (ГИ 56-69) и высокий (ГИ 70 или более). Гликемический индекс – 100, представляет собой стандартное, эквивалентное чистой глюкозе значение¹²⁹. Углеводы с высоким гликемическим индексом (сахароза, ГИ 65; глюкоза, ГИ 100; мальтодекстрины, ГИ 103; мальтоза, ГИ 105) повышают уровень глюкозы в крови, который снижается только при активных физических упражнениях. Для их усвоения требуется выработка значительного количества инсулина. Инсулиновая реакция не возникает в организме человека после потребления углеводов с гликемическим индексом менее 55^{130,131}. Гликемический индекс сухих молочных ингредиентов (сухое обезжиренное молоко - ГИ 45, сухое цельное молоко - ГИ 32, сухая молочная сыворотка - ГИ 43, сухой пермеат - ГИ 41) ниже, чем у сахара белого, на 10-30 %, а калорийность - на 29-39 ккал, что связано со спецификой лактозы, их основного компонента, который характеризуется низким гликемическим индексом и коэффициентом сладости 0,38 по отношению к сахарозе¹³².

Нутрициологи рекомендуют включать в рацион пищевые продукты с низким гликемическим индексом, на основе ингредиентов модифицированного углеводов

¹²⁸ Augustin, L.S.A. Glycemic index, glycemic load and glycemic response: an International scientific Consensus summit from the international Carbohydrate quality Consortium (ICQC) / L.S.A. Augustin, C.W.C. Kendall, D.J.A. Jenkins, W.C. Willett, A. Astrup, A.W. Barclay, I. Björck, J.C. Brand-Miller, F. Brighenti, A.E. Buyken, A. Ceriello, C. La Vecchia, G. Livesey, S. Liu, G. Riccardi, S.W. Rizkalla, J.L. Sievenpiper, A. Trichopoulou, T.M.S. Wolever, S. Baer-Sinnott, A. Poli // Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases. – 2015. – 25. – 9. – 795–815. – <https://doi.org/10.1016/j.numecd.2015.05.005>

¹²⁹ Marcel, P Lactose: Evolutionary Role, Health Effects and Applications / Paques, Marcel & Lindner, Cordula. – 2019. – Elsevier Inc. - с. 71. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811720-0.00005-2>

¹³⁰ Atkinson, F.S. International tables of glycemic Index and glycemic Load Values: 2008 / F.S. Atkinson, K. Foster-Powell, J.C. Brand-Miller // Diabetes Care. – 2008. – 31. – 12. – 2281–2283. – <https://doi.org/10.2337/dc08-1239>

¹³¹ Liu, S. A prospective study of dietary glycemic load, carbohydrate intake, and risk of coronary heart disease in US women / S. Liu, W.C. Willett, M.J. Stampfer, F.B. Hu, M. Franz, L. Sampson, C.H. Hennekens, J.A.E. Manson // The American Journal of Clinical Nutrition. – 2000. – 71. – 6. – 1455–1461. – <https://doi.org/10.1093/ajcn/71.6.1455>

¹³² Храмов, А.Г. Технологический прорыв молочной отрасли АПК России на примере универсального сельхозсырья. Монография / А.Г. Храмов – СПб: Профессия, 2023. – 218 с, ил., табл. (с. 47)

ного профиля^{133,134}, способствующих улучшению метаболизма и снижению риска развития определенных заболеваний¹³⁵, но в технологическом плане исключение сахара белого как компонента рецептур пищевых продуктов является сложной задачей¹³⁶, так как он влияет на формирование необходимых структурно-механических свойств готового продукта¹³⁷. Однако, состав и свойства сухого деминерализованного сывороточного пермеата позволяют расширить сферы его практического использования в технологиях пищевых продуктов для частичной или полной замены сахара белого, с целью возможной корректировки структуры питания населения.

¹³³ Тихомирова, Н. А. Состояние и перспективы рынка специализированной низколактозной продукции / Н. А. Тихомирова, Н. Б. Тъау // Вестник Государственного социально-гуманитарного университета. – 2021. – № 4(44). – С. 60-67.

¹³⁴ Шарафетдинов, Х.Х. Специализированные пищевые продукты с модифицированным углеводным профилем в коррекции метаболических нарушений при сахарном диабете 2 типа / Х.Х. Шарафетдинов, О.А. Плотникова, А.М. Назарова, О.В. Кондратьева // Вопросы питания. – 2017. – №6. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/spetsializirovannye-pischevye-produkty-s-modifitsirovannym-uglevodnym-profilem-v-korreksii-metabolicheskikh-narusheniy-pri-saharnom>.

¹³⁵ Lovegrove, J.A. Dairy food products: good or bad for cardiometabolic disease? / J.A. Lovegrove, D.I. Givens // Nutrition Research Reviews. – 2016. – 29. – 2. – 249–267. – <https://doi.org/10.1017/S0954422416000160>

¹³⁶ Soedamah-Muthu, S.S. Dairy consumption and cardiometabolic Diseases: systematic Review and updated Meta-analyses of prospective Cohort Studies / S.S. Soedamah-Muthu, J. de Goede // Current Nutrition Reports. – 2018. – 7. – 4. – 171–182. – <https://doi.org/10.1007/s13668-018-0253-y>

¹³⁷ Резниченко, И. Ю. Сахарозаменители и подсластители в технологии кондитерских изделий / И. Ю. Резниченко, М. С. Щеглов // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – Т. 50, No 4. – С. 576–587. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-576-587>.

1.4 Заключение по первой главе

Движущей силой устойчивого роста молочного сектора являются предпочтения потребителей, которые сегодня все чаще делают выбор в пользу продуктов функциональной направленности.

Стратегический вектор организации производства меняется в сторону фракционирования и выделения отдельных компонентов сухих веществ молока и молочной сыворотки с целью получения широкого ассортимента функционально-технологических ингредиентов с высокой надбавленной стоимостью, в том числе сухих пермеатов, востребованных различными отраслями. Такой технологический подход позволяет рационально использовать исходные сырьевые ресурсы и выпускать новые продукты, позволяющие восполнить дефицит необходимых веществ, скорректировать работу иммунной системы и повысить неспецифическую устойчивость организма человека к неблагоприятным условиям окружающей среды.

Сухой сывороточный пермеат является рецептурным компонентом в технологиях различных ассортиментных групп продуктов, но основным ограничивающим фактором его применения является высокое содержание минеральных веществ.

Анализ химического состава и свойств молочной сыворотки подтверждает возможность использования подсырной сыворотки в качестве сырья для получения сухого деминерализованного сывороточного пермета, функционально-технологические свойства которого позволяют расширить его применение в хлебопекарном (печенье, хлеб, вафли, бисквит, кексы и т.д.), кондитерском (карамель, нуга, конфеты, шоколад, глазурь и т.д.), молочном (мороженое, йогурты, консервы и т.д.) производствах, в том числе с целью замены сахарозы, характеризующейся высоким гликемическим индексом, избыточное потребление которой является серьезной проблемой.

Глава 2. Методы и методики экспериментальных исследований

2.1 Схема проведения эксперимента

Общая схема поэтапного выполнения экспериментальных и исследовательских работ представлена на рисунке 2.1.

На 1 этапе выполнения исследований по теме диссертационной работы был проведен патентно-информационный поиск и анализ текущего состояния вопроса в российских и зарубежных источниках, периодических отраслевых журналах, электронно-библиотечных систем, фондов, научных и патентных баз данных (ЭБС «Университетская библиотека онлайн», ЭБС «ЮРАЙТ», ЭБС «Лань», ФГИС «Национальная электронная библиотека», «ФИПС», НЭБ «Elibrary», «Scopus», «ResearchGate», «Academia» и др.), по результатам которого были определены цель, сформулированы задачи, подобраны методы и методики для их выполнения, установлены объекты исследования.

Анализ глобального рынка молочной сыворотки и сухих ингредиентов на ее основе позволил выбрать наиболее качественные контрольные образцы для разрабатываемого продукта - сухого деминерализованного сывороточного пермеата.

На 2 этапе были осуществлены обоснования способа производства и рациональных режимов сухого деминерализованного сывороточного пермеата: установлен минеральный профиль, степень деминерализации и эффективность последовательного применения методов ультрафильтрации, нанофильтрации и электродиализа, определены химический состав, физико-химические свойства и микробиологические показатели экспериментальных образцов.



Рисунок 2.1 - Общая схема проведения исследований

На 3 этапе проведено исследование химического состава, физико-химических, реологических и микробиологических свойств и гранулометрического состава образца сухого деминерализованного сывороточного пермеата. Изуче-

ны термодинамические характеристики и соотношение свободной и связанной влаги для оценки возможности применения сухого деминерализованного сывороточного пермеата в технологиях производства пищевых продуктов с целью замены сахарозы.

На 4 этапе утверждены комплект документов ТУ 10.51.55-030-00426012-2019 «Продукт сывороточный сухой (пермеат)» и техническая инструкция. Выполненные исследования позволили апробировать и внедрить технологию сухого деминерализованного сывороточного пермеата в условиях филиала ПАО Молочный комбинат «Воронежский» «Калачеевский сырзавод» (г. Калач Воронежской области), что подтверждает экономическую и технологическую целесообразность предложенных решений.

Предложены рецептурно-компонентные решения производства мармелада и мороженого с полной заменой сахара белого сухим деминерализованным сывороточным пермеатом. Установлены физико-химические свойства готовых продуктов, доказано позитивное влияние на структурно-механические и органолептические свойства.

Объектами исследований, на различных этапах работы, в соответствии с целью и задачами выбраны:

- сывороточные пермеаты, полученные после ультрафильтрации, нанофильтрации, электродиализа, сгущения на вакуум-выпарной установке (ВВУ) и распылительной сушки;

- молоко сухое обезжиренное с массовой долей жира не более 1,5 % и молоко сухое цельное с массовой долей жира не менее 26,0 %, произведённое в соответствии с ГОСТ 33629-2015;

- сыворотка молочная деминерализованная сухая (ГОСТ Р 56833-2015);

- сахар белый кристаллический свекловичный изготовленный по ГОСТ 33222-2015;

- сахар молочный (ГОСТ 33567-2015).

А также, полученные с добавлением сухого деминерализованного сывороточного пермеата, продукты (мармелад, мороженое).

Сырье и ингредиенты, используемые в экспериментальных исследованиях, по органолептическим, физико-химическим и микробиологическим показателям и характеристикам соответствовали требованиям ТР ТС 033/2013, 021/2011 и 029/2012.

2.2 Методы экспериментальных исследований

Экспериментальные исследования проводились в соответствии с арбитражными и общепринятыми в исследовательской практике методами (таблица 2.1). Отбор проб объектов исследования и подготовку их к анализу проводили в соответствии с ГОСТ 26809.1-2014 «Молоко и молочная продукция. Правила приемки, методы отбора и подготовка проб к анализу. Часть 1. Молоко, молочные, молочные составные и молокосодержащие продукты», ГОСТ 32901-2014 «Молоко и молочная продукция. Методы микробиологического анализа», ГОСТ 26929-94 «Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения содержания токсичных элементов», ГОСТ 33957-2016 «Сыворотка молочная и напитки на ее основе. Правила приемки, отбор проб и методы контроля», ГОСТ 15113.0-77 «Концентраты пищевые. Правила приемки, отбор и подготовка проб».

Исследования выполняли в научно-исследовательских лабораториях и испытательных центрах: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»; «МОЛОКО» ФГАНУ «ВНИМИ»; центр коллективного пользования «Контроль и управление энергоэффективных проектов» ФГБОУ ВО ВГУИТ; Федеральное бюджетное учреждение «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в г. Санкт-Петербурге и Ленинградской области» (ФБУ «Тест-С.-Петербург»); Федеральное бюджетное учреждение «Государственный региональный центр стандартизации метрологии и ис-

пытаний в г. Москве и Московской области» (ФБУ «Ростест-Москва»); филиал ФГБУ «Центр оценки качества зерна» по г. Москве и Московской области; «Воронежская областная ветеринарная лаборатория»; ПАО Молочный комбинат «Воронежский»; филиал ПАО МКВ «Калачеевский сырзавод»; центр прикладных исследований ПАО МКВ.

Таблица 2.1 – Методы и методики экспериментальных исследований

Наименование показателя	Способ	Погрешность, (\pm неопределенность)	Источник, нормативная документация
1	2	3	4
Массовая доля влаги, %	Высушивание в сушильном шкафу до равновесной влажности	$\pm 0,3$ $\pm 0,8$ $\pm 0,4$	ГОСТ Р 54668-2011, ГОСТ 29246-91, ГОСТ 5900-2014
Массовая доля сухих веществ, %	Измерение показателя преломления	$\pm 0,22$	ГОСТ 33957-2016
Массовая доля общего белка, %	Метод Кьельдаля	$\pm 0,06$	ГОСТ 23327-98
		$\pm 0,22$	ГОСТ 34454-2018
Массовая доля лактозы, %	Метод поляриметрии	$\pm 0,8$	ГОСТ Р 56833-2015 Приложение В
	Метод высокоэффективной жидкостной хроматографии	$\pm 12,0$ % относ.	ГОСТ Р 54760-2011
Массовая доля сахарозы, %	Йодометрический метод	$\pm 0,5$	ГОСТ Р 54667-2011
Массовая доля редуцирующих веществ, %		$\pm 1,0$	ГОСТ 5903-89
Массовая доля общей сернистой кислоты, %		$\pm 18,0$ % относ.	ГОСТ 26811-2014
Массовая доля жира, %	Кислотный метод	$\pm 0,02$	ГОСТ 5867-90
		$\pm 0,5$	ГОСТ 29247-91
Массовая доля золы, %	Метод минерализации навески	$\pm 0,04$	ГОСТ Р 56833-2015, ГОСТ 15113.8-77, ГОСТ 5901-2014
		$\pm 0,007$	
Титруемая кислотность, °Т, град	Титриметрический метод	$\pm 1,5$	ГОСТ 3624-92, ГОСТ 30305.3-95
		$\pm 1,9$	ГОСТ 33957-2016
		$\pm 2,5$	ГОСТ 5898—2022
Активная кислотность, ед. рН	Потенциометрический метод	$\pm 0,02$	ГОСТ 32892-2014

1	2	3	4
Содержание хлоридов, мг/100 г	Потенциометрическое титрование	$\pm 0,06$	ГОСТ Р 54045-2010 (ISO 5943:2006, MOD)
Содержание кальция, мг/100 г	Спектрометрический метод атомной абсорбции	$\pm 0,08$	ГОСТ ИСО 8070/IDF 119-2014
	Титриметрический метод	$\pm 0,50$	ГОСТ Р 55331-2012
Содержание общего фосфора, мг/100 г	Спектрометрический метод	$\pm 0,12$	ГОСТ 31980-2012
Содержание натрия, мг/100 г	Спектрометрический метод атомной абсорбции	$\pm 0,13$	ГОСТ ИСО 8070/IDF 119-2014
	Метод атомно-абсорбционной спектроскопии	$\pm 15,0$ % относ.	ГОСТ EN 15505-2013
Содержание калия, мг/100 г	Спектрометрический метод атомной абсорбции	$\pm 12,0$ % относ.	ГОСТ ИСО 8070/IDF 119-2014
Содержание железа, мг/кг	Атомно-абсорбционный метод	$\pm 15,0$ % относ.	ГОСТ 30178-96
Содержание магния, мг/кг	Спектрометрический метод атомной абсорбции	$\pm 0,08$	ГОСТ ИСО 8070/IDF 119-2014,
Содержание меди, мг/кг	Атомно-абсорбционный метод	$\pm 25,0$ % относ.	ГОСТ 30178-96
Плотность, г/см ³	Ареометрический метод	$\pm 0,5$	ГОСТ 3625-84
	Измерение объема жидкости, вытесненной изделием, погруженным в жидкость на приборе Сосновского	$\pm 0,2$ % относ.	ГОСТ 5902-80
Объемная насыпная плотность, г/см ³	Установка для измерения насыпной плотности с компонентами	$\pm 7,8$ % относ.	ГОСТ Р ИСО 8967-2010, ГОСТ Р 51462-99
Рыхлая насыпная плотность, г/см ³			
Насыпная плотность, г/см ³			
Показатель термообработки	Осаждение белка в пробе с последующим определением содержания азота по методу Кьельдаля	-	СТБ ISO 6735-2011
Пригорелые частицы (диск)	Визуальная оценка осадка на фильтре	-	ГОСТ Р 51465-99
Диспергируемость, %	Фильтрация через сито с последующим определением общего содержания твердого вещества	$\pm 4,0$ % относ.	ISO/TS 17758:2014
Смачиваемость, %	Определение процента смачиваемости продукта по истечении фиксированного времени (60 сек)	-	
Чистота (группа)	Фильтрация восстановленного продукта	-	ГОСТ 29245-91
Взбитость мороженого, %	Измерение масс фиксированного объема смеси с последующим расчетом степени взбитости	$\pm 10,0$ % относ.	ГОСТ 31457-2012

1	2	3	4
Содержание антиоксидантов, мг/г	Метод высокоэффективной жидкостной хроматографии, хроматограф «Цвет Яуза-01-АА»	-	Методология определения антиоксидантной активности ¹³⁸
Титр бактериофага	Метод разведения бактериофага с последующей инкубацией	-	по методу Ашпельмана ¹³⁹
КМАФАнМ, КОЕ/см ³ (г)	Посев на среду с МПА	-	ГОСТ 32901-2014
Дрожжи, КОЕ/см ³ (г)	Посев на среду Сабуро	-	ГОСТ 10444.12-2013
Споровые палочки рода Bacillus	Посев на среду МУР агар	-	ГОСТ 10444.12-2013

Специальные методы исследований

Анализ гранулометрического состава сухого деминерализованного сывороточного пермеата проводили в соответствии с ISO 13320:2020 «Гранулометрический анализ. Методы лазерной дифракции» на приборе Beckman Coulter, согласно справочному руководству оператора, в испытательной лаборатории «МОЛОКО» ФГАНУ «ВНИМИ». Принцип работы прибора основан на методах лазерной дифракционной спектроскопии, по Фраунгоферу и Ми, в сочетании с регистрацией дифференциальной интенсивности поляризованного света (PIDS). По теории светорассеяния регистрируют геометрические размеры частиц анализируемого объекта, формирующих индикатрису рассеяния (фазовую функцию), соответствующую установленным данным об угловой зависимости интенсивности рассеянного света. Прибор способен анализировать вертикально и горизонтально поляризованный свет под 6 углами при 3 дополнительных длинах волн, при этом диапазон измерений частиц составляет от 0,017 до 2000 мкм. Дифракция осуществляется лазерным диодом, длина волны которого составляет 785 нм, а PIDS - лампой накаливания с полосовыми фильтрами (475, 613 и 900 нм).

¹³⁸ Яшин, А.Я. Новый прибор для определения антиоксидантов в лекарственных препаратах, биологически активных добавках, пищевых продуктах и напитках Цвет Яуза-01-АА / А.Я. Яшин, Я. И. Яшин, Н.И. Черноусова, В.П. Пахомов // М.: НПО «Химвавтоматика», – 2005. – 100 с.

¹³⁹ Асланов, Б.И. Рациональное применение бактериофагов в лечебной и противоэпидемической практике / Б.И. Асланов, Л.П. Зуева, О.Е. Пунченко, Л.А Кафтырева, В.Г. Акимкин, А.А. Долгий, Е.Б. Брусина // Методические рекомендации. - Москва, 2022. – 32 с.

Процесс смачивания и растворения сухих ингредиентов изучали с помощью иммерсионной микроскопии (Микроскоп Альтами БИО 1, адаптер для камеры Canon) с 200-кратным увеличением препаратов, подготовленных по методу «раздавленная капля». Образец помещали на предметное стекло, накрывали покровным стеклом и фиксировали на предметном столике микроскопа. Электронное изображение препарата было получено и обработано с помощью адаптера цифровой камеры и программного обеспечения AltamiBio.

Поскольку основным фактором, определяющим способность к смачиванию, является поверхностное натяжение на границе между сухой частицей и водой, был измерен **краевой угол смачивания** для лактозосодержащих ингредиентов. Этот показатель характеризует смачивание порошка каплей воды, преодолевающей поверхностное натяжение между твердой и газовой фазами. Краевой угол смачивания определяли следующим образом: по твердой поверхности равномерным слоем распределяли исследуемый образец, таким образом, чтобы влияние силы тяжести на растекание капли было пренебрежимо мало. Для этого каплю воды размером 0,1 мкл помещали на подготовленную поверхность с помощью микрошприца. Дозирующее устройство устанавливали способом, чтобы капля могла растечься и прийти в равновесное состояние с поверхностью. Измерения производили с помощью гониометра^{140,141}.

Для определения **индекса растворимости** (количество осадка в см³) сыпучих ингредиентов 6 г сухого образца размешивали в течение 90 с в 100 см³ воды при $t = 24$ °С, выдерживали 15 мин, затем перемешивали шпателем и проводили центрифугирование в течение 5 мин в конической центрифужной пробирке с

¹⁴⁰ Солодов, В.С. Методика определения краевого угла смачивания для веществ с низкой температурой кристаллизации / В.С. Солодов, А.В. Папин, В.И. Косинцев, А.И. Сечин, Е.А. Макаревич // Вестник КузГТУ. 2013. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-opredeleniya-kraevogo-ugla-smachivaniya-dlya-veschestv-s-nizkoy-temperaturoy-kristallizatsii>.

¹⁴¹ Киселев, М. Г. Определение краевого угла смачивания на плоских поверхностях / М.Г. Киселев, В.В. Савич, Т.П. Павич // Наука и техника. 2006. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-kraevogo-ugla-smachivaniya-na-ploskih-poverhnostyah>.

последующим измерением объема нерастворившегося осадка в восстановленной пробе¹⁴².

Общее количество свободных сульфгидрильных групп определяли в присутствии 60 % раствора метанола в качестве осадителя. Смешивали 1-2 см³ предварительно подготовленного образца, 2-3 см³ трис-ацетат-ЭДТА буфера и 5,9 см³ метанола (деаэрированного N₂), доводили до рН 8,2 и добавляли 0,1 см³ раствора DTNB, выдерживали 10 минут. Затем пробу центрифугировали в течение 15 мин фильтровали и измеряли оптическую плотность при 412 нм и 540 нм через 1,25 ч после добавления DTNB. Для коррекции мутности строили стандартную кривую¹⁴³.

Для измерения содержания активных сульфгидрильных групп 2 см³ исследуемого образца и 7,9 см³ буфера доводили до рН 8,2, затем добавляли 0,1 см³ раствора DTNB и выдерживали 20 мин. Пробу центрифугировали в течение 30 мин, фильтровали и определяли оптическую плотность с корректировкой мутности.

Содержание аномерных форм лактозы в образцах определяли с помощью поляриметра KRUSS P1000-LED (Германия) методом поляриметрии, основанным на установлении значения удельного угла вращения оптически активных α - и β – форм раствора лактозы. Известно, что удельный угол вращения α – формы составляет +92,6°, а β – формы – +32,5°, по его значению рассчитывали долю аномеров в растворе¹⁴⁴.

Исследования форм связи влаги и процесса термического разложения в сухом деминерализованном сывороточном пермеате, сухом обезжиренном молоке, сухом цельном молоке, сухой сыворотке молочной деминерализованной, лактозе и сахаре белом определяли методами дифференциального термического анализа (ДТА) и термогравиметрии (ТГ). Эксперименты проводились на приборе

¹⁴² ГОСТ Р ИСО 8156-2010. Молоко сухое и сухие молочные продукты. Определение индекса растворимости. – М.: Стандартинформ, 2011. – 7 с.

¹⁴³ Taylor, M.J. Antioxidant activity of skim milk: effect of heat and resultant sulfhydryl groups / M.J. Taylor, T. Richardson // J. of Dairy Science, – 1980. – 63 (11). – 1783–1795.

¹⁴⁴ Тёпел, А. Химия и физика молока [Текст]: / А. Тёпел; пер. с нем. под ред. С. А. Фильчаковой. - Санкт-Петербург: Изд-во Профессия, - 2012. – 831 с.

синхронного термического анализа модели STA 449 F3 Jupiter (Германия); температура нагрева варьировалась от 26 до 320 °С со скоростью 5 К/мин в окисленных алюминиевых тиглях; продувочный газ - азот с расходом 60 см³/мин. Калибровочные вещества (C₁₀H₁₆, C₁₂H₁₀, In, Bi, Zn) предварительно измеряли в карбидно-кремниевой печи типа S со скоростью нагрева 5 К/мин в окисленных алюминиевых тиглях для калибровки температуры и чувствительности прибора; продувочный газ - азот с расходом 60 см³/мин. Полученные значения температуры и энтальпии были использованы для расчета и построения градуировочных графиков с помощью программ Temperature Calibration и Sensitivity Calibration. Измерения температуры и потери веса при дегидратации и разложении образцов определяли методами ДСК и ТГ. Полученные данные были обработаны с использованием компьютерного программного обеспечения NETZSCH Proteus и MS Excel для построения производных кривых dДСК и dТГ. Степень конверсии α для каждого образца рассчитывали как отношение массы в определенный момент времени t к общему изменению массы в конце процесса по данным кривой ТГ.

Содержание 5-гидроксиметилфурфузола определяли фотометрическим методом Винклера с использованием спектрофотометра ПЭ-5400УФ (Россия). Абсорбционную способность образцов измеряли на длине волны 550 нм в оптических ячейках с рабочей длиной 30 мм. Содержание 5-гидроксиметилфурфузола (ГМФ), мг/кг, рассчитывали по уравнению (2.1):

$$\text{ГМФ} = \frac{192 \cdot \text{поглощение}}{\text{толщина кюветы (см)}} \quad (2.1)$$

где, 192 - коэффициент разбавления.

Индекс потемнения рассчитывали как разницу между двумя значениями поглощения надосадочной жидкости (при 420 и 600 нм) после осаждения и центрифугирования образцов¹⁴⁵.

¹⁴⁵ Coklar, H. The control of Maillard reaction in white grape molasses by the method of reducing reactant concentration / H. Coklar and M. Akbulut // Food Science and Technology, vol. 40, Supplement 1, pp. 179–189, 2020. DOI: 10.1590/fst.07119

2.3 Обработка результатов экспериментов

Экспериментальные исследования каждого образца проводили 3-5 раз в тройной последовательности. Расчеты, графическая интерпретация и обработка данных проводились с помощью пакета прикладных программ Microsoft Office для дома и учебы 2021 для Mac, SPSS Statistics 20 for Mac. Нормальное распределение непрерывных переменных определяли с помощью критерия Шапиро-Уилка. Данные были выражены как среднее \pm стандартное отклонение и медиана (минимальное значение \sim максимальное значение) для нормально и ненормально распределенных данных соответственно. Для определения использовалось значение P , которое было меньше или равно 0,05, при условии, что полученные результаты были значимыми. Ограничениями экспериментальных исследований были ошибки и неопределенность используемых методов анализа; этот факт повлиял на представленные результаты^{146,147,148}.

¹⁴⁶ Голдобин, Ю.М. Инженерный эксперимент : учебное пособие / Ю. М. Голдобин, Е. Ю. Павлюк ; Министерство науки и высшего образования РФ. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2022. — 95 с. ISBN 978-5-7996-3592-3

¹⁴⁷ Медведев, П.В. Научные исследования: учебное пособие / П.В. Медведев, В.А. Федотов, Г.А. Сидоренко; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ООО ИПК «Университет», 2017. – 99 с.

¹⁴⁸ Мяслицин, А.В. Методика планирования экспериментов и обработки их результатов при исследовании технологических процессов в деревообрабатывающей промышленности : учебно-методическое пособие / А. В. Мяслицин ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации ; Уральский государственный лесотехнический университет. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2023. – 76 с. ISBN 978-5-94984-877-7

Глава 3. Совершенствование технологии производства сывороточного пермеата

3.1 Анализ состава и свойств сухого сывороточного пермеата

Принимая во внимание, что развитие индустрии функциональных продуктов питания способствует росту производства молочных сывороточных ингредиентов и постоянному расширению области их применения сформирован комплекс требований (таблица 3.1), который сдерживает применение сухого сывороточного пермеата в пищевом производстве.

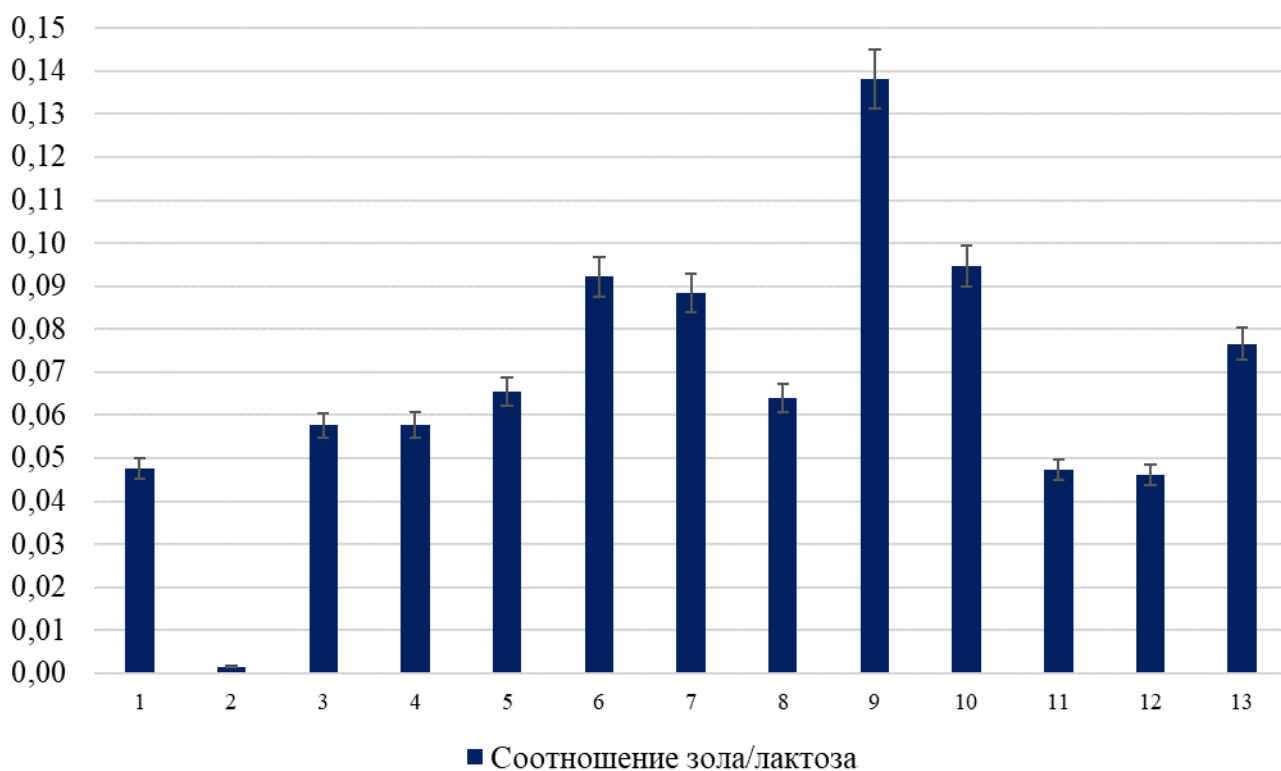
Таблица 3.1 – Рекомендации по совершенствованию технологии сухого сывороточного пермеата

Показатели	Недостатки сухого сывороточного пермеата, выработанного по традиционной технологии	Технологические операции позволяющие провести корректировку	Преимущества предложенной технологии
Органолептические	Соленый вкус	Двухстадийный процесс деминерализации: нанофльтрация, электродиализ	Отсутствие соленого вкуса в готовом продукте; Сладковатый привкус
Физико-химические	М.д. золы 6,5-12,0 %; Высокое содержание натрия, хлора; Низкое содержание лактозы		М.д. золы менее 1,0 %; Содержание лактозы не менее 85 %
Функционально-технологические	Индекс растворимости; Смачиваемость; Насыпная плотность; Группа чистоты	ВВУ, Режимы сушки	Повышение индекса растворимости; смачиваемости
Микробиологические	Высокая обсемененность	Микрофльтрация, электродиализ	Улучшение микробиологических показателей

По результатам анализа основных физико-химических показателей, наиболее востребованных коммерчески доступных образцов сухого сывороточного пермеата отечественных и зарубежных компаний (таблица 3.2), установлено, что оптимальное соотношение «зола/лактоза» в сухом сывороточном пермеате, позволяющее расширить возможность его использования в технологиях пищевых продуктов, находится в пределах до 0,01 (рисунок 3.1).

Таблица 3.2 – Физико-химические показатели образцов сухих пермеатов

Наименование образца	Массовая доля лактозы, %	Массовая доля золы, %	Массовая доля белка, %	Массовая доля влаги, %	Насыпная плотность, г/см ³
Сухой сывороточный пермеат, ПАО МК «Воронежский», Россия	85,4-88,4	3,07-6,25	2,31-6,55	1,2-2,9	0,73-0,86
Сывороточный пермеат деминерализованный УД-90 %, Euro-segum, Франция	96,6±0,8	0,15±0,04	0,86±0,22	2,3±0,8	0,86±0,07
Сывороточный пермеат деминерализованный УД-40 %, Ostrowia, Польша	90,8±0,8	5,23±0,04	1,68±0,22	1,8±0,8	0,86±0,07
Сухая молочная сыворотка, пермеат, Mlekorol, Польша	89,3±0,8	5,16±0,04	2,15±0,22	1,6±0,8	0,83±0,07
Сыворотка молочная сухая (сывороточный пермеат), Argeniac Argalac, Аргентина	71,4±0,8	4,67±0,04	12,19±0,22	3,0±0,8	0,71±0,07
Сывороточный пермеат, Pacific Ark, Inc, США	78,9±0,8	7,28±0,04	3,57±0,22	2,8±0,8	0,73±0,07
Сывороточный пермеат Lactowell, Lactalis Ingredients, Франция	81,5±0,8	7,21±0,04	3,97±0,22	1,6±0,8	0,86±0,07
Сухой молочный пермеат, Cremo, Швейцария	71,7±0,8	4,59±0,04	12,12±0,22	2,8±0,8	0,71±0,07
Сывороточный пермеат Navero Hoogwegt B.V., Нидерланды	69,6±0,8	9,62±0,04	5,44±0,22	4,0±0,8	0,80±0,07
Сухой молочный пермеат, Agrorum Ingredients, США	82,2±0,8	7,79±0,04	2,97±0,22	1,8±0,8	0,83±0,07
Пермеат сухой сывороточный, ОАО «Савушкин продукт», Республика Беларусь	87,84±0,8	4,16±0,04	1,45±0,22	2,4±0,8	0,86±0,07
Пермеат молочный сухой, ООО «Еланский сыродельный комбинат», Россия, г. Санкт-Петербург	87,49±0,8	4,03±0,04	3,3±0,22	1,8±0,8	0,81±0,07
Побочный продукт переработки молока: пермеат концентрированный, ООО «ХОХЛАНД РУС-СЛАНД», Россия, Московская обл.	87,42±0,8	6,70±0,04	3,26±0,22	2,58±0,8	0,83±0,07



- 1 - Сухой сывороточный пермеат, ПАО МК «Воронежский», Россия;
 2 - Сывороточный пермеат деминерализованный УД-90 %, Euroserum, Франция;
 3 - Сывороточный пермеат деминерализованный УД-40 %, Ostrowia, Польша; 4 - Сухая молочная сыворотка, пермеат, Mlekol, Польша;
 5 - Сыворотка молочная сухая (сывороточный пермеат), Argentic Argalac, Аргентина; 6 - Сывороточный пермеат, Pacific Ark, Inc, США;
 7 - Сывороточный пермеат Lactowell, Lactalis Ingredients, Франция; 8 - Сухой молочный пермеат, Cremo, Швейцария;
 9 - Сывороточный пермеат Haverlo Hoogwegt B.V., Нидерланды; 10 - Сухой молочный пермеат, Agropur Ingredients, США;
 11 - Пермеат сухой сывороточный, ОАО «Савушкин продукт», Республика Беларусь;
 12 - Пермеат молочный сухой, ООО «Еланский сыродельный комбинат», Россия, г. Санкт-Петербург;
 13 - Побочный продукт переработки молока: пермеат концентрированный, ООО «ХОХЛАНД РУССЛАНД», Россия, Московская обл.

Рисунок 3.1 – Соотношение «зола/лактоза» в исследуемых образцах сухого сывороточного пермеата

На основании этого предложена корректировка традиционной технологии сухого сывороточного пермеата с учётом изменения действующих режимов и введения новых технологических операций для получения продукта с заданными потребительскими характеристиками.

3.2 Особенности технологических режимов подготовки подсырной сыворотки к промышленной переработке

Предварительная обработка подсырной сыворотки для последующего производства сухого деминерализованного сывороточного пермеата предусматривает проведение следующих операций (рисунок 3.2):

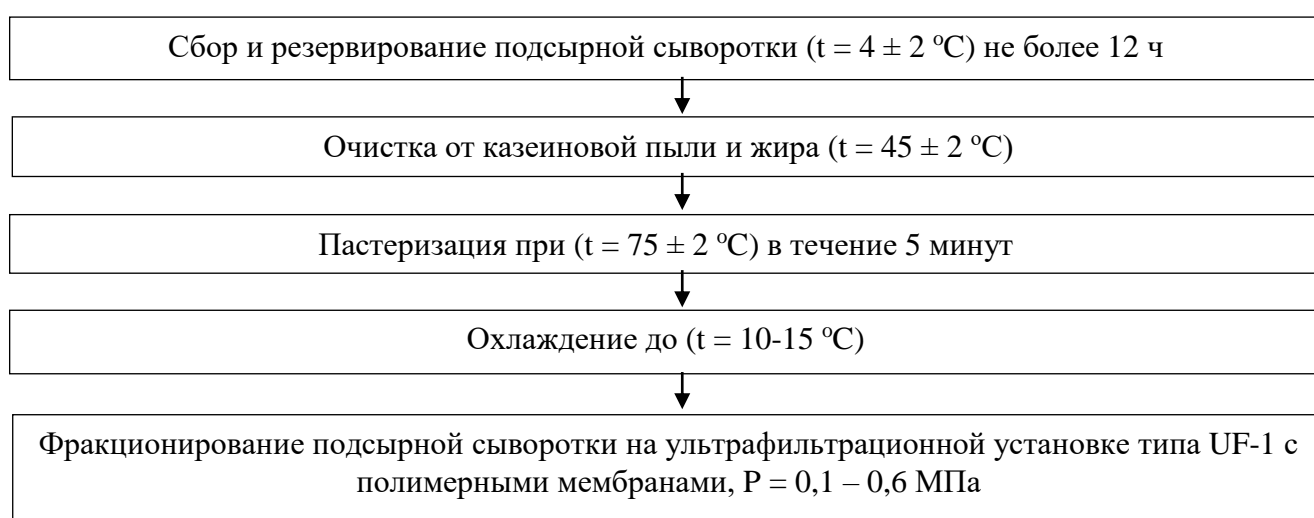


Рисунок 3.2 – Схема предварительной обработки подсырной сыворотки

Выбор режимов на каждом этапе технологического процесса обусловлен высокими требованиями к показателям качества и безопасности готового продукта, которые напрямую зависят от эффективности очистки от казеиновой пыли, механических примесей и частиц молочного жира, обеспечивая максимальный выход лактозы на последующих этапах глубокой переработки подсырной сыворотки^{149,150}. Применение бактофуг или микрофльтрации позволяет достигнуть

¹⁴⁹ Khrantsov, A. G. Membrane purification of secondary milk raw materials: intensification of processes / A. G. Khrantsov, S. P. Babenyshev, V. E. Zhidkov [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Krasnoyarsk, 18–20 ноября 2020 года / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall. Vol. Volume 677. – Krasnoyarsk, Russian Federation: IOP Publishing Ltd, 2021. – P. 32060. – DOI 10.1088/1755-1315/677/3/032060.

¹⁵⁰ Zandona, E. Whey Utilization: Sustainable Uses and Environmental Approach / E. Zandona, M. Blažić, A. Režek Jambrak // Food Technol. Biotechnol. - 2021, - 59, - 147–161.

необходимых значений массовой доли жира перед сгущением на ультрафильтрационной установке (не более 0,05 %) ^{151,152}.

В молочной сыворотке насчитывается около 49 видов 12 родов остаточной микрофлоры пастеризованного молока и бактериальных культур ¹⁵³. Специфика сывороточной микрофлоры заключается в высокой устойчивости и быстрой адаптации, в том числе к изменению кислотности, температур, содержания влаги и другим неблагоприятным факторам ¹⁵⁴. Качественный и количественный состав микроорганизмов напрямую зависит от ряда факторов, в том числе организации предварительного резервирования сырья, выбранных режимов щадящей температурной обработки в процессе очистки с последующей пастеризацией при $t = 75 \pm 2$ °С в течение 5 минут, и продолжительности хранения до переработки, условий мойки и дезинфекции оборудования, тары, инвентаря и рук работников ¹⁵⁵. Проведены исследования изменения микробиологических показателей подсырной сыворотки в процессе предварительной обработки (таблица 3.3).

Таблица 3.3 – Микробиологические показатели исследуемых образцов подсырной сыворотки

Наименование показателя	Подсырная сыворотка – сырье	Подсырная сыворотка обезжиренная, после пастеризации
Дрожжи, КОЕ/см ³ или г	19	2
Титр бактериофага (по методу Аппельмана)	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶
КМАФАнМ, КОЕ/см ³ или г	5·10 ³	400
Споровые палочки рода <i>Bacillus</i>	23	11

¹⁵¹ Blais, H.N. A review of multistage membrane filtration approaches for enhanced efficiency during concentration and fractionation of milk and whey / H.N. Blais, K. Schroën, J.T. Tobin // In International Journal of Dairy Technology, 2022. - Vol. 75. - Issue 4. - pp. 749–760, Inc. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12884>

¹⁵² Cassano, A. Current and future applications of nanofiltration in food processing. In C. M. Galanakis (Ed.) / A. Cassano, C. Conidi, R. Castro-Muñoz // Separation of Functional Molecules in Food by Membrane Technology. – 2019. - pp. 305–348. - Academic Press. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-815056-6.00009-7>

¹⁵³ Храпцов, А.Г. Справочник мастера по промышленной переработке молочной сыворотки / А.Г. Храпцов, С.В. Василисин. - М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. – с. 172 (с.13)

¹⁵⁴ Anisimov, G. Effect of electro dialysis on dairy by-products microbiological indicators / G. Anisimov, S. Ryabtseva, I. Evdokimov, A. Khrantsov, I. Kulikova, M. Kosenko, V. Kravtsov // Journal of Hygienic Engineering and Design. - 2019. - Т. 27. - С. 49-57.

¹⁵⁵ Melini, F. Raw and Heat-Treated Milk: From Public Health Risks to Nutritional Quality/ F.Melini, V.Melini, F.Luziatelli, M.Ruzzi// Beverages. 2017. 3(4):54.

Пастеризация подсырной сыворотки обеспечила снижение общей бактериальной обсемененности на 92 %.

Режимы процесса ультрафильтрации (УФ1) и ультрафильтрации с диафильтрацией (УФ2) подсырной сыворотки ($P = 0,1 - 0,6$ МПа, $t = 10-15$ °С) обусловлены необходимостью максимального перехода исходного количества лактозы (более 90 %) в УФ-пермеат при максимальной производительности фильтрационной установки^{156,157}, при этом рядом ученых было установлено, что конечное значение массовой доли лактозы в пермеате не зависит от фактора концентрирования^{158,159,160,161}.

3.3 Обоснование технологических режимов производства сухого деминерализованного сывороточного пермеата

Совершенствование технологии производства сухого деминерализованного сывороточного пермеата требует анализа изменения химического состава (таблица 3.4) и минерального профиля (рисунок 3.3) исходного сырья и полуфаб-

¹⁵⁶ Hameed, A. Functional, industrial and therapeutic applications of dairy waste materials / A. Hameed, M. J. Anwar, S. Perveen, M. Amir, I. Naeem, M. Imran, M. Hussain, I. Ahmad, M. I. Afzal, S. Inayat & C. G. Awuchi // *International Journal of Food Properties*. - 2023 - 26:1. - 1470-1496, - DOI: 10.1080/10942912.2023.2213854

¹⁵⁷ Das, B. Recovery of Whey Proteins and Lactose from Dairy Waste: A Step Towards Green Waste Management / B. Das, S. Sarkar, A. Sarkar, S. Bhattacharjee, C. Bhattacharjee // *Process Saf. Environ. Prot.* - 2016, - 101, - 27–33. DOI: 10.1016/j.psep.2015.05.006.

¹⁵⁸ Кручинин, А.Г. Исследование процесса баромембраной фильтрации подсырной и творожной сывороток / А.Г. Кручинин, Е.Е. Шилова // *Актуальные вопросы молочной промышленности, межотраслевые технологии и системы управления качеством*. – 2020. – Т. 1, № 1(1). – С. 298-305. – DOI 10.37442/978-5-6043854-1-8-2020-1-298-305.

¹⁵⁹ Tsermoula, P. WHEY - The waste-stream that became more valuable than the food product / P. Tsermoula, B. Khakimov, J.H. Nielsen, S.B. Engelsen // *In Trends in Food Science & Technology*. – 2021. - Vol. 118, - Part A, - pp. 230–241. - Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.08.025>

¹⁶⁰ Евдокимов, И.А. Реальные мембранные технологии / И.А. Евдокимов, Д.Н. Володин, А.С. Бессонов [и др.] // *Молочная промышленность*. – 2010. – № 1. – С. 49-50.

¹⁶¹ Bédas, M. Nanofiltration of lactic acid whey prior to spray drying: Scaling up to a semi-industrial scale / M. Bédas, G. Tanguy, A. Dolivet, S. Méjean, F. Gaucheron, G. Garric, G. Senard, R. Jeantet, P. Schuck // *In LWT - Food Science and Technology*. – 2017. -Vol. 79. - pp. 355–360. - Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.01.061>

рикатов на различных этапах технологического процесса переработки подсырной сыворотки: ультрафильтрация, нанофильтрация, электродиализ.

Таблица 3.4 – Химический состав и содержание минеральных веществ подсырной сыворотки и продуктов ее переработки

Наименование показателя	Подсырная сыворотка	Ультрафильтрация		Нанофильтрация		Электродиализ
		УФ-концентрат	УФ-пермеат	НФ-концентрат	НФ-пермеат	
Массовая доля сухих веществ, %	6,33±0,05	27,8±0,07	4,21±0,03	21,56±0,07	0,24±0,02	21,40±0,09
Массовая доля лактозы, %	4,43±0,36	7,54±0,40	3,48±0,33	20,21±0,53	0,23±0,13	20,83±0,51
Массовая доля белка, %	0,84±0,03	19,54±0,16	0,16±0,02	0,27±0,03	-	0,26±0,02
Массовая доля золы, %	0,52±0,04	0,62±0,03	0,37±0,03	1,02±0,04	0,04±0,03	0,04±0,02
Содержание хлоридов, мг/100 г	0,87±0,03	1,32±0,05	0,86±0,04	1,98±0,05	2,16±0,04	0,58±0,02
Содержание кальция, мг/100 г	21,32±0,15	156,18±0,41	48,61±0,19	189,79±0,44	86,24±0,23	17,58±0,12
Содержание общего фосфора, мг/100 г	64,36±0,05	138,54±0,10	44,39±0,03	173,53±0,11	76,26±0,06	49,19±0,05
Содержание натрия, мг/100 г	54,21±0,02	141,58±0,08	106,96±0,06	539,63±0,76	183,73±0,15	16,35±0,003
Содержание калия, мг/100 г	193,4±0,10	177,1±0,09	198,5±0,12	794,80±0,95	205,28±0,16	36,84±0,007
Содержание железа, мг/кг	0,46±0,03	2,3±0,05	0,42±0,02	0,37±0,02	2,26±0,11	0,13±0,01
Содержание магния, мг/кг	28,7±0,28	6,3±0,05	3,71±0,05	6,87±0,06	9,90±0,15	3,9±0,04
Содержание меди, мг/кг	0,294±0,03	0,28±0,02	0,276±0,02	0,14±0,007	0,23±0,01	0,05±0,004

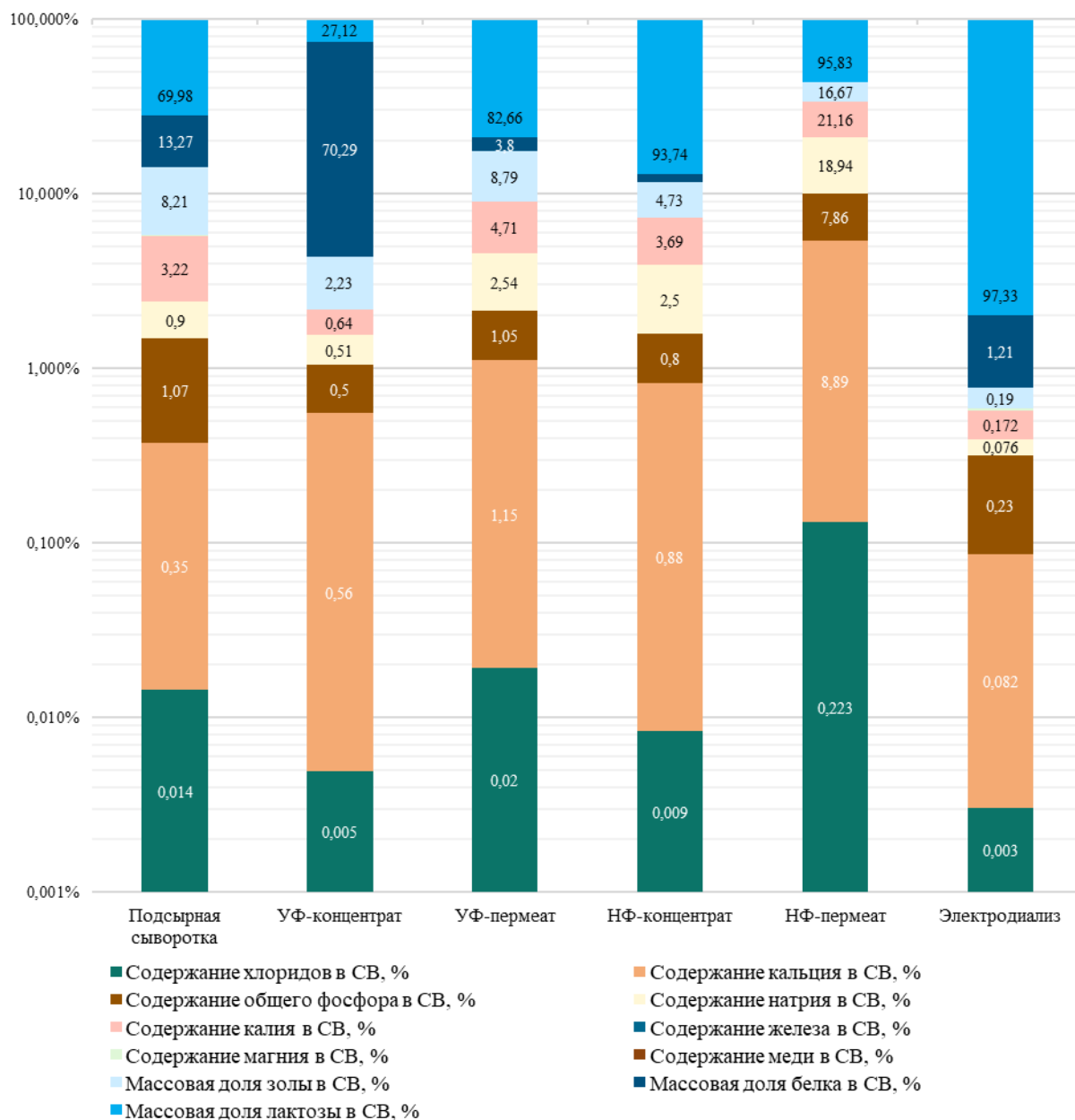


Рисунок 3.3 - Изменение химического состава и минерального профиля исследуемых образцов на различных этапах технологического процесса

Ультрафильтрация с полимерными мембранами (предельная молекулярная масса 10 кДа) при $P=0,13\pm 0,02$ МПа и $t=10-15$ °С, позволила сконцентрировать белки подсырной сыворотки и частично очистить от минеральных веществ УФ-

концентрат, при этом в полученный УФ-пермеат перешли большая часть лактозы и соли, преимущественно в ионно-молекулярном распределении¹⁶².

Известно, что эффективность удаления моновалентных ионов (K^+ , Na^+ и Cl^-), выше, чем у многовалентных (Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} и PO_4^{3-}). Рядом ученых^{163,164,165} установлен следующий порядок деионизации катионов: $K^+ > Na^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+}$; для анионов: $Cl^- > SO_4^{2-} > PO_4^{3-} > LA^- > CA^{3-}$. Это обусловлено меньшим гидродинамическим радиусом и более высоким коэффициентом диффузии моновалентных ионов по сравнению с многовалентными¹⁶⁶. Кроме того, минеральный и органический профили исходного сырья¹⁶⁷ и технология получения сывороточного пермеата также влияют на эффективность и скорость процесса деминерализации электродиализом.

Применение нанофильтрации рационально для удаления части минеральных солей из УФ-пермеата и увеличения концентрации лактозы в образцах НФ-концентратов¹⁶⁸. С целью оптимизации процесса была построена математическая модель, которая имеет вид уравнения регрессии, найденного статистическими методами на основе экспериментов. Математическая модель изучаемого процесса представляется в виде полинома второй степени:

¹⁶² Золотарева, М.С. Мембранные технологии как основа переработки молочной сыворотки в современных экономических условиях / М.С. Золотарева, Д.Н. Володин, Б.В. Чаблин, И.А. Евдокимов, В.К. Топалов // Молочная промышленность. - 2017. - № 11. - С. 42-44.

¹⁶³ Merkel, A. The impact of integrated nanofiltration and electrodiolytic processes on the chemical composition of sweet and acid whey streams/ A. Merkel, D. Voropaeva, M. Ondrušek // Journal of Food Engineering. – 2021. – 298. – 110500. – <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110500>

¹⁶⁴ Sharma, A. Experimental validation and comparison of time-optimal and industrial strategy for membrane separation process / A. Sharma, R. Valo, M. Kalúz, R. Paulen, M. Fikar // IFAC-PapersOnLine. – 2018. – 51. – 2. – 741–746. – <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.04.002>

¹⁶⁵ Khrantsov, A.G. Influence of the whey type on composition and properties of its mineralizates / A.G. Khrantsov, A.V. Blinov, A.A. Blinova, A.V. Serov // Foods and Raw materials. – 2017. – 5. – 1. – 30–40. – <https://doi.org/10.21179/2308-4057-2017-1-30-40>

¹⁶⁶ Kartashova, E.A. About the prognostic role of fibulin-5 protein in the progression of pathological vascular remodeling in patients with isolated sistolic arterial hypertension / Kartashova E.A., Sarvilina I.V. // Adv Gerontol. – 2019. – 32. – 6. – 1003-1010. – Russian. PMID: 32160441.

¹⁶⁷ Franceschi, P. Seasonal variations of the protein Fractions and the mineral Contents of the cheese Whey in the parmigiano Reggiano cheese Manufacture / P. Franceschi, F. Martuzzi, P. Formaggioni, M. Malacarne, A. Summer // Agriculture. – 2023. – 13. – 1. – 165. – <https://doi.org/10.3390/agriculture13010165>

¹⁶⁸ Yadav, D. Nanofiltration (NF) membrane Processing in the food Industry / D. Yadav, S. Karki, P.G. Ingole // Food Engineering Reviews. – 2022. – 14. – 4. – 579–595. – <https://doi.org/10.1007/s12393-022-09320-4>

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i X_i + \sum_{i=1}^n b_{ii} X_i^2 + \sum_{i \leq j}^n b_{ij} X_i X_j \quad (3.1)$$

где b_0 – свободный член уравнения, равный средней величине отклика при условии, что рассматриваемые факторы находятся на средних, «нулевых» уровнях; X – масштабированные значения факторов, которые определяют функцию отклика и поддаются варьированию; b_{ij} – коэффициенты двухфакторных взаимодействий, показывающие, насколько изменяется степень влияния одного фактора при изменении величины другого; b_{ii} – коэффициенты квадратичных эффектов, определяющие нелинейность выходного параметра от рассматриваемых факторов; i, j – индексы факторов; n – число факторов в матрице планирования.

В качестве основных факторов, влияющих на процесс нанофильтрации ультрафильтрационного пермеата подсырной сыворотки, были выбраны: X_1 – температура, °С; X_2 – содержание сухих веществ, %; X_3 – объемный расход входящего сырья (УФ-пермеата), т/ч; факторы совместимы и некоррелируемы между собой. Выбор интервалов изменения факторов обусловлен технологическими параметрами, условиями работы мембранной установки, а также технико-экономическими показателями производства. Пределы изменения исследуемых факторов приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 - Диапазоны факторов

Условия планирования	Кодированное значение	Пределы изменения факторов		
		X_1 , °С	X_2 , %	X_3 , т/ч
Основной уровень	0	16	7,5	57,5
Верхний уровень	+1	17	10,5	63,75
Нижний уровень	-1	15	4,5	51,25
Верхняя «звездная точка»	+2	18	13,5	45,00
Нижняя «звездная точка»	-2	14	1,5	70,00

Выбор пределов изменения входных и выходных факторов

В качестве критерия оценки влияния факторов на процесс нанофильтрации выбрано отношение содержания «лактоза : зола» – Y_1 , в нанофильтрационном концентрате ультрафильтрационного пермеата.

Для исследования применили центральное композиционное ротатабельное равномерное планирование и дробный факторный эксперимент. Число опытов в матрице планирования трех входных параметров равно 20. Программа исследования была заложена в матрицу планирования эксперимента (таблица 3.6).

Таблица 3.6 - Матрица планирования

Опыт	x_1	x_2	x_3	$X_1, ^\circ\text{C}$	$X_2, \%$	$X_3, \text{г/ч}$	Y_1
1	-1,000	-1,000	-1,000	13,24	8,05	35,1	0,02771
2	1,000	-1,000	-1,000	22,76	8,05	35,1	0,02509
3	-1,000	1,000	-1,000	13,24	19,95	35,1	0,01591
4	1,000	1,000	-1,000	22,76	19,95	35,1	0,01729
5	-1,000	-1,000	1,000	13,24	8,05	49,9	0,02601
6	1,000	-1,000	1,000	22,76	8,05	49,9	0,02343
7	-1,000	1,000	1,000	13,24	19,95	49,9	0,01461
8	1,000	1,000	1,000	22,76	19,95	49,9	0,01603
9	-1,682	0,000	0,000	10,00	14,00	42,5	0,02074
10	1,682	0,000	0,000	26,00	14,00	42,5	0,01973
11	0,000	-1,682	0,000	18,00	4,00	42,5	0,03
12	0,000	1,682	0,000	18,00	24,00	42,5	0,01386
13	0,000	0,000	-1,682	18,00	14,00	30,0	0,02123
14	0,000	0,000	1,682	18,00	14,00	55,0	0,01873
15	0,000	0,000	0,000	18,00	14,00	42,5	0,01995
16	0,000	0,000	0,000	18,00	14,00	42,5	0,01995
17	0,000	0,000	0,000	18,00	14,00	42,5	0,01995
18	0,000	0,000	0,000	18,00	14,00	42,5	0,01995
19	0,000	0,000	0,000	18,00	14,00	42,5	0,01995
20	0,000	0,000	0,000	18,00	14,00	42,5	0,01995

Уравнение регрессии и его анализ

В таблицах 3.7–3.8 приведены результаты Анова анализа для уравнения квадратичной модели для фактора Y_1 .

Таблица 3.7 - Результаты анализа ANOVA Y_1

Индекс	Сумма квадратов	df	Ср. кв. отклонение	F-значение	р-значение
					Вероятность > F
Модель	0,0003	9	0,0000	7,582E+06	< 0.0001
X_1	1,230E-06	1	1,230E-06	2,480E+05	< 0.0001
X_2	0,0003	1	0,0003	6,341E+07	< 0.0001
X_3	7,506E-06	1	7,506E-06	1,513E+06	< 0.0001
X_1X_2	8,000E-06	1	8,000E-06	1,613E+06	< 0.0001
$X_1 X_3$	8,000E-10	1	8,000E-10	161,27	< 0.0001
X_2X_3	8,000E-08	1	8,000E-08	16127,14	< 0.0001
X_1^2	1,455E-07	1	1,455E-07	29323,14	< 0.0001
X_2^2	7,056E-06	1	7,056E-06	1,422E+06	< 0.0001
X_3^2	1,532E-09	1	1,532E-09	308,81	< 0.0001

F-значение модели 7,582E+06 означает, что модель значима. Вероятность того, что такое большое значение F- значения может быть получено из-за шума составляет 0,01%.

P-значения менее 0,0500 указывают на то, что члены модели значимы. В данном случае все индексы являются значимыми.

Таблица 3.8. - Оценка адекватности модели

Среднеквадратичное отклонение	2,227E-06	Коэффициент детерминации R^2	1,0000
Среднее	0,0205	Скорректированный R^2	1,0000
Коэффициент вариации (C.V.) %	0,0109	Достаточная точность	10250,2479

Прогнозируемый R^2 , равный 1,0000, хорошо согласуется со скорректированным R^2 , равным 0,9990; т.е. разница составляет менее 0,2. Достаточная точность измеряет отношение сигнала к шуму. Желательно, чтобы это отношение превышало 4. Соотношение 10250,25 указывает на адекватный отклик.

После обработки матрицы планирования в программном модуле Design Expert были получены уравнения регрессии (3.2) для реальных значений (X) и кодированных (x).

$$\begin{aligned}
 Y_1 &= 0,05211 - 0,00073X_1 - 0,00294X_2 + 0,00015X_3 + \\
 &\quad + 4,4E-06X_1^2 - 0,00002X_2^2 + 1,86E-07X_3^2 \\
 Y_1 &= 0,0200 - 0,0003x_1 - 0,0048x_2 + 0,007x_3 + \\
 &\quad + 0,0001x_1^2 + 0,0007x_2^2 + 0,0001x_3^2
 \end{aligned}
 \tag{3.2}$$

Графическая интерпретация уравнений (3.2) в виде кривых равных значений и поверхности отклика приведена на рисунках 3.4–3.6. Установлено влияние входных факторов $X_i, i = \overline{1,3}$ на выходные Y_1 (рисунок 3.4)

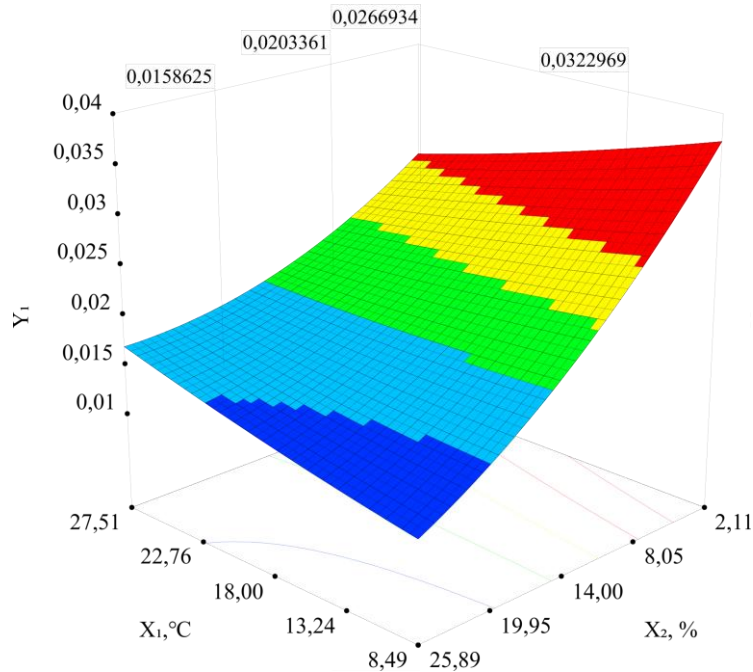


Рисунок 3.4 - Поверхность отклика отражающая зависимость отношения содержания «лактоза : зола» от температуры ($X_1, ^\circ\text{C}$) и массовой доли сухих веществ ($X_2, \%$)

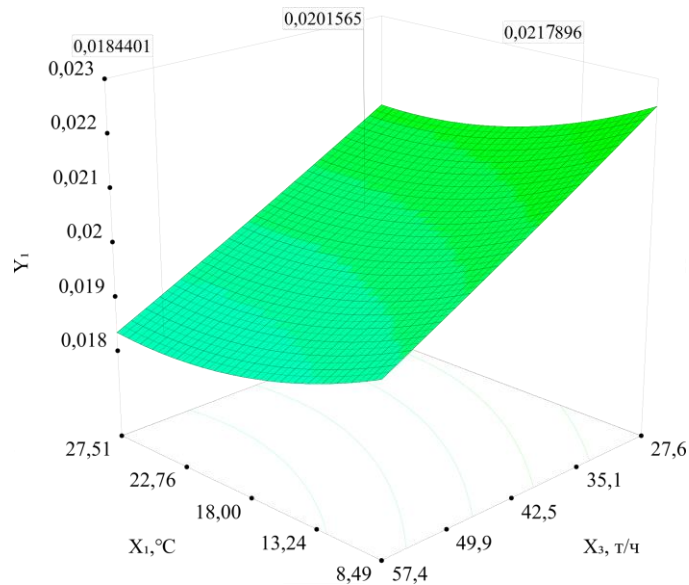


Рисунок 3.5 - Поверхность отклика отражающая зависимость отношения содержания «лактоза : зола» от температуры ($X_1, ^\circ\text{C}$) и объемного расхода ($X_3, \text{т/ч}$)

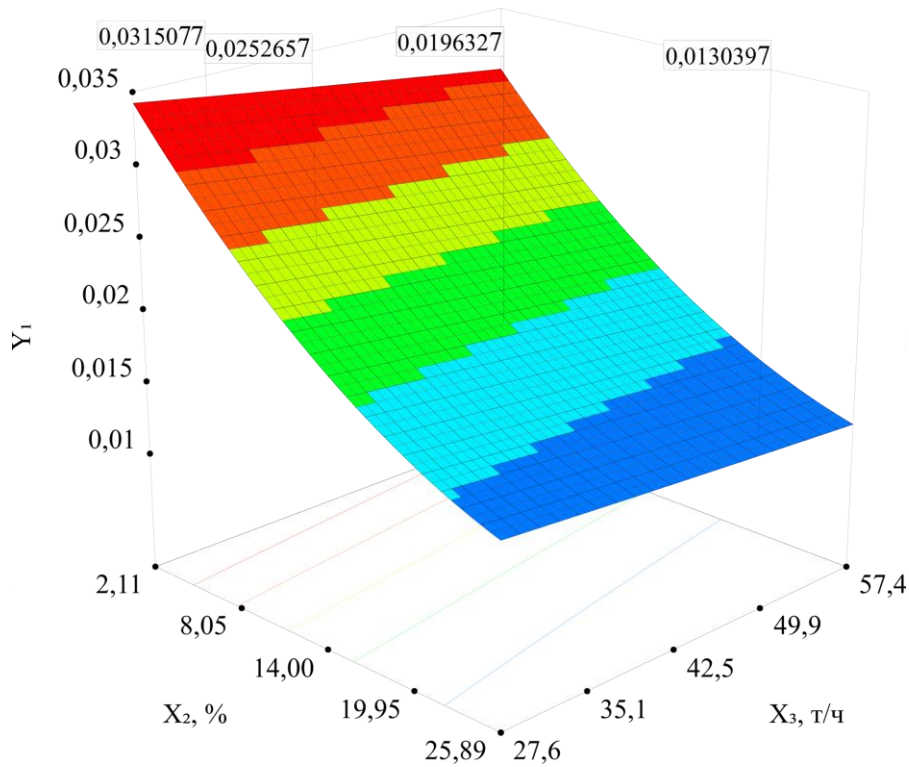


Рисунок 3.6 - Поверхность отклика отражающая зависимость отношения «лактоза : зола» к массовой доле сухих веществ (X_2 , %) и объемного расхода (X_3 , т/ч)

Поиск оптимальных режимных параметров процесса

Нахождение оптимума и решения задачи оптимизации проводили с использованием функции желательности d [...], при этом Y_i переводили в $d_i \in \{0...1\}$. Если Y_i определяет оптимум целевой функции (максимальное или минимальное значение), или же оптимальное значение является заданным, обусловленным экономической целесообразностью, то $d_i = 1$. В случае, когда оптимальное значение не соответствует интервалу заданных значений $Y_j \notin \{0...1\}$, то $d_i = 0$. После определения d_i по Y_j , определяли максимальное значение функции желательности по формуле 3.3:

$$D = (d_1 d_2 \dots d_j)^{(1/j)}, \quad (3.3)$$

По сравнительной оценке множества полученных значений функции желательности D выбирали оптимальное (единственное) решение многокритериальной задачи оптимизации в области изменения входных факторов, с точки зрения факторов выходной информации, по Y_j .

Многопараметрическая задача оптимизации была сформулирована следующим образом: найти такие значения режимных параметров процесса нанофильтрации, которые бы обеспечивали минимальное значение отношения содержания массовой доли лактозы к золе в сгущенном НФ-концентрате сывороточного пермеата при ограничениях на входные параметры (таблица 3.9). Первые 6 решений сведены в таблицу 3.10.

Так как выбранные критерии оптимизации одинаково важны и носят характер равнозначности, то показатели их «влияния» на функцию желательности принимали равными единице, $r = 1$.

Таблица 3.9 - Постановка задачи оптимизации

Фактор	Цель	Нижний предел	Верхний предел	Вес нижний	Вес верхний	Важность
X_1	в диапазоне	10,0085	27,5137	1	1	3
X_2		2,10793	23,9893	1	1	3
X_3		27,6349	57,3651	1	1	3
Y_1	min	0,01386	0,03	1	1	3

Таблица 3.10 - Решения задачи оптимизации

Решение	X_1 , °C	X_2 , %	X_3 , т/ч	Y_1	Функция желательности
1	12,459	22,989	49,385	0,012	1,000
2	20,575	23,925	55,732	0,014	1,000
3	13,373	22,377	40,573	0,014	1,000
4	10,864	23,671	55,707	0,011	1,000
5	19,162	23,657	50,934	0,014	1,000
6	11,293	23,259	30,734	0,014	1,000
...

Функцию желательности d при решении задачи оптимизации делили на три частных случая:

1. Выходной фактор стремится к максимальному значению:

$$d = \begin{cases} 0 & y < L \\ \left(\frac{y-L}{T-L}\right)^r & L \leq y \leq T, \\ 1 & y > T \end{cases} \quad (3.4)$$

где T – целевое значение; U, L – нижняя и верхняя границы интервала выходного фактора соответственно; r – показатель «влияния» функции желательности (весовой коэффициент), при $r=1$ – d является линейной функцией; $r > 1$ оказывает большее влияние на смещение d в сторону целевого значения; $0 < r < 1$ – менее важная степень влияния.

2. Выходной фактор стремится к минимальному значению:

$$d = \begin{cases} 1 & y < T \\ \left(\frac{U-y}{U-T}\right)^r & T \leq y \leq U, \\ 0 & y > U \end{cases} \quad (3.5)$$

3. Выходной фактор стремится к заданному числовому значению:

$$d = \begin{cases} 1 & y < L \\ \left(\frac{y-L}{U-T}\right)^{r_1} & L \geq y \geq T \\ \left(\frac{U-y}{U-T}\right)^{r_2} & T \leq y \leq U \\ 0 & y > U \end{cases}, \quad (3.6)$$

Из массива решений D выбраны значения $D \rightarrow 1$ (рисунок 3.7), по которым установлены рациональные интервалы значений входных факторов: $X_1 = 10,8 \dots 20,5$ °C; $X_2 = 22,7 \dots 23,7$ %; $X_3 = 30,7 \dots 55,7$ т/ч.

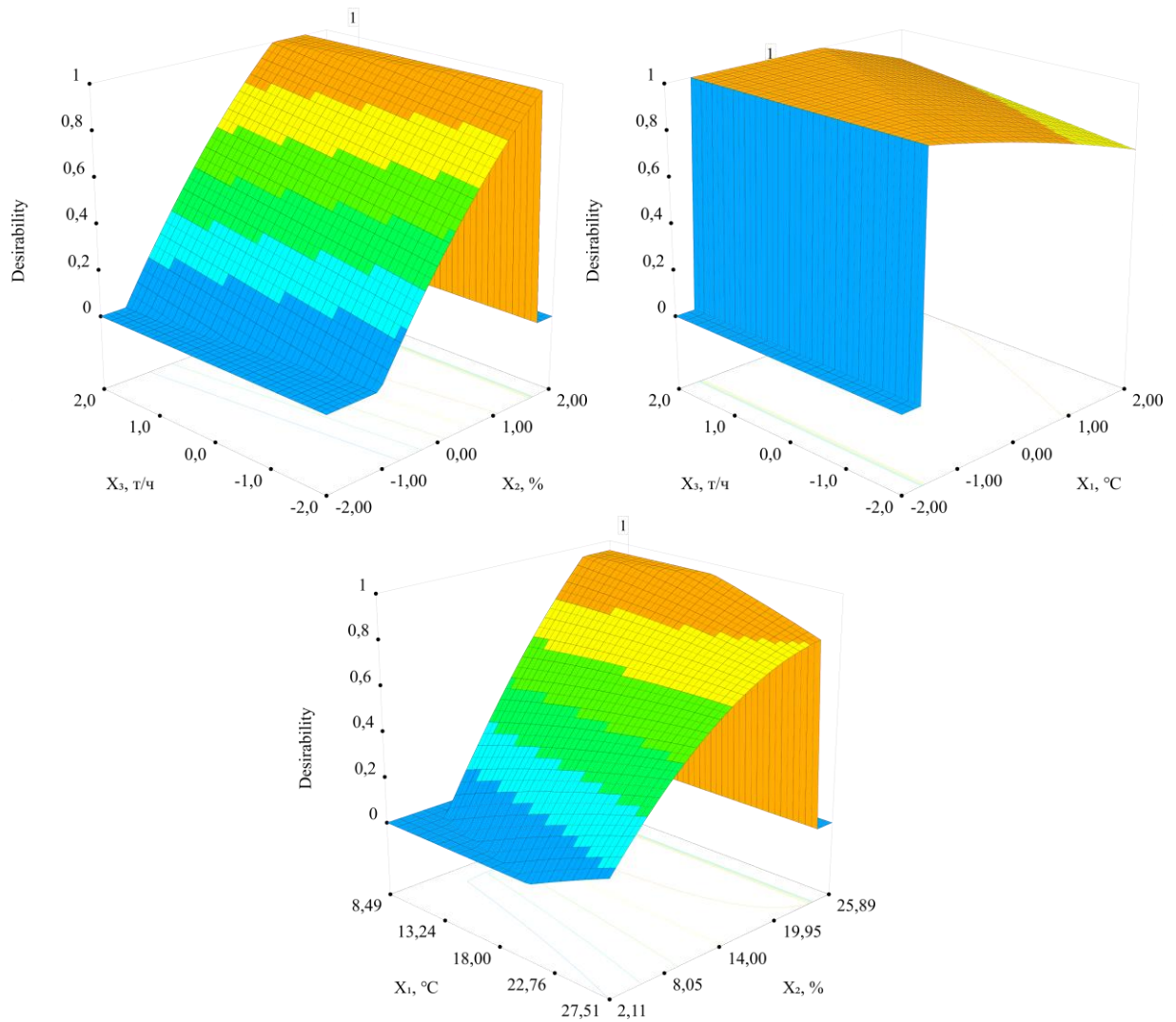


Рисунок 3.7 - Определение функции желательности D для заданных критериев оптимизации X_1 , X_2 , X_3

Для проверки правильности полученных результатов был поставлен ряд параллельных экспериментов. Полученные результаты попадали в рассчитанные доверительные интервалы по всем критериям качества. Среднеквадратичная ошибка не превышала 10,4 %.

Параметры нанофильтрации ($P=2,50\pm 0,02$ МПа, $t=10\pm 2$ °С) обеспечили более высокую степень очистки от хлоридов без существенной потери молочного сахара, при этом сгущение НФ-концентрата до массовой доли сухих веществ не менее 21,5 % позволило перейти в НФ-пермеат части лактозы (до 1 %), кальция (30-34 %), фосфора (18-20 %), калия (23-25 %), хлоридов (около 50 %), железа

(76-80 %), магния (70-73 %) и меди (80-85 %), что позволяет его применять в качестве сырья для производства изотонических напитков¹⁶⁹.

Трехстадийный процесс электродиализной обработки НФ-концентрата осуществлялся при температуре $(15 \pm 2) ^\circ\text{C}$ с последующим контролем удельной электропроводности (УЭП) и рН в процессе¹⁷⁰ (рисунок 3.8). Количество катионов в НФ-концентрате снижалось на I этапе электродиализа, что приводило к низким значениям рН. При этом белок в НФ-концентрате не стабилен и способен выпасть в осадок, что отрицательно повлияет на последующую сушку и физико-химические характеристики готового продукта¹⁷¹. Поэтому на II этапе для нейтрализации до значения рН $7,00 \pm 0,02$ вносили смесь 50 % растворов КОН и NaOH (1:1), для предотвращения изменений минерального профиля в сторону увеличения количества K^+ и Na^+ . Этап III проходил с положительно заряженной мембраной в течение 25 мин до достижения электропроводности $0,8 \pm 0,05 \text{ мС} \cdot \text{см}^{-1}$ для продукта со степенью деминерализации 90 %¹⁷².

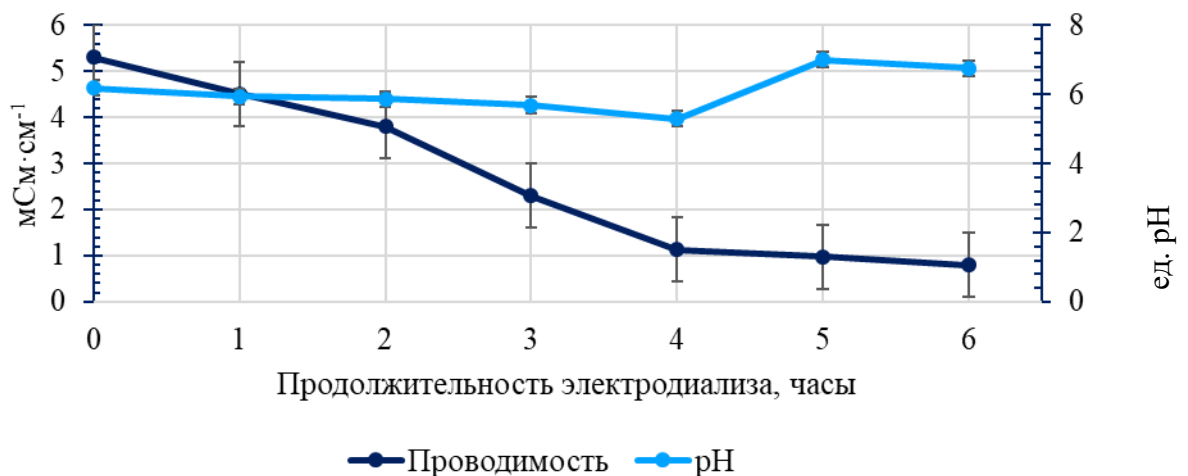


Рисунок 3.8 - Изменение рН и проводимости НФ-концентрата при электродиализе

¹⁶⁹ Macwan, S.R. Whey and its Utilization / S.R. Macwan, B.K. Dabhi, S.C. Parmar, K.D. Aparnathi // International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. – 2016. – 5. – 8. – 134–155. – <https://doi.org/10.20546/ijemas.2016.508.016>

¹⁷⁰ Kaya, N. Demineralization of cheese whey by sequential nanofiltration (NF) and electro-dialysis (ED) processes / N. Kaya, E. Altıok, D. Selvi Gökçaya, N. Kabay, S. Otleş // In Journal of Membrane Science and Research. – 2019. – Vol. 5. – Issue 3. – pp. 250–255. – <https://doi.org/10.22079/jmsr.2019.98013.1230>

¹⁷¹ Kravtsov, V.A. Feasibility of using electro-dialysis with bipolar membranes to deacidify acid whey / V.A. Kravtsov, I.K. Kulikova, A.S. Bessonov, I.A. Evdokimov // International Journal of Dairy Technology. – 2020. – 73. – 1. – 261–269. – <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12637>

¹⁷² Talebi, S. Utilisation of salty whey ultrafiltration permeate with electro-dialysis / S. Talebi, E. Kee, G.Q. Chen, K. Bathurst, S.E. Kentish // International Dairy Journal. – 2019. – 99. – 104549. – <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.104549>

Наблюдалось увеличение общей зольности УФ-пермеата в сравнении с подсырной сывороткой (более 70 %), за счет перехода свободных ионов, не связанных с минорными компонентами. Для НФ-концентрата она снизилась на 25,4 %, а минеральный профиль изменился в сторону увеличения концентрации Na^+ , K^+ , Cl^- . Применение электродиализа для дальнейшей деминерализации НФ-концентрата подсырной сыворотки позволило добиться удаления Na^+ и K^+ на 89-94 %, а Ca^{2+} , Mg^{2+} на 60-75 %; общего фосфора - на 78 %; хлоридов - на 70 %.

Фильтрующая зона и высокая проницаемость полимерных НФ-мембран относительно воды, а также их способность удалять белки и большую часть многовалентных ионов минеральных солей позволили получить НФ-концентрат, содержащий в основном лактозу, и повысить эффективность электродиализа в отношении многовалентных ионов.

С целью интенсификации процесса производства и уменьшения потребления энергии дальнейшее сгущение НФ-концентрата перед распылительной сушкой проводили на вакуум-выпарном аппарате при $P=0,09\pm 0,02$ МПа и температуре греющего пара на входе 70-75 °С; на выходе – 40 ± 5 °С. Степень сгущения зависит от технических особенностей вакуум-выпарных установок и условий, которые будут определять возможность дальнейшей обработки сгущенной массы: вязкость, текучесть, однородность консистенции¹⁷³. Максимально возможное значение массовой доли сухих веществ в сгущенном НФ-концентрате, позволяющее провести дальнейшую технологическую обработку составило 54-55 %. Экспериментальные исследования проводили в условиях пилотного цеха ПАО МК «Воронежский». Сгущение осуществляли в пленочном вакуум-выпарном аппарате типа ТН-TVR при следующих параметрах (рисунок 3.9):

- разряжение в конденсаторе – -0,084 МПа;
- подогрев продукта перед ВВУ – 70-71 °С;
- температура греющего пара в калоризаторе – 60-62 °С;
- температура в сепараторе – 56-57 °С;

¹⁷³ Храмцов, А.Г. Технология продуктов из молочной сыворотки / А.Г. Храмцов, П.Г. Нестеренко. – М.: ДеЛи принт, 2004. – 587 с

- температура воды на конденсатор Вход – 20-21 °С, Выход – 25-26 °С;
- поток сырья на входе ВВУ – 240 л\ч.

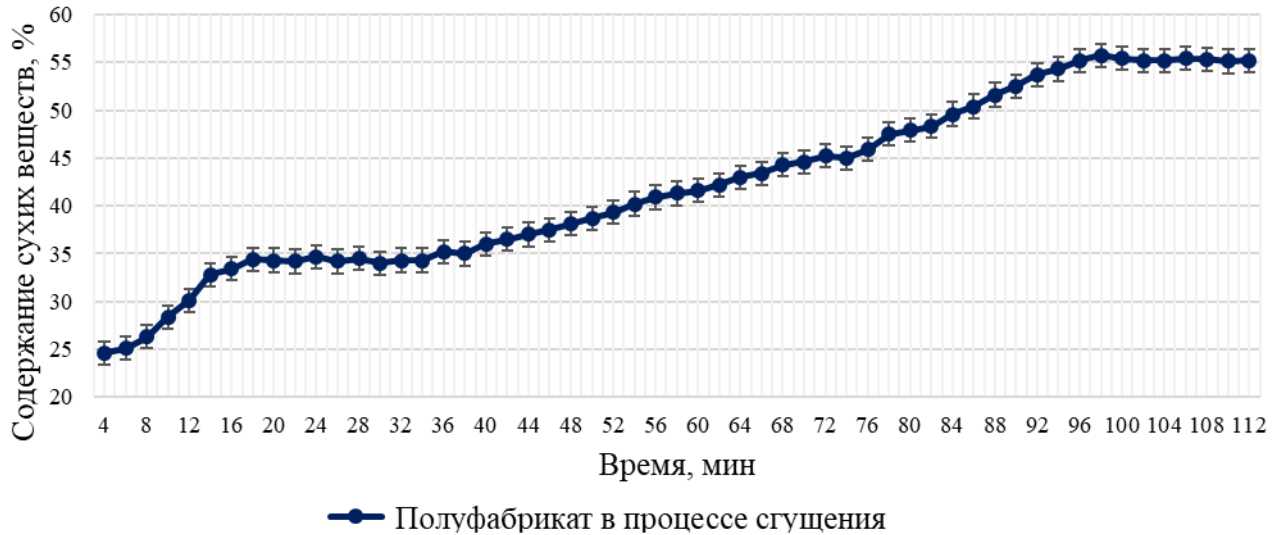


Рисунок 3.9 – Изменение содержания сухих веществ НФ-концентрата подсырной сыворотки в процессе сгущения на ВВУ, %

Динамика испарения влаги в полуфабрикате неодинакова: на начальном этапе сгущения она максимальная; далее происходит равномерное нарастание сухих веществ, при этом скорость испарения влаги монотонно снижается, что обусловлено структурными особенностями продукта и степенью связывания влаги в нем.

Во избежание неконтролируемого роста кристаллов лактозы, получения продукта однородной консистенции, снижения гигроскопичности и повышения стабильности при хранении сухого деминерализованного сывороточного пермеата проводили предварительную кристаллизацию сгущенного НФ-концентрата при температуре 33-35 °С в течение 3-4 часов, а затем при постепенном охлаждении со скоростью 2-3 °С в час до температуры 10-15 °С в течение 10-12 часов. Сущность процесса заключается в массовом формировании зародышей кристал-

лов моногидрата α -лактозы с последующим ростом кристаллов, кинетика которого определяет размер и форму частиц готового продукта¹⁷⁴.

Формы лактозы оказывают влияние на конечные сорбционные характеристики сухого продукта - кристаллическая лактоза при нормальных условиях практически не поглощает влагу из окружающей среды, из-за уменьшения пространства пустоты, свободной энергии и площади поверхности, в отличие от аморфной¹⁷⁵. Температурные режимы кристаллизации и массовая доля влаги в сгущенном НФ-концентрате определяют переход лактозы в стабильное кристаллическое состояние и предотвращают зарождение крупных агломерированных частиц. Управление процессом кристаллизации осуществляли строгим контролем режимов охлаждения, перемешивания и внесения мелкодисперсной затравки-кристаллообразователей, дозировку и способ введения в сгущенный продукт определили согласно рекомендациям производителей.

В процессе кристаллизации исследовали динамику изменения вязкости сгущенного НФ-концентрата подсырной сыворотки на вискозиметре Брукфильда DV-II+ Pro при фактической температуре образцов в кристаллизаторе и скорости вращения шпинделя 100 об/мин (рисунок 3.10).



Рисунок 3.10 – Диаграмма изменения вязкости опытных образцов в процессе кристаллизации

¹⁷⁴ Дымар, О.В. Технологические аспекты переработки мелассы молочной. Часть 5. Сгущение, кристаллизация и сушка / О.В. Дымар, О.Л. Сороко, И.В. Миклух [и др.] // Молочная промышленность. – 2019. – № 4. – С. 59-63.

¹⁷⁵ Maidannyk, V. Water sorption and hydration in spray-dried milk protein powders: selected physicochemical properties / V. Maidannyk, D.J. McSweeney, S.A. Hogan, S. Miao, S. Montgomery, M.A.E. Auty, N.A. McCarthy // Food Chemistry. – 2020. – 304. – 125418. – <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125418>

Согласно диаграмме, вязкость образцов сгущенного деминерализованного сывороточного пермеата, отобранных в первые часы кристаллизации возрастала, в том числе за счет снижения температуры. Далее, при повышении степени кристаллизации лактозы происходило снижение этого показателя, в том числе за счет уменьшения массовой доли сухих веществ в межкристаллической жидкости. Постепенное увеличение размера и количества кристаллов лактозы обуславливают повышение поверхностного натяжения и вязкости до значений, позволяющих провести дальнейшую технологическую обработку сгущенного НФ-концентрата подсырной сыворотки.

Морфология частиц сухого деминерализованного сывороточного пермеата может варьироваться в зависимости от выбранных режимов сушки и быть изменена во время хранения, что впоследствии повлияет на профиль регидратации. Последующую распылительную сушку полученного полуфабриката проводили при температуре на входе в сушильную башню 170-200 °С, на выходе –70-100 °С, затем порошок охлаждали до 30 ± 5 °С и отправляли на фасовку. Такие температурные условия распылительной сушки приводят к быстрому образованию корки на поверхности частицы, что определяет более объемную и пористую структуру готового продукта, коррелирующую с улучшенной смачиваемостью. Обусловлено это тем, что во время сушки вода диффундирует к поверхности из центра частицы, из-за градиента концентраций, образующегося в результате испарения воды с ее поверхности. Скорость этого процесса напрямую зависит от коэффициента диффузии растворенных веществ. В молочных продуктах для лактозы и минеральных солей этот показатель имеет один и тот же порядок, а коэффициент диффузии сывороточных белков и жировых шариков на порядок ниже из-за большого размера этих молекул¹⁷⁶.

Процесс обессоливания подсырной сыворотки на каждом этапе производства сухого деминерализованного сывороточного пермеата можно представить в виде схемы (рисунок 3.11).

¹⁷⁶ Galstyan, A. G. Theoretical backgrounds for enhancement of dry milk dissolution process: mathematical modeling of the system «solid particles-liquid» / A. G. Galstyan, A. N. Petrov, V. K. Semipyatniy // Foods and Raw Materials. – 2016. – Vol. 4. – N 1. – P. 102-109.



Рисунок 3.11 – Схема обессоливания подсырной сыворотки в процессе производства сухого деминерализованного сывороточного пермеата

Полученные результаты подтвердили высокую степень деминерализации образцов и эффективность последовательного применения методов ультра-, наночистоты (с полимерными мембранами) и электродиализа. Общее содержание неорганических ионов было снижено более чем на 93,0 %. В процессе вакуум-выпаривания, кристаллизации и сушки существенных изменений минерального состава не происходило.

На основании проведенных исследований предложена последовательность технологических операций получения сухого деминерализованного сывороточного пермеата (рисунок 3.12).

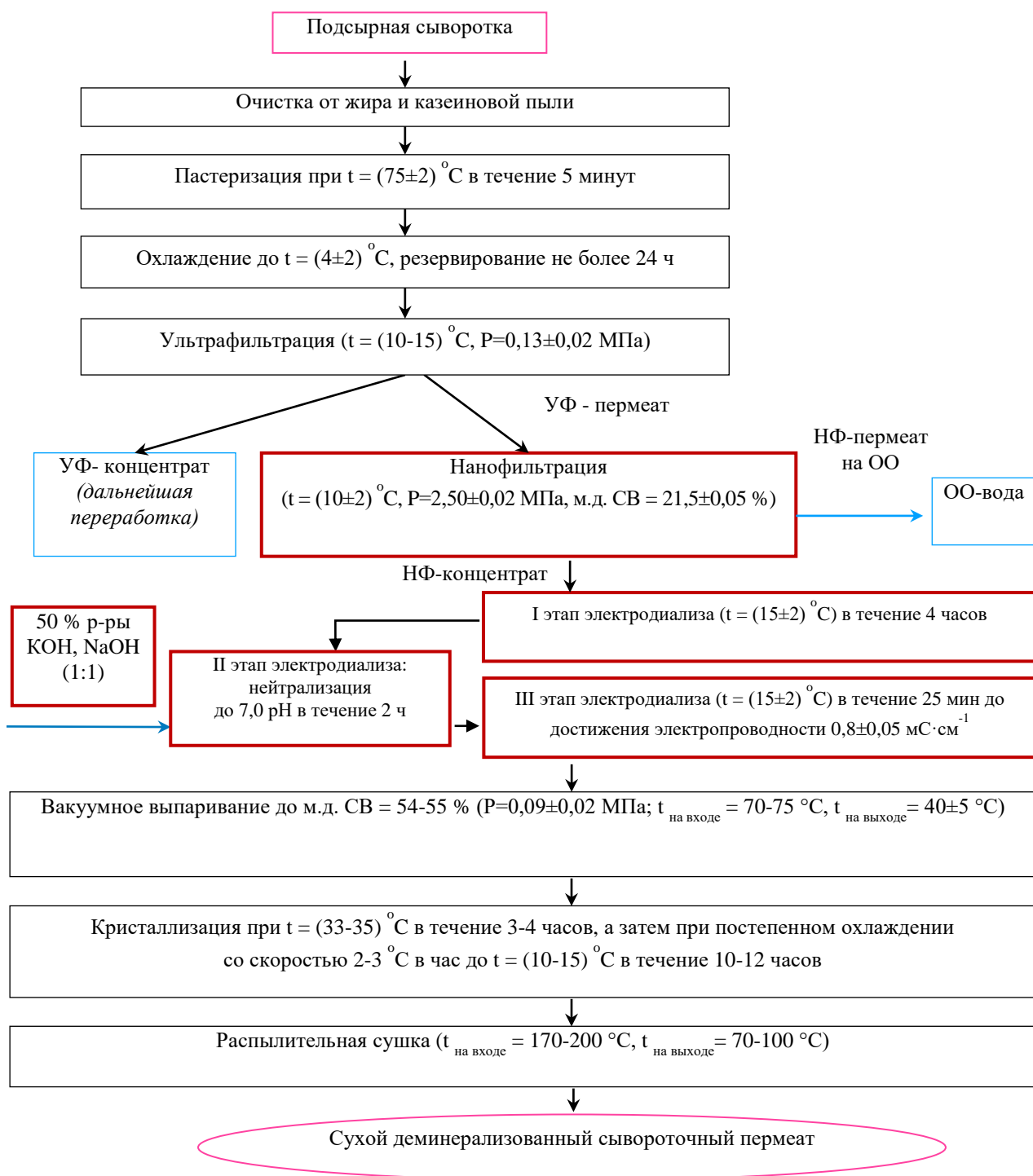


Рисунок 3.12 – Схема переработки подсырной сыворотки

Ожидается, что применение сухого деминерализованного сывороточного пермеата, выработанного по предложенной технологии, в различных областях пищевой промышленности будет способствовать экономической эффективности производства, снизит экологические риски, обеспечит стабильное качество готовых продуктов.

3.4 Анализ показателей качества и безопасности сухого деминерализованного сывороточного пермеата

Скорость восстановления сухих продуктов является характеристикой их качества, поскольку определяет способность ингредиентов выполнять конкретные задачи в пищевых системах. Процесс регидратации можно разделить на стадии: смачивание, дисперсию и окончательное растворение, на скорость каждой из которых влияет не только структура порошка и химический состав, но и условия восстановления, которые включают физические и химические факторы^{177,178}. Частицы, соприкасаясь с растворителем переходят в критическое состояние во время рассеивания и начинают быстрее погружаться с поверхности в толщу жидкости. Одновременно вокруг частиц образуется концентрированный раствор растворенного продукта, в момент, когда частица достигает большей плотности, чем у воды, она опускается на дно^{179,180,181}. В этом случае гидратация порошка зависит от соотношения на поверхности каждой частицы и толщины гидрофобного слоя молочного жира и гидрофильного слоя сывороточных белков, лактозы и минеральных солей^{182,183,184}.

¹⁷⁷ Fitzpatrick, J.J. Characterisation of the wetting Behaviour of poor Wetting food Powders and the influence of temperature and film Formation/ J.J. Fitzpatrick, J. Salmon, J. Ji, S. Miao // KONA Powder and Particle Journal. – 2017. – 34. – 282–289. – <https://doi.org/10.14356/kona.2017019>

¹⁷⁸ Дворецкий, Г. Б. Исследование смачиваемости сухих молочных продуктов / Г. Б. Дворецкий // Молочная промышленность. – 1972. – № 1. – С. 17.

¹⁷⁹ Wu, S. Updating insights into the rehydration of dairy-based powder and the achievement of functionality / S. Wu, K. Cronin, J. Fitzpatrick, S. Miao // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. – 2022. – 62. – 24. – 6664–6681. – <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1904203>

¹⁸⁰ Crowley, S.V. Rehydration and solubility characteristics of high-protein dairy powders / S.V. Crowley, A.L. Kelly, P. Schuck, R. Jeantet, J.A. O'Mahony // Advanced dairy chemistry, eds. P. L. H. McSweeney, J. A. O'Mahony, – 2016. – 99–131. New York, NY: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2800-2.4>.

¹⁸¹ Ponomarev, A.N. The rehydration Ability of whey Ingredients / A.N. Ponomarev, E.I. Melnikova, E.V. Bogdanova, D.A. Paveleva // KnE Life Sciences. – 2022. – <https://doi.org/10.18502/cls.v7i1.10151>

¹⁸² Галстян, А.Г. Теория и практика молочно-консервного производства / А.Г. Галстян, А.Н. Петров, И.А. Радаева, С.Н. Туровская, В.В. Червецов, Е.Е. Илларионова, В.К. Семипятный М.: Издательский дом «Федотов Д.А.», отпечатано в типографии «Авторская Мастерская», - 2016. - 181 с.

¹⁸³ Липатов, Н. Н. (ст.). Восстановленное молоко (теория и практика производства восстановленных молочных продуктов) / Н. Н. Липатов (ст.), К.И. Тарасов – Москва : Агропромиздат, 1985. – 256 с.

¹⁸⁴ O'Sullivan, J.J. Atomisation technologies used in spray drying in the dairy industry: A review / J.J. O'Sullivan, E.A. Norwood, J.A. O'Mahony, A.L. Kelly // Journal of Food Engineering. – 2019. – 243. – 57–69. – <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.08.027>

Перенос влаги в частицу сухого деминерализованного сывороточного пермеата зависит от структуры и поверхностного состава порошковой матрицы, которые определяются размером частиц, насыпной плотностью, поверхностным составом и т. д. Анализ гранулометрического состава образца сухого деминерализованного сывороточного пермеата приведён на рисунке 3.13.

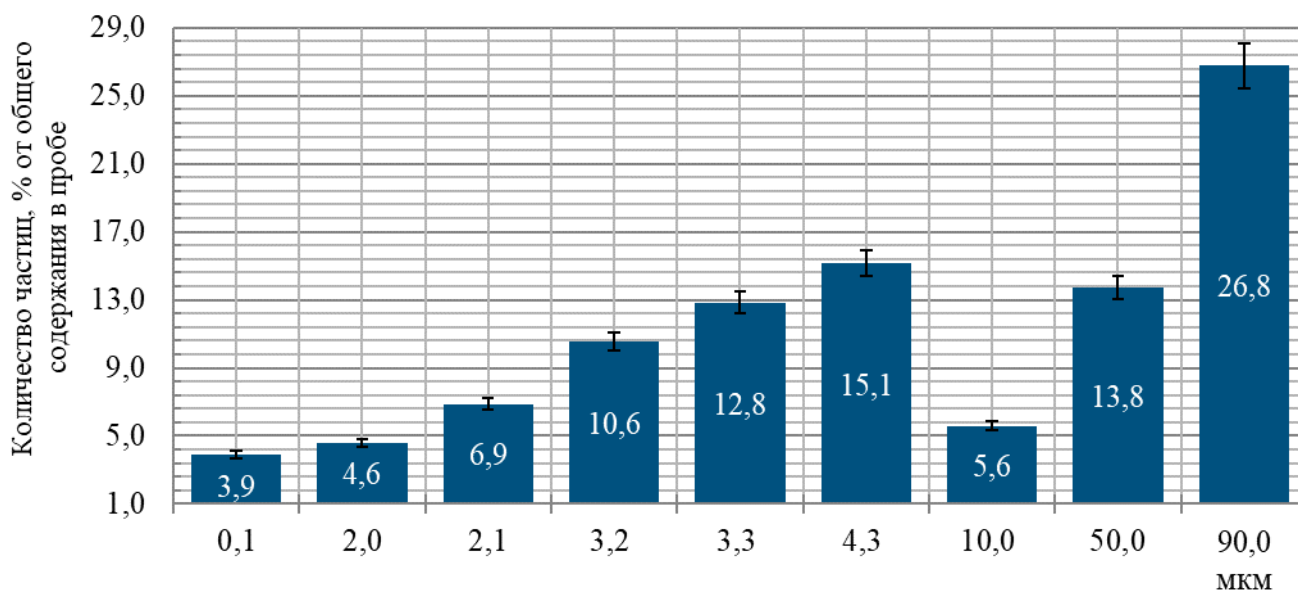


Рисунок 3.13 - Анализ гранулометрического состава сухого деминерализованного сывороточного пермеата

Средний размер частиц сухого деминерализованного сывороточного пермеата составил 54-58 мкм, что определяет наиболее приемлемый поток из бункеров при фасовке, уплотнение и сегрегацию, а также вкус, запах, текстуру и внешний вид готового продукта¹⁸⁵. Мелкие частицы порошка (до 10 мкм) более адгезивны и хуже диспергируются, преобладание крупных частиц (более 90 мкм) приводит к уменьшению удельной поверхности и когезионных межчастичных взаимодействий¹⁸⁶.

¹⁸⁵ Junfu, J. Rehydration behaviours of high protein dairy powders: The influence of agglomeration on wettability, dispersibility and solubility / J. Junfu et al. // Food Hydrocolloids. – 2016. – 58. – 194–203.

¹⁸⁶ Bhandari, B. Handbook of food powders / B. Bhandari, N. Bansal, M. Zhang, P. Schuck. – 2013. – <https://doi.org/10.1533/9780857098672>.

Капиллярный эффект и специфика внутренней диффузии воды через структуры пористых сухих частиц деминерализованного сывороточного пермеата зависят от их количества, морфологии, содержания порового воздуха и удельной поверхности порошка. Поскольку основным фактором, определяющим возможность смачивания, является поверхностное натяжение на границе сухой частицы и воды, установлен краевой угол смачивания для сухого деминерализованного сывороточного пермеата в сравнении с сухой молочной сывороткой деминерализованной. Этот показатель характеризует смачиваемость сухого порошка каплей воды, преодолевающей межфазное напряжение на границе раздела твердой и газовой фаз¹⁸⁷. При контакте с водой в образце сухой сыворотки молочной деминерализованной первоначально образовывался тупой угол смачивания, который медленно изменялся с течением времени, в отличие от образца деминерализованного сывороточного пермеата, который быстрее достигал равновесного угла смачивания (рисунок 3.14).

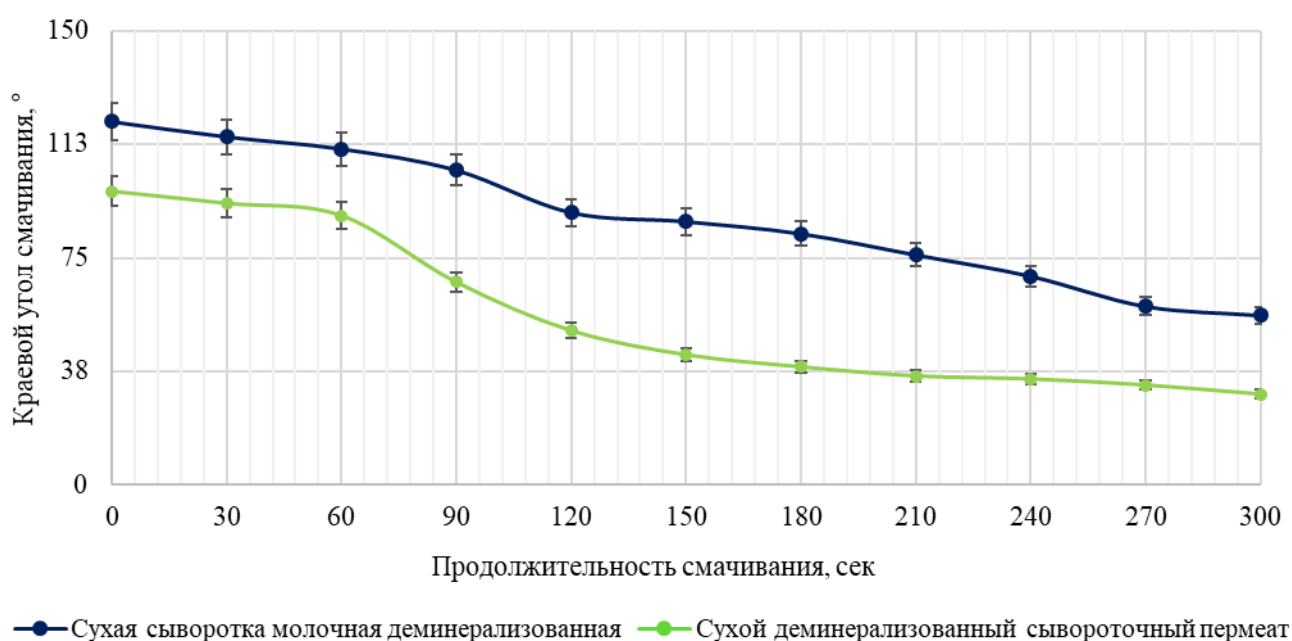


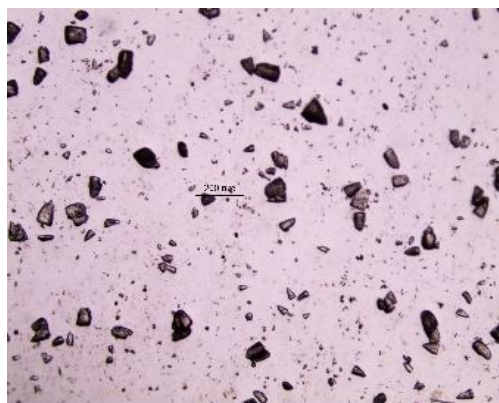
Рисунок 3.14 - Зависимость изменения краевого угла смачивания исследуемых образцов

¹⁸⁷ Junfu J. et al. 2016 Rehydration behaviours of high protein dairy powders: The influence of agglomeration on wettability, dispersibility and solubility Food Hydrocolloids, 58 194–203

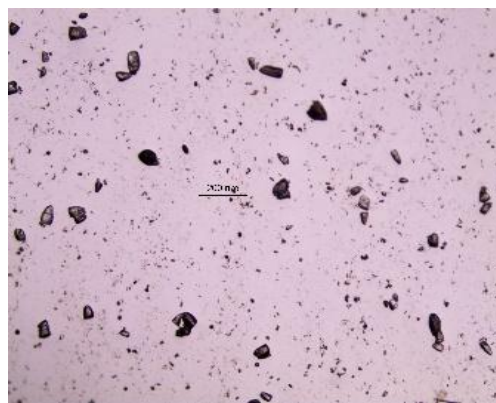
Фактическое распределение агломерированных частиц сокращает продолжительность и улучшает способность к смачиванию, что положительно влияет на растворимость готового продукта.

Конечной стадией процесса регидратации считается растворение, которое можно определить как состояние системы, при котором частицы твердого вещества полностью переходят в раствор или стабильную суспензию. Процесс растворения сухого деминерализованного сывороточного пермеата и молочной сыворотки был изучен с помощью микроскопии (рисунок 3.15). Замечено, что на границе раздела «частица подсырной сыворотки - вода» образовались гидрофобные слои¹⁸⁸, препятствующие проникновению влаги внутрь частиц (рисунок 3.15 б), в результате было получено более высокое время растворения деминерализованной молочной сыворотки по сравнению с деминерализованным сывороточным пермеатом, в образце которого происходило сравнительно быстрое растворение кристаллов лактозы и их равномерное распределение в объеме пробы.

а)

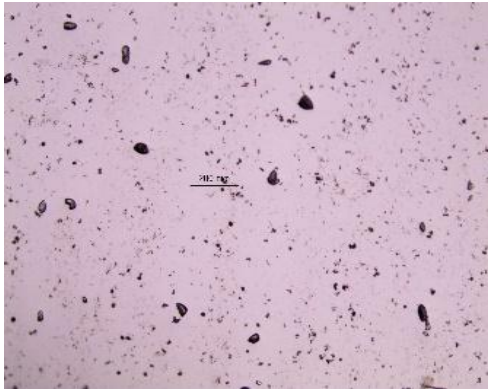


0 с

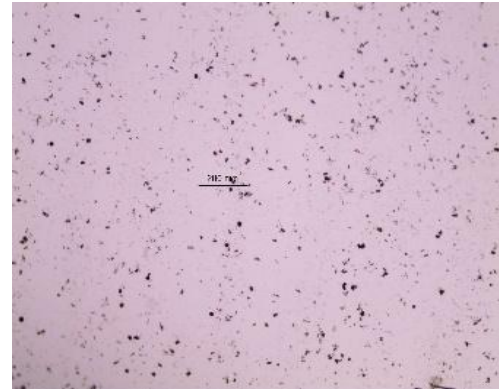


через 30 с

¹⁸⁸ Ponomarev, A.N. The Rehydration Ability of Whey Ingredients / A.N. Ponomarev, E.I.Melnikova, E.V.Bogdanova, D.A. Paveleva // in 8th Scientific and Practical Conference "Biotechnology: Science and Practice". KnE Life Sciences. – 2022. – p. 418–423. – DOI 10.18502/kl.v7i1.10151

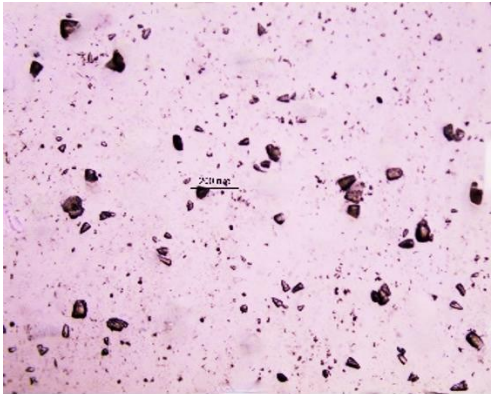


через 60 с

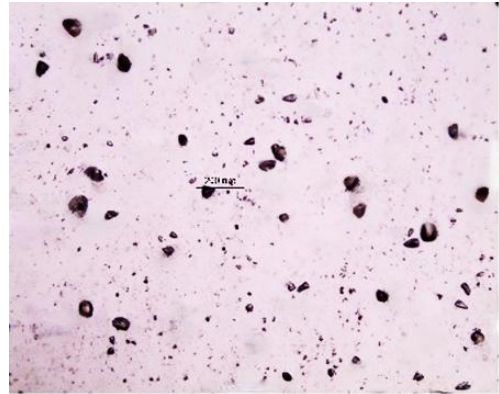


через 90 с

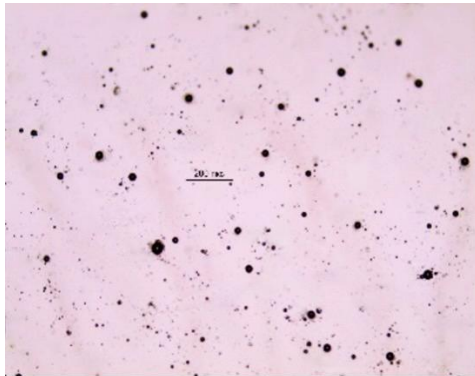
б)



0 с



через 30 с



через 60 с



через 90 с

- а) сухой деминерализованный сывороточный пермеат;
 б) сухая сыворотка молочная деминерализованная.

Рисунок 3.15 - Микроскопирование процесса растворения сухого деминерализованного сывороточного пермеата и сухой сыворотки молочной деминерализованной (увеличение $60 \times 0,85$)

Готовый продукт характеризовался высокой растворимостью и положительной корреляцией между размером частиц и диспергируемостью. Частицы сухого деминерализованного сывороточного пермеата достаточно быстро достигали равновесного состояния и распределялись между молекулами воды¹⁸⁹. Это свойство характеризует индекс растворимости сырого осадка и в большей степени зависит от структурного состояния остаточного содержания белков в нативной, денатурированной или агрегированной форме. Увеличение количества сульфгидрильных групп, которые открываются и становятся доступными при повышении температуры и удлинении времени выдержки в процессе производства продукта. Термическая денатурация белков является причиной усиления реакционной способности групп -SH, оказывающих влияние на технологические свойства сывороточных ингредиентов и повышающих антиокислительное действие, за счёт высвобождения связанных групп (таблица 3.11).

Таблица 3.11 - Содержание антиоксидантов и сульфгидрильных групп в сывороточных ингредиентах

Исследуемый продукт	Содержание антиоксидантов, мг/г	Содержание сульфгидрильных групп (ммоль/л)	
		Общие	Активные
Сыворотка молочная деминерализованная	0,146	0,32 ± 0,02	0,11 ± 0,02
Сухой деминерализованный сывороточный пермеат	0,024	0,13 ± 0,02	0,05 ± 0,02

Установленные физико-химические показатели сухого деминерализованного сывороточного пермеата (таблица 3.12) доказывают возможность его применения в технологиях различных ассортиментных групп продуктов питания.

¹⁸⁹ Агаркова, Е. Ю. Особенности технологии молочных продуктов, обогащенных сывороточными белками / Е. Ю. Агаркова, А. Ю. Чиликин // Молочная промышленность. – 2021. – № 3. – С. 49-51. – DOI 10.31515/1019-8946-2021-03-49-51.

Таблица 3.12 - Физико-химические показатели сухого деминерализованного сывороточного пермеата

Наименование показателя	Значение
Массовая доля сухих веществ, %	97,73 ± 0,50
Массовая доля общего белка, %	2,31 ± 0,22
Массовая доля лактозы, %	90,60 ± 0,70
Массовая доля жира, %	Менее 0,01
Массовая доля золы, %	0,55 ± 0,04
Содержание хлоридов, мг/100 г	3,57 ± 0,06
Содержание кальция, мг/100 г	81,7 ± 0,21
Содержание общего фосфора, мг/100 г	215,5 ± 0,10
Содержание натрия, мг/100 г	88,60 ± 0,04
Содержание калия, мг/100 г	159,2 ± 0,06
Содержание железа, мг/кг	Менее 1,0
Содержание магния, мг/кг	168,3 ± 0,48
Содержание меди, мг/кг	0,17 ± 0,01
Активная кислотность	6,22 ± 0,04
Группа чистоты	I
Объемная насыпная плотность, г/см ³	0,68 ± 0,1
Рыхлая насыпная плотность, г/см ³	0,76 ± 0,1
Насыпная плотность, г/см ³	0,81 ± 0,1
Индекс растворимости, см ³ сырого осадка	0,10 ± 0,25
Пригорелые частицы (диск)	A/B
Диспергируемость, %	80,6 ± 4,0 % относ.
Смачиваемость, %	62,0 ± 4,0 % относ.

Индекс растворимости сухого деминерализованного сывороточного пермеата составляет 0,1 см³ сырого осадка, диспергируемость - 80,6 %, смачиваемость - 62,0 %, насыпная плотность несколько выше, чем у сухой молочной сыворотки – в пределах 0,75-0,83 г/см³, что обусловлено высоким содержанием лактозы и особенностями технологии: сгущение на ВВУ до массовой доли сухих веществ 54-55 % с последующей кристаллизацией и режимами распылительной сушки.

Высокая адгезия сухого деминерализованного сывороточного пермеата с другими смесевыми компонентами обусловлена его физико-химическими характеристиками, а основные показатели подтверждают хорошую способность к восстановлению и адаптацию в технологиях других продуктов питания.

Ограничивающим фактором применения сухого деминерализованного сывороточного пермеата в некоторых отраслях пищевой промышленности являются микробиологические показатели, так как сырье для производства – молочная сы-

воротка – содержит остаточную заквасочную микрофлору, бактериофаги, а также отличается возможным вторичным обсеменением¹⁹⁰.

Проведены исследования по изучению микрофлоры сывороточного пермеата на различных технологических этапах производства: деминерализация, сгущение, кристаллизация, сушка (таблицы 3.13).

Таблица 3.13 – Показатели микрофлоры сывороточного пермеата на этапах производства

Наименование показателя	Деминерализованный сывороточный пермеат перед выпариванием	Сгущенный сывороточный пермеат	Сывороточный пермеат в процессе кристаллизации	Сухой сывороточный пермеат
КМАФАнМ, КОЕ/см ³ или г	80	560	650	400
Дрожжи, КОЕ/см ³ или г	0	0	0	0
Споровые палочки рода <i>Bacillus</i>	6	3	7	0
Титр бактериофага (по методу Аппельмана)	10 ⁻⁷	10 ⁻⁷	10 ⁻⁷	10 ⁻⁷

Размеры бактериофагов сопоставимы с молекулами сывороточных белков (~ 20 нм)¹⁹¹, поэтому мембранная фильтрация снижает их присутствие в сухом деминерализованном сывороточном пермеате. Поскольку при концентрировании белковой фракции подсырной сыворотки в процессе ультрафильтрации увеличивается содержание остаточной микрофлоры¹⁹², важным фактором, обеспечивающим безопасность готовых продуктов, является эффективная мойка и дезинфекция технологического оборудования¹⁹³.

¹⁹⁰ Храмов А.Г., Эволюция переработки молочной сыворотки: прошлое, настоящее, будущее (часть 1)/ А.Г. Храмов, А.А. Борисенко, И.А. Евдокимов, А.А. Брацихин, Л.А. Борисенко// Современная наука и инновации. - 2021. - № 2 (34). - С. 129-139.

¹⁹¹ Тепел, А. Химия и физика молока/ А. Тепел. – Пер. с нем. под ред. канд. техн. наук, доц. С.А. Фильчаковой // СПб.: Профессия. – 2012. – 832 с.

¹⁹² Schiffer, S. Effect of Temperature-Dependent Bacterial Growth during Milk Protein Fractionation by Means of 0.1 µM Microfiltration on the Length of Possible Production Cycle Times / S. Schiffer, U. Kulozik // Membranes. – 2020. – 10. - 326. – DOI:10.3390/membranes10110326

¹⁹³ Анисимов, Г.С. Влияние температуры электродиализной обработки на микрофлору пермеата обезжиренного молока / Г.С. Анисимов, И.А. Евдокимов, С.А. Рябцева, А.Н. Донских, В.Р. Ахмедова, В.А. Кравцов // Молочная промышленность. - 2018. - № 10. - С. 14-15.

Процесс получения сухого деминерализованного сывороточного пермеата позволил снизить количество микроорганизмов более чем на 90 %. Основные этапы, на которых происходит снижение бактериальной обсемененности: пастеризация подсырной сыворотки (на уровне 92 %) и мембранное фракционирование (на уровне 80 %).

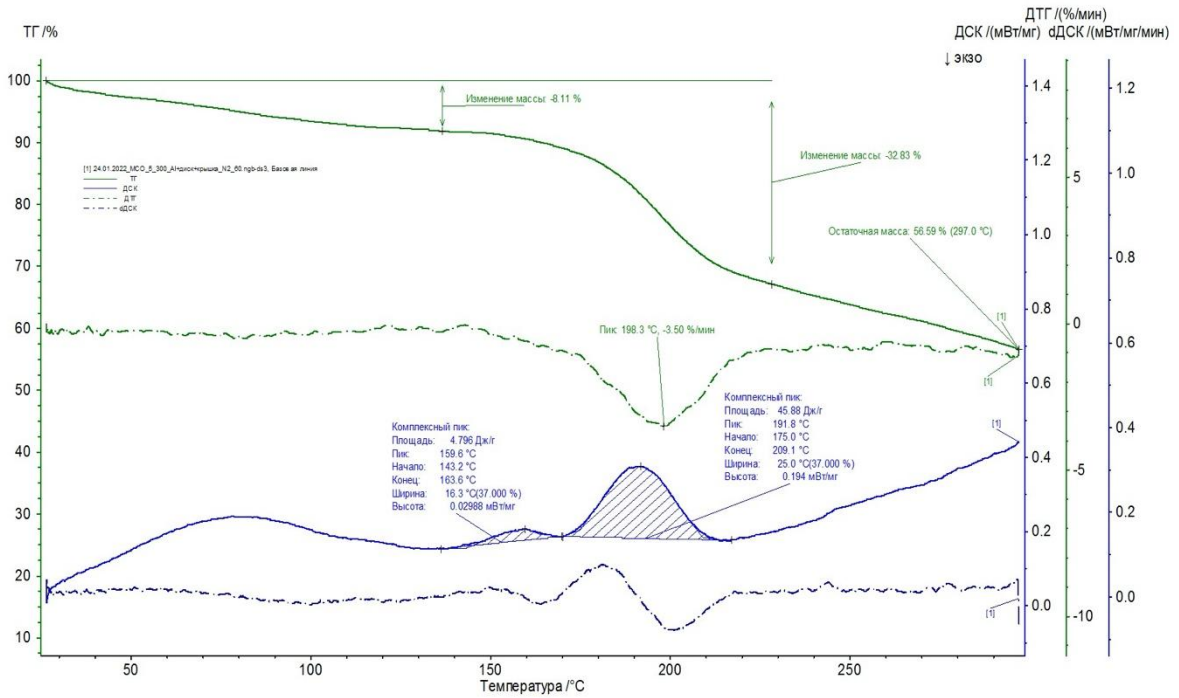
3.5 Научное обоснование области применения сухого деминерализованного сывороточного пермеата

Прогнозирование теплового поведения углеводов имеет большое значение в технологиях производства пищевых продуктов, обеспечивающих термическую обработку лактозосодержащих ингредиентов, химический состав и характеристики которых определяют поведение при смешивании и изменения влажности, время высыхания, выбор упаковки, а также стабильность при хранении. Варьирование некоторых термодинамических свойств лактозосодержащих продуктов относительно содержания влаги определяет механизмы сорбции на всех стадиях технологического процесса.

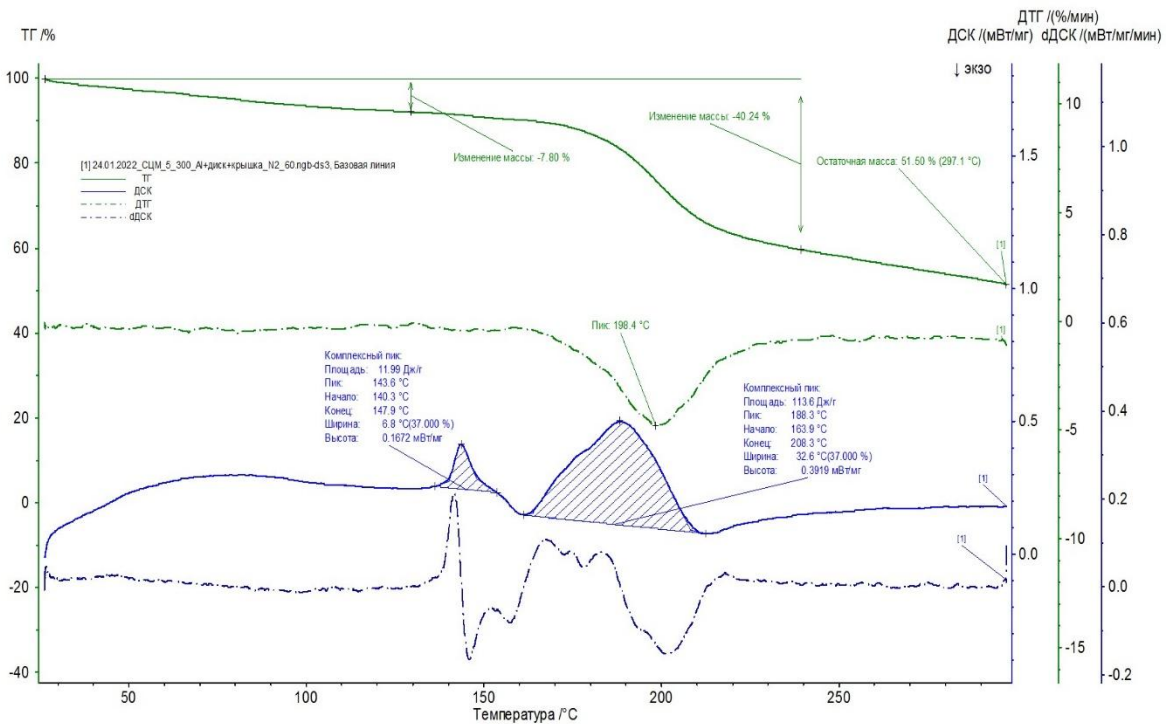
Для оценки возможности применения сухого деминерализованного сывороточного пермеата при производстве продуктов с пониженным гликемическим индексом, в том числе кондитерских и хлебобулочных изделий, с целью замены традиционных молочных ингредиентов (сухое обезжиренное молоко, сухое цельное молоко, сухая сыворотка молочная деминерализованная, лактоза) и сахара белого, изучены термодинамические характеристики, фазовые переходы материалов в зависимости от температурного воздействия и соотношение свободной и связанной влаги методами дифференциального термического анализа (ДТА) и термогравиметрии (ТГ). Вид термограмм исследуемых образцов представлен специфици-

ческими кривыми (рисунок 3.16), изгиб которых зависит от химического состава компонентов и агломератов (таблица 3.14).

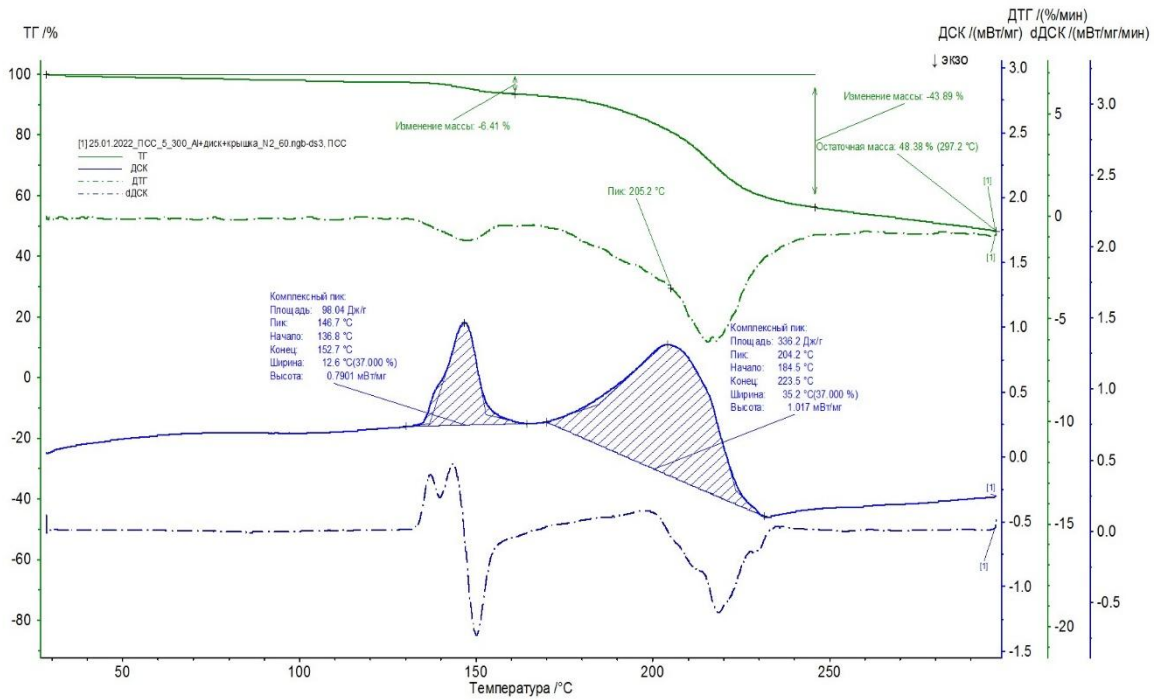
а)



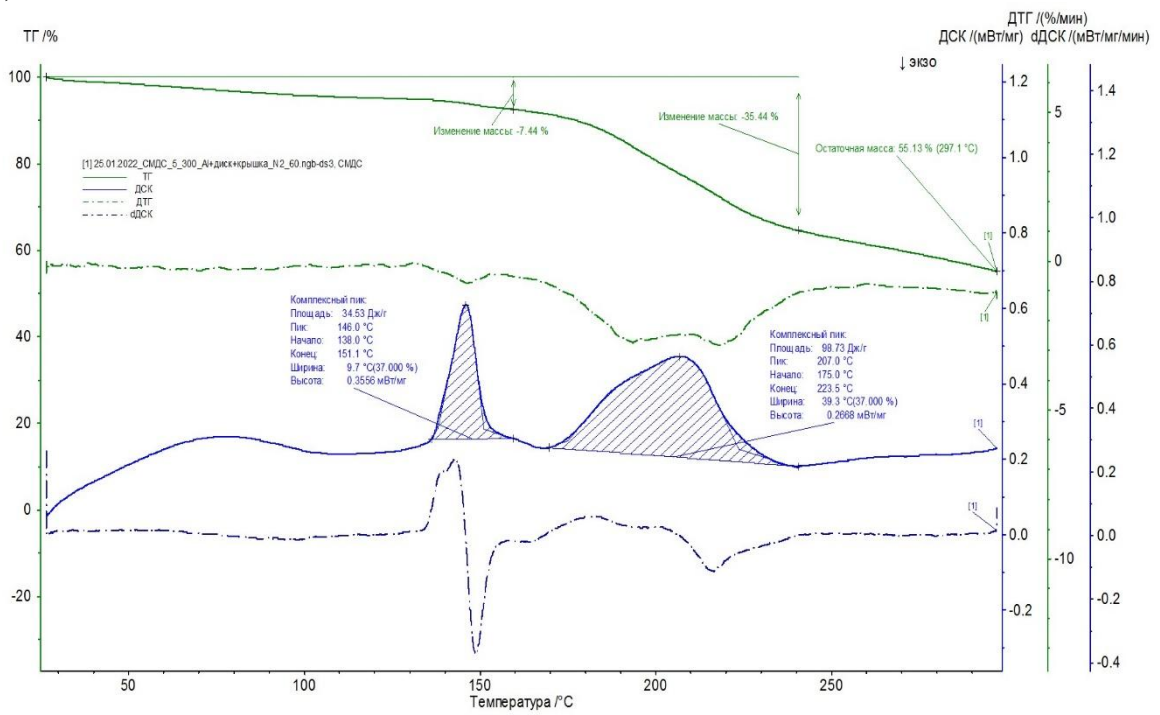
б)

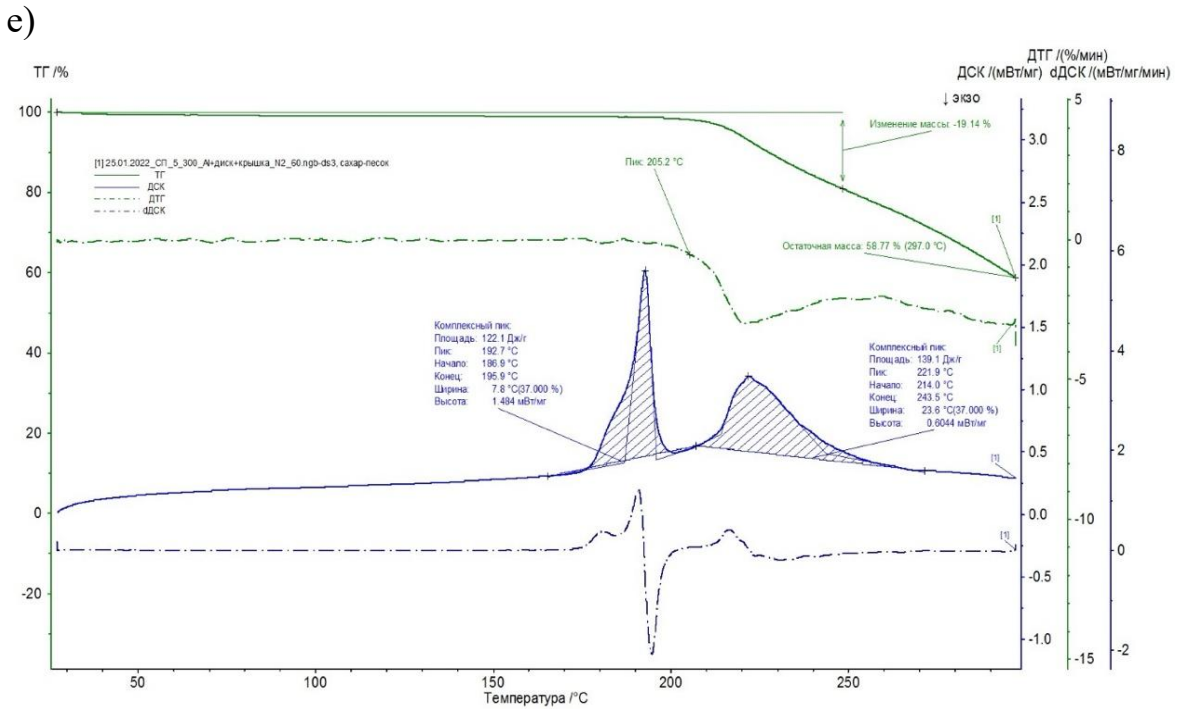
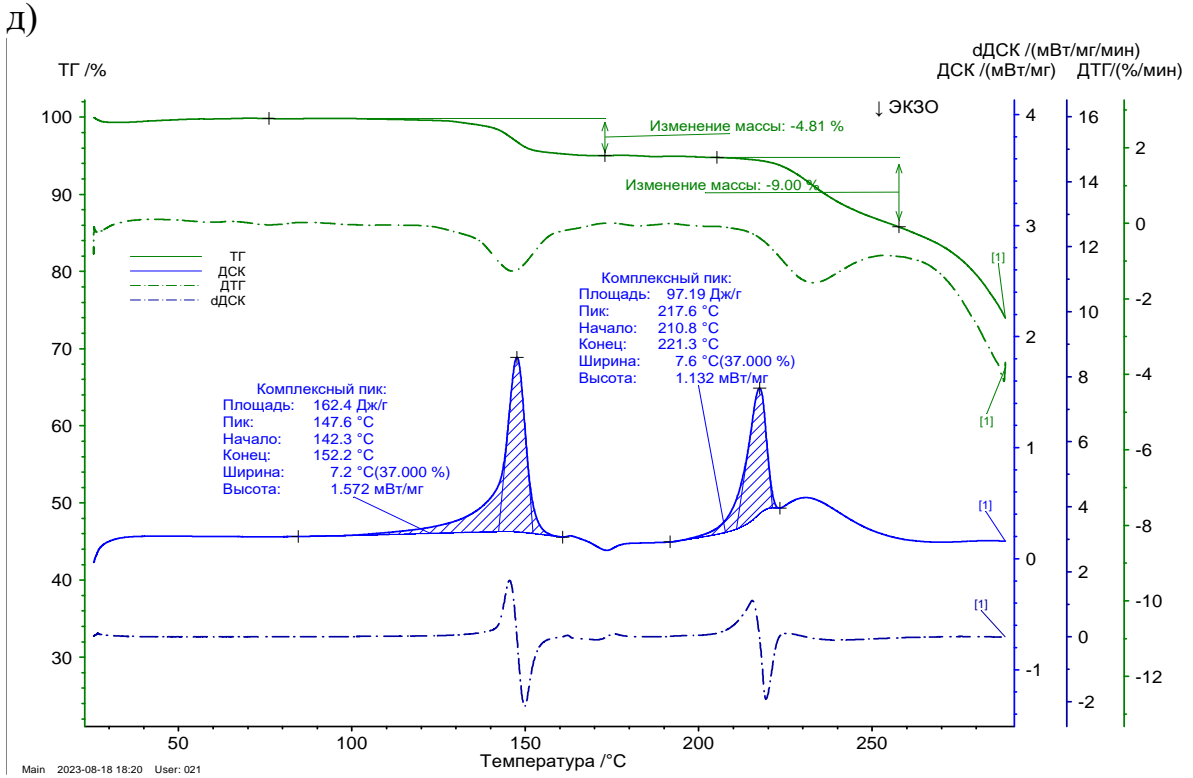


В)



Г)





- а) молоко сухое обезжиренное; б) сухое цельное молоко;
 в) сухой деминерализованный сывороточный пермеат;
 г) сыворотка молочная деминерализованная сухая; д) сахар молочный (лактоза);
 е) сахар белый.

Рисунок 3.16 - Термограммы исследованных образцов

Таблица 3.14 – Химический состав исследуемых лактозосодержащих ингредиентов

Наименование показателя	Сухое цельное молоко	Сухое обезжиренное молоко	Сухой деминерализованный сывороточный пермеат	Сыворотка молочная деминерализованная сухая	Сахар молочный (лактоза)
Массовая доля влаги, %	4,1±0,2	4,6±0,2	2,3±0,3	4,2±0,3	1,1±0,15
Массовая доля лактозы в СВ, %	32,2±0,7	53,0±0,7	92,7±0,7	80,5±0,7	98,5±0,7
β-форма, % от общего содержания лактозы	18,6±0,7	9,3±0,7	14,4±0,7	15,5±0,7	2,0±0,7
Общий белок в СВ, %	32,8±0,22	33,0±0,22	2,4±0,30	12,5±0,30	0,1±0,04
Массовая доля жира в СВ, %	25,5±0,20	1,5±0,10	-	1,0±0,10	-
Массовая доля золы в СВ, %	5,5±0,15	8,0±0,15	0,56±0,15	2,0±0,15	0,3±0,05

Массовая доля влаги определяет количество физически связанной воды на поверхностях частиц, однако лактоза, как основное вещество исследуемых ингредиентов, в большей степени оказывает влияние на ход термограмм. Плавный изгиб кривой в диапазоне температур от 40 до 120 °С связан с результатами испарения поверхностных вод, задерживаемых в порах и капиллярах анализируемых образцов. Первые эндотермические пики при температуре около 135 °С являются результатом моногидратной десорбции или относятся к удалению гидратобразующей воды, сопровождающейся поглощением тепла и изменением массы образцов на кривых ТГ. Площадь пика dДСК пропорциональна изменению энтальпии реакции и изменению массы образцов (таблица 3.15) и обратно пропорциональна их температуропроводности. Энтальпия характеризует энергетические из-

менения, происходящие в пищевых ингредиентах на разных стадиях гидратации, вызванные дифференциальными изменениями равновесной влажности¹⁹⁴.

Таблица 3.15 - Изменение энтальпии и массы в процессе нагревания исследуемых образцов

Наименование образца	Температурный интервал ΔT , °C	Энтальпия ΔH , Дж/г (кривая ДСК)		Изменение массы образца, % (кривая ТГ)
		1 пик	2 пик	
Молоко сухое обезжиренное	$(140 - 200) \pm 1,5 \%$	$4,80 \pm 3 \%$	$45,88 \pm 3 \%$	$32,83 \pm 1 \%$
Сухое цельное молоко	$(140 - 210) \pm 1,5 \%$	$11,99 \pm 3 \%$	$113,60 \pm 3 \%$	$40,24 \pm 1 \%$
Сухой деминерализованный сывороточный пермеат	$(135 - 225) \pm 1,5 \%$	$98,04 \pm 3 \%$	$336,20 \pm 3 \%$	$43,89 \pm 1 \%$
Сыворотка молочная деминерализованная сухая	$(135 - 225) \pm 1,5 \%$	$34,53 \pm 3 \%$	$98,73 \pm 3 \%$	$35,44 \pm 1 \%$
Сахар белый	$(185 - 244) \pm 1,5 \%$	$122,10 \pm 3 \%$	$139,10 \pm 3 \%$	$19,14 \pm 1 \%$
Сахар молочный (лактоза)	$(162 - 235) \pm 1,5 \%$	$191,05 \pm 3 \%$	$322,17 \pm 3 \%$	$19,87 \pm 1 \%$

Высокое значение энтальпии сухого деминерализованного сывороточного пермеата в сравнении с исследуемыми ингредиентами, может быть обусловлено степенью связанности влаги и специфическим соотношением белок-лактоза, а изменение массы (43,89 %) указывать на максимальное количество удаляемой связанной влаги 2 этапа дегидратации.

На рисунке 3.17 приведена зависимость степени превращения α от температуры T , К, рассчитанная в соответствии с термогравиметрическими кривыми для нескольких температурных интервалов. S-образная форма свидетельствует о трехступенчатом процессе дегидратации, с различной скоростью высвобождения воды и ее сложном характере взаимодействия с другими компонентами исследованных образцов. Отличие кривой степени превращения для сахара белого и очищенной лактозы связано с химическим составом и разрывом водородных связей

¹⁹⁴ Magoń, A. Heat capacity and transition behavior of sucrose by standard, fast scanning and temperature-modulated calorimetry / A. Magoń, M. Pyda, A. Wurm [et al.] // *Thermochimica Acta*. – 2014. – Vol. 589. – P. 183-196. – DOI 10.1016/j.tca.2014.05.029.

перед плавлением кристаллической структуры, в которую заключены химически связанные молекулы воды^{195,196,197}.

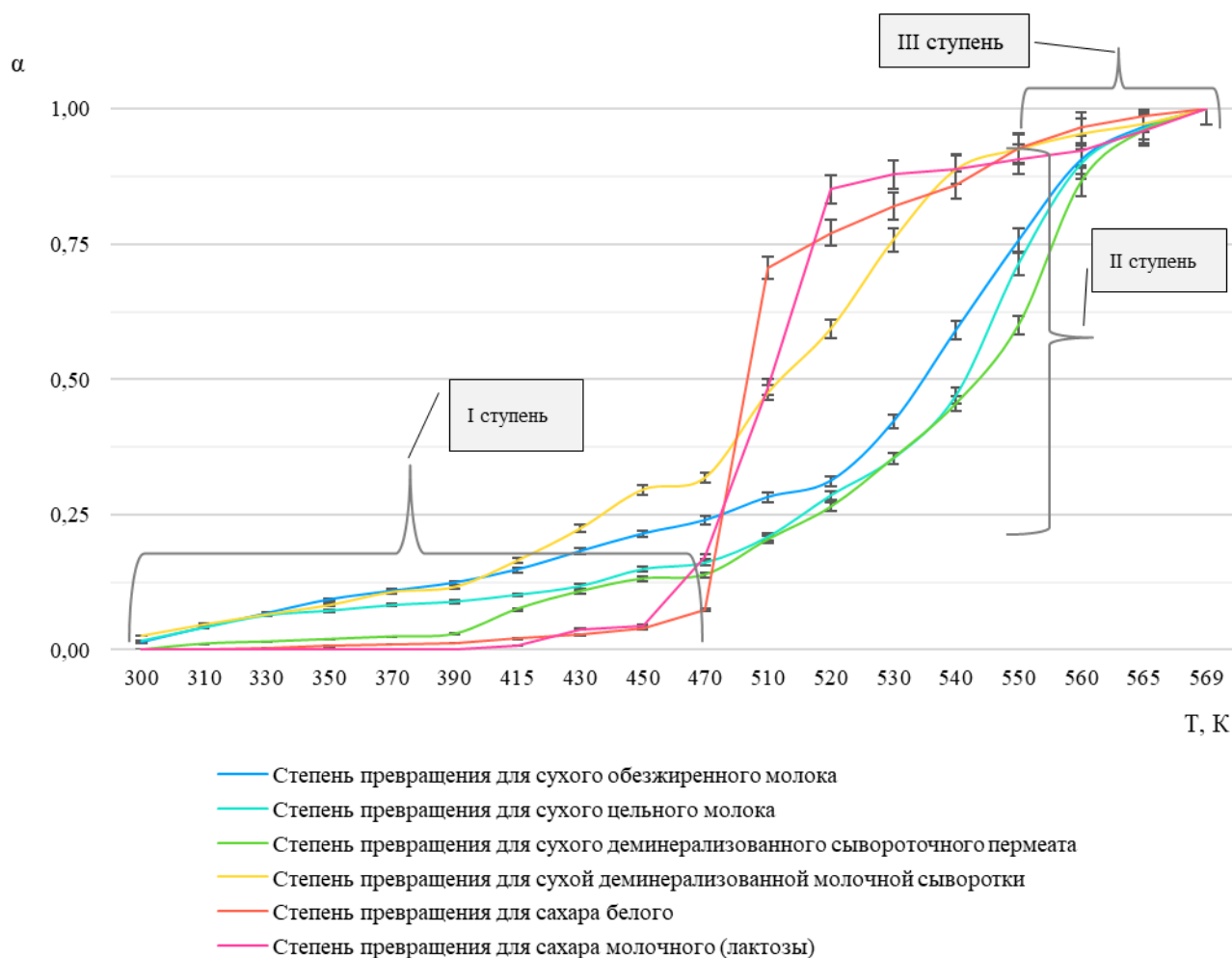


Рисунок 3.17 - Зависимость превращения вещества α от температуры

I ступень – участок, на котором обнаружено удаление физически связанной влаги и молекул воды, удерживаемых слабыми капиллярными силами; II ступень – участок удаления иммобилизованной влаги (молекулы воды, образующих дальние адсорбционные слои и кристаллогидраты); III ступень – участок на котором удалялась химически связанная вода, характеризующая мономолекулярный слой,

¹⁹⁵ Magon, A. Reprint of “Heat capacity and transition behavior of sucrose by standard, fast scanning and temperature-modulated calorimetry” / A. Magon, A. Wurm, C. Schick, Ph. Pangloli, S. Zivanovic, M. Skotnicki and M. Pyda // *Thermochimica Acta* - 2015. -603. - 149-161.

¹⁹⁶ Lu, Y. Impact of sucrose crystal composition and chemistry on its thermal behavior / Y. Lu, L. Yin, D.L. Gray, L.C. Thomas and S.J. Schmidt // *Journal of Food Engineering* - 2017. – 214. - 193-208.

¹⁹⁷ Huppertz, T. Lactose in dairy ingredients: effect on processing and storage stability / T. Huppertz, I. Gazi // *Journal of Dairy Science*. - 2016. - vol. 99. - no. 8. - pp. 6842–6851.

связанный полярными группами и водно-дипольными взаимодействиями, что соответствовало остаточной влаге после высушивания навески¹⁹⁸ (таблица 3.16).

Таблица 3.16- Количественные характеристики кинетически неравноценной воды в исследованных образцах

Степень дегидратации	ΔT , К	Δt , °С	$\Delta \alpha$	Массовая доля удаляемой влаги, %
Молоко сухое обезжиренное				
I	$(299 - 416) \pm 1,5 \%$	$(26 - 143) \pm 1,5 \%$	$(0 - 0,148) \pm 3 \%$	$8,11 \pm 1 \%$
II	$(416 - 482) \pm 1,5 \%$	$(143 - 209) \pm 1,5 \%$	$(0,148 - 0,250) \pm 3 \%$	$24,72 \pm 1 \%$
III	$(482 - 569) \pm 1,5 \%$	$(209 - 296) \pm 1,5 \%$	$(0,250 - 1,000) \pm 3 \%$	$67,17 \pm 1 \%$
Сухое цельное молоко				
I	$(299 - 413) \pm 1,5 \%$	$(26 - 140) \pm 1,5 \%$	$(0 - 0,105) \pm 3 \%$	$7,80 \pm 1 \%$
II	$(413 - 481) \pm 1,5 \%$	$(140 - 208) \pm 1,5 \%$	$(0,105 - 0,170) \pm 3 \%$	$32,34 \pm 1 \%$
III	$(481 - 569) \pm 1,5 \%$	$(208 - 296) \pm 1,5 \%$	$(0,170 - 1,000) \pm 3 \%$	$59,86 \pm 1 \%$
Сухой деминерализованный сывороточный пермеат				
I	$(299 - 410) \pm 1,5 \%$	$(26 - 137) \pm 1,5 \%$	$(0 - 0,073) \pm 3 \%$	$6,41 \pm 1 \%$
II	$(410 - 497) \pm 1,5 \%$	$(137 - 224) \pm 1,5 \%$	$(0,073 - 0,172) \pm 3 \%$	$37,48 \pm 1 \%$
III	$(497 - 569) \pm 1,5 \%$	$(224 - 296) \pm 1,5 \%$	$(0,172 - 1,000) \pm 3 \%$	$56,11 \pm 1 \%$
Сыворотка молочная деминерализованная сухая				
I	$(299 - 411) \pm 1,5 \%$	$(26 - 138) \pm 1,5 \%$	$(0 - 0,148) \pm 3 \%$	$7,44 \pm 1 \%$
II	$(411 - 497) \pm 1,5 \%$	$(138 - 224) \pm 1,5 \%$	$(0,162 - 0,376) \pm 3 \%$	$28,00 \pm 1 \%$
III	$(497 - 569) \pm 1,5 \%$	$(224 - 296) \pm 1,5 \%$	$(0,376 - 1,000) \pm 3 \%$	$64,56 \pm 1 \%$
Сахар белый				
I	$(299 - 460) \pm 1,5 \%$	$(26 - 187) \pm 1,5 \%$	$(0 - 0,048) \pm 3 \%$	$1,0 \pm 1 \%$
II	$(460 - 517) \pm 1,5 \%$	$(187 - 244) \pm 1,5 \%$	$(0,048 - 0,756) \pm 3 \%$	$19,14 \pm 1 \%$
III	$(517 - 569) \pm 1,5 \%$	$(244 - 296) \pm 1,5 \%$	$(0,756 - 1,000) \pm 3 \%$	$80,86 \pm 1 \%$
Сахар молочный (лактоза)				
I	$(299 - 464) \pm 1,5 \%$	$(26 - 191) \pm 1,5 \%$	$(0 - 0,034) \pm 3 \%$	$1,1 \pm 1 \%$
II	$(464 - 503) \pm 1,5 \%$	$(191 - 230) \pm 1,5 \%$	$(0,034 - 0,856) \pm 3 \%$	$18,87 \pm 1 \%$
III	$(503 - 553) \pm 1,5 \%$	$(230 - 280) \pm 1,5 \%$	$(0,856 - 1,000) \pm 3 \%$	$80,13 \pm 1 \%$

Наличие множественных пиков на кривых dДСК от 135 до 170 °С для лактозосодержащих ингредиентов (рисунок 3.16 а-г) указывает на возможное протекание реакции Майяра в смеси с белками одновременно с потерей кристаллизации

¹⁹⁸ Melnikova, E. Sucrose, Lactose, Thermogravimetry, and Differential Thermal Analysis: The Estimation of the Moisture Bond Types in Lactose-Containing Ingredients for Confectionery Products with Reduced Glycemic Index / E. Melnikova, E. Bogdanova, D. Paveleva, I. Saranov // Hindawi International Journal of Food Science. – Vol. 2023. - 10 p. - Article ID 8835418. - <https://doi.org/10.1155/2023/8835418>

онной воды лактозой. Полученные производные обеспечивают подрумянивание пищевых продуктов при выпечке и жарке, а также снижают их пищевую и биологическую ценность^{199,200,201}.

Во время тепловой обработки химические превращения сухого деминерализованного сывороточного пермеата, чувствительного к реакции Майяра, обеспечили высокие концентрации меланоидинов в конечном продукте. Небольшая скорость реакции связана с низкой активностью воды и массовой долей влаги в образце²⁰². Установление температурного диапазона протекания реакций Майяра имеет важное значение в контексте поставленных задач. Поскольку 5-гидроксиметилфурфурол является одним из промежуточных продуктов, его наличие после теплового воздействия служит индикатором начала реакции Майяра, что позволяет объективно определить неферментативное потемнение на кривых ДСК (таблица 3.17).

Таблица 3.17 – Содержание 5-гидроксиметилфурфуrolа в экспериментальных образцах

Образец	Температура окончания пика на кривой ДСК, °С	Содержание 5-гидроксиметилфурфуrolа, мг/кг	Индекс потемнения
Сухое обезжиренное молоко	153	5,4 ± 0,4	0,09 ± 0,02
Сухое цельное молоко	134	20,6 ± 0,9	0,31 ± 0,02
Сухой деминерализованный сывороточный пермеат	132	12,3 ± 0,5	0,17 ± 0,02
Сухая молочная сыворотка деминерализованная	136	17,8 ± 1,1	0,024 ± 0,02

¹⁹⁹ Hwang, D.F. One-step Simultaneous differential Scanning Calorimetry-FTIR microspectroscopy to quickly Detect continuous Pathways in the Solid-state Glucose/asparagine Maillard Reaction/ D.F. Hwang, T.F. Hsieh, S.Y. Lin // Journal of AOAC INTERNATIONAL. – 2013. – 96. – 6. – 1362–1364. – <https://doi.org/10.5740/jaoacint.13-074>

²⁰⁰ Kaya, N. Demineralization of Cheese Whey by Sequential Nanofiltration (NF) and Electrodialysis (ED) Processes. / N. Kaya, E. Altıok, D.S. Gökkaaya, N. Kabay, & S. Otles // Journal of Membrane Science and Research. - 2019. - V. 5. 250-255.

²⁰¹ Храмов, А.Г. Хлеб и мучные кондитерские изделия на молочной сыворотке / А.Г. Храмов, Б.О. Суюнчева, Ю.Ф. Росляков [и др.] // Хлебобулочные, кондитерские и макаронные изделия XXI века: Материалы VII Международной научно-практической конференции, Краснодар, 16–18 сентября 2021 года. – Краснодар: ФГБОУ ВО «КубГУ», 2021. – С. 120-126.

²⁰² Handbook of Drying for Dairy Products by C Anandharamakrishnan / J. Wiley. - 2017. - p 219.

Небольшие экзотермические пики на кривых dДСК, без потери массы, в диапазоне температур 165-190 °С, могут характеризовать превращение аморфной лактозы в кристаллическую. Эндотермические пики при температуре около 205-225 °С вероятно относятся к аномеризации α -формы лактозы в β -форму с последующим плавлением и разложением компонентов. Резкое снижение массы наблюдалось в интервале температур 215-245 °С, что может быть вызвано разложением элементарных побочных компонентов, а также указывать на разрушение кристаллической структуры^{203,204}. Пики на кривой ДСК лактозы (рисунок 3.16 д) отражают потерю кристаллизационной воды (130–180 °С), аномеризацию α -формы в β -форму (182–235 °С) и плавление с последующим разложением (235–263 °С). На результирующей кривой ДСК для образца сахара белого (рисунок 3.16 е) наблюдали два эндотермических пика с максимальными значениями 192 °С и 222 °С соответственно. Термическое разложение сахарозы начиналось при 162 °С, а температурой плавления можно считать значение формирования большого пика (приблизительно 205 °С при скорости нагрева 5 К/мин). Видимый процесс дегидратации (в производной кривой потери веса) наступил уже при 185-187 °С и продолжался до конечной температуры с общей потерей массы 41,23 %, в области плавления потеря веса была минимальной (до 2 %), определялась кристаллическим полиморфизмом и примесями.

Специфические особенности химического состава испытуемых образцов определили различные соотношения влаги. Для сухого деминерализованного сывороточного пермеата количество химически связанной воды составляло $56,11 \pm 1$ %, что близко по значению к сухому цельному молоку ($59,86 \pm 1$ %), молочной сыворотки деминерализованной ($64,56 \pm 1$ %), сухому обезжиренному молоку ($67,17 \pm 1$ %) и позволяет провести их замещение без каких-либо дополнительных технологических операций. В некоторой степени схожая форма кривых

²⁰³ Lee, J.W. Can the Thermodynamic Melting Temperature of Sucrose, Glucose, and Fructose Be Measured Using Rapid-Scanning Differential Scanning Calorimetry (DSC)? / J.W. Lee, L.C. Thomas, S.J. Schmidt // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2011. – 59. – 3306-10.

²⁰⁴ Lu, Y. Impact of sucrose crystal composition and chemistry on its thermal behavior / Y. Lu, L.L. Yin, D.L. Gray, L.C. Thomas, S.J. Schmidt // Journal of Food Engineering. – 2017. – 214. – 193–208. – <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.06.016>

ДСК и ТГ для сухого деминерализованного сывороточного пермеата и других образцов подтверждает возможность его использования в качестве компонента рецептур продуктов, в том числе хлебобулочных и кондитерских изделий, для снижения гликемического индекса (замена сахарозы), улучшения органолептических свойств, а также коррекции их минерального состава.

Лактоза, как основной компонент сухого деминерализованного сывороточного пермеата, характеризующаяся способностью к мутаротации, катализируемой молекулами воды растворителей, гигроскопичностью и более сложной структурой кристаллической решетки по сравнению с сахарозой, может привести к различиям в функционально-технологических свойствах пищевых систем и потребовать корректировки некоторых операций в случае полной замены сахара белого. Ограничивающим фактором такой замены является более низкая сладость лактозы (1,0 SES для сахарозы и 0,16–0,4 SES для лактозы²⁰⁵) и термическая стабильность продуктов, содержащих лактозу (разложение сахарозы происходит при 210–260 °С, а в других исследуемых образцах сухих молочных продуктов - при 215–245 °С).

²⁰⁵ Reznichenko, I. Sugar substitutes and sweeteners in confectionery Technology / I. Reznichenko, M. Shcheglov // Food Processing: Techniques and Technology. – 2020. – 50. – 4. – 576–587. – <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-576-587>

Глава 4. Прикладные аспекты использования сухого деминерализованного сывороточного пермеата

Состав и свойства сухого деминерализованного сывороточного пермеата позволяют расширить сферы его практического применения в технологиях пищевых продуктов, в том числе для частичной или полной замены сахара белого (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Сферы применения сухого деминерализованного сывороточного пермеата

Продовольственный сектор	Примеры продуктов	Технологические преимущества
1	2	3
Пищевая промышленность		
Молочная промышленность	Молочные смеси, напитки, мороженое, йогурты, сырные продукты, спреды, коктейли	Усиление сладости, вкуса в комбинации с другими ароматами (шоколад, ваниль и др.), а также как относительно дешевый источник сухих веществ ²⁰⁶
Мясное и рыбное производство	Колбасные изделия, мясо, рыба	Желирование, жиросвязывающая способность, как заменитель хлорида натрия при посоле
Хлебопекарное производство	Печенье, кексы, коржи, хлеб, булочки	Привлекательный цвет, усиление аромата, набухание теста, увеличение объема, размягчение и улучшение текстуры
Кондитерская отрасль	Десерты, батончики, пирожное, шоколад, топпинги, глазури	Взбиваемость, низкая сладость, стабильность при хранении, улучшение внешнего вида
Бакалея	Соусы, супы, приправы, чипсы	Улучшение вкуса, увеличение объема, низкая сладость
Напитки	Какао-смесь, квас, сливки	Растворимость, вязкость, питательность, молочный вкус и аромат

²⁰⁶ Khramtsov A.G. Membrane purification of secondary milk raw materials: intensification of processes / A.G. Khramtsov, S.P. Babenyshev, V.E. Zhidkov, D.S. Mamay, M. Nurullo, A.V. Mamay // IOP Conference Series: Earth and

1	2	3
Комбикормовая промышленность		
Производство кормовых смесей	ЗЦМ, кормовые добавки, премиксы	Источник углевода животного происхождения лактозы
Фармацевтическая промышленность		
Производство лекарственных препаратов	Таблетки, порошки	Наполнитель или связующее вещество
Специализированное питание		
Детское питание, в том числе заменители грудного молока	Пищевые добавки, смеси, энергетические батончики и напитки	Биологическая активность, низкая сладость, низкий гликемический индекс
Лечебное питание, в том числе энтеральное, парентеральное		
Спортивное питание		
Геродиетическое питание		

Сухой деминерализованный сывороточный пермеат может использоваться в качестве рецептурного компонента для функциональных и специализированных продуктов, направленных на корректировку рациона питания населения²⁰⁷.

Разработка рецептурно-компонентных решений пищевых продуктов на основе деминерализованного сывороточного пермеата

Стремление покупателей к осознанному потреблению, которые теперь все чаще выбирают продукты функциональной направленности, повлекло неизбежное изменение предложений на рынке потребительских товаров: снижение массы порционных высококалорийных продуктов, низкое содержание жира и сахара, а также включение в рецептуры ингредиентов, способных максимизировать полезные свойства и снизить риск развития алиментарно-зависимых заболеваний.

Установлено, что специфические функционально-технологические свойства сухого деминерализованного сывороточного пермеата, в сочетании с молочным ароматом и сладковатым привкусом, способны выполнять структурообразующие и вкусоформирующие функции в кондитерских изделиях, в частности фруктовом

²⁰⁷ Шарафетдинов Х.Х., Плотникова О.А., Назарова А.М., Кондратьева О.В. Специализированные пищевые продукты с модифицированным углеводным профилем в коррекции метаболических нарушений при сахарном диабете 2 типа // Вопр. питания. 2017. Т. 86. № 6. С. 56–66.

мармеладе и жележных конфетах. Нами предложено рецептурно-компонентное решение фруктового мармелада (таблица 4.2) с полной заменой сахара белого сухим деминерализованным сывороточным пермеатом и разработана технологическая схема для его производства (рисунок 4.1). В качестве контроля выбран образец формованного мармелада «Ароматный», выработанного по рецептуре №4²⁰⁸.

Таблица 4.2 - Рецептура мармелада (кг на 1000 кг готового продукта)

Наименование компонента	Опытный образец	Контрольный образец
Яблочное пюре	967,0	863,0
Сухой деминерализованный сывороточный пермеат	240,0	-
Сахар белый	-	692,1
Патока	-	30,9
Пектин яблочный кондитерский кислотоустойчивый	12,0	-
Лимонная кислота	8,0	-
Кислота молочная (40 % р-р)	-	5,2
Корица молотая	1,7	1,7
Итого	1228,7	1592,9
Выход	1000,0	1000,0

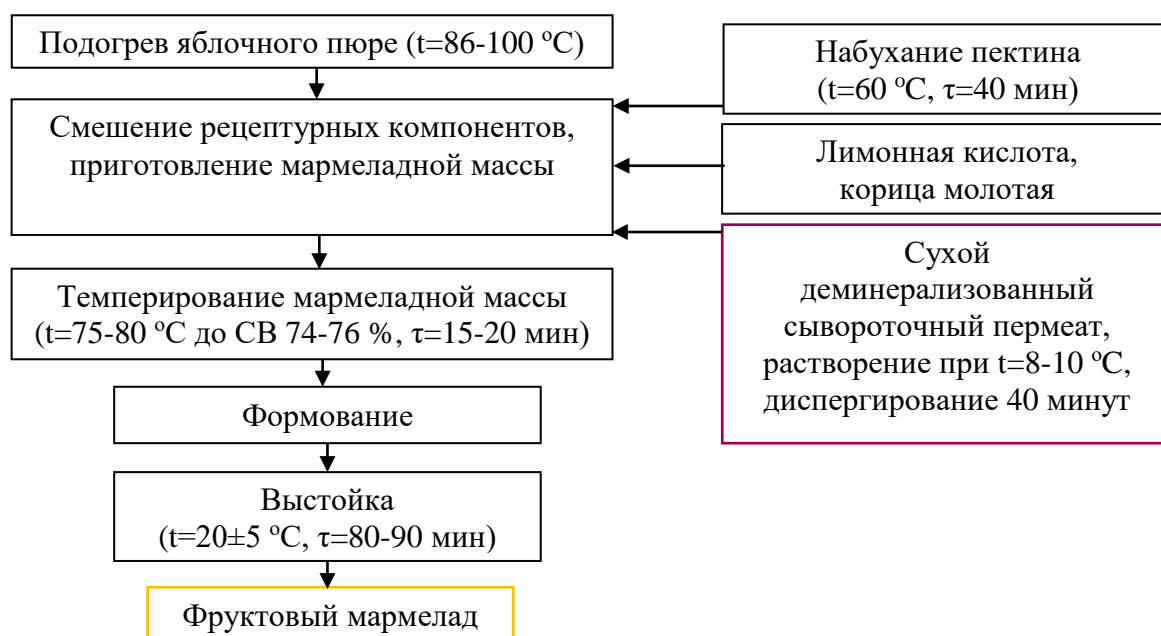


Рисунок 4.1 - Технологическая схема производства фруктового мармелада с сухим деминерализованным сывороточным пермеатом

²⁰⁸ Сборник рецептов на мармелад, пастилу, зефир / Разраб. Во ВНИИКЛП. – Утв. Отделом пищ. пром-сти Госагропрома СССР 29 декабря 1986 г. – Москва, 1987. – 9 с.

Для подготовки пюре яблоки очищали от семян и кожуры, нарезали кубиками и протирали через сито с отверстием диаметром не более 1 мм до однородного состояния. Набухший пектин смешали с сухим деминерализованным сывороточным пермеатом и вводили в подогретое до $t=86-100$ °С яблочное пюре при постоянном перемешивании до полного растворения кристаллов пермеата. Мармеладную массу темперировали 15-20 минут при температуре 75-80 °С с последующим внесением необходимого количества лимонной кислоты. Уваренную до сухих веществ 74-76 % смесь охлаждали до 45-50 °С и разливали в формы. Выстойка мармелада осуществлялась при температуре 20 ± 5 °С, продолжительность студнеобразования составила 80-90 минут.

Готовый продукт характеризуется приятным молочным ароматом и специфическим цветом, обусловленными внесением сухого деминерализованного сывороточного пермеата. Консистенция однородная, студнеобразная, поверхность глянцевая. Физико-химические показатели полученного мармелада с сухим деминерализованным сывороточным пермеатом представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 - Физико-химические показатели изученных образцов

Наименование показателя	Содержание	
	Опытный образец	Контрольный образец
Массовая доля сухих веществ, %	$70,10 \pm 0,4$	$82,00 \pm 0,4$
Кислотность, град	$13,24 \pm 2,5$	$17,40 \pm 2,5$
Массовая доля редуцирующих веществ, %	$18,60 \pm 1,0$	$34,10 \pm 1,0$
Массовая доля золы, %	$0,05 \pm 0,007$	$0,05 \pm 0,007$
Плотность, г/см ³	$1,22 \pm 0,01$	$0,98 \pm 0,01$
Массовая доля общей сернистой кислоты, %	$0,01 \pm 0,002$	$0,01 \pm 0,002$

Применение сухого деминерализованного сывороточного пермеата в технологиях кондитерских изделий позволяет получить продукт, соответствующий требованиям ГОСТ 6442-2014, со сниженным гликемическим индексом без дополнительных технологических операций, а также обеспечить формирование требуемых структурно-механических и органолептических свойств, оказывая положительное влияние на консистенцию и структуру, вкус, цвет готового мармелада.

Другое направление - использование сухого деминерализованного сывороточного пермеата в качестве заменителя сахара белого в рецептуре ванильного мороженого (таблица 4.4), технологическая схема производства которого представлена на рисунке 4.2.

Таблица 4.4 - Рецептuru ванильного мороженого с сухим деминерализованным сывороточным пермеатом

Сырье	кг на 1000 кг продукта
Молоко коровье цельное (Ж 3,2 %; СОМО 8,1 %)	510,0
Масло сливочное (Ж 72,5 %; СОМО 2,5 %)	13,5
Молоко коровье сухое цельное (Ж 25,0 %; СОМО 68,0 %)	43,0
Сухой деминерализованный сывороточный пермеат	186,6
Гуаровая камедь	3,0
Ванилин	0,1
Вода питьевая	243,8



Рисунок 4.2 - Технологическая схема производства мягкого ванильного мороженого с сухим деминерализованным сывороточным пермеатом

Характеристика химического состава и свойств опытного образца в сравнении с контрольным приведена в таблице 4.5.

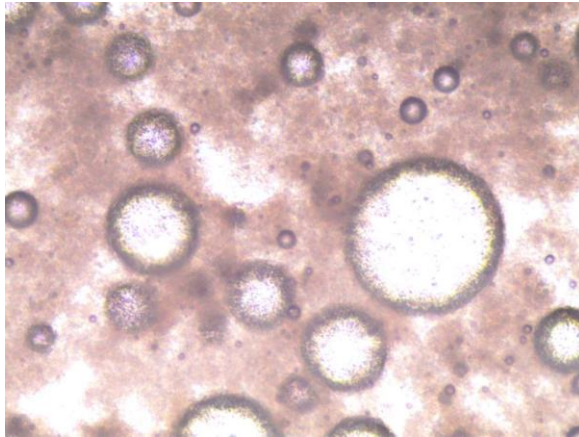
Таблица 4.5 - Химический состав и свойства ванильного мороженого с сухим деминерализованным сывороточным пермеатом

Наименование показателя	Содержание	
	Опытный образец	Контрольный образец
Массовая доля сухих веществ, %	29,01 ± 0,3	29,25 ± 0,3
Массовая доля белка, %	3,51 ± 0,06	3,03 ± 0,06
Массовая доля жира, %	3,7 ± 0,5	3,7 ± 0,5
Массовая доля сахарозы, %	-	14,36 ± 0,5
Массовая доля лактозы, %	20,46 ± 0,8	6,49 ± 0,8
Степень взбитости, %	82,0 ± 8,2	87,5 ± 8,8
Кислотность, °Т	25,0 ± 1,5	22,0 ± 1,5

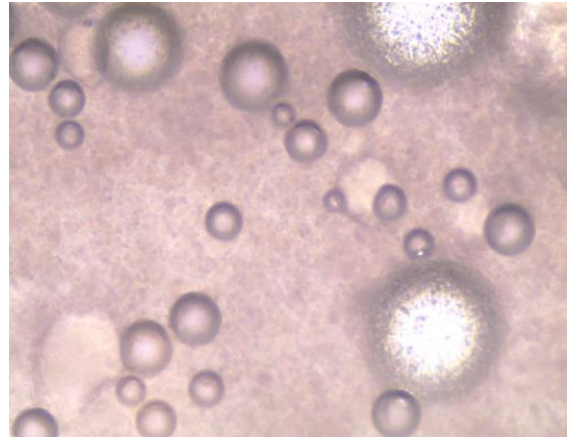
Традиционные рецептурные компоненты мороженого (молоко, сливки, масло, сгущенное молоко цельное, сухие молочные ингредиенты) обеспечивают его специфические физико-химические характеристики, однако, сахар белый определяет сенсорные и реологические свойства готового продукта, поэтому, в технологическом плане, трудно достичь его полной замены. Электронная микросъемка структуры контрольного образца (рисунок 4.3, а) показала наличие небольших жировых шариков и белковых частиц с равномерным распределением по всему объёму, а также видимое количество неагрегированного мицеллярного материала. Специфические формы кристаллов появились на микроснимке опытного образца (рисунок 4.3, б), крупные и четкие жировые глобулы представлены без явно выраженной агрегации белковых мицелл, что является нормальным распределением фаз мороженого^{209,210,211,212}.

²⁰⁹ Mo, J. Ice Crystal Coarsening in Ice Cream during Cooling: A Comparison of Theory and Experiment / J. Mo, R.D. Groot, G. McCartney, E. Guo, J. Bent, G. van Dalen, P. Schuetz, P. Rockett, P.D. Lee // Crystals. – 2019. - 9. - 321.

²¹⁰ Sakr, S.S. Nutritional, Physicochemical, Microstructural, Rheological, and Organoleptical Characteristics of Ice Cream Incorporating Adansonia digitata Pulp Flour. / S.S. Sakr, S.H.S. Mohamed, A.A. Ali, W.E. Ahmed, R.M. Algheshairy, M.S. Almujaaydil, A.A. Al-Hassan, H. Barakat, M.F.Y. Hassan // Foods. – 2023. – 12 - 533.



а) контрольный образец



б) опытный образец

Рисунок 4.3 – Микроструктура изученных образцов мороженого
(увеличение 20x75)

Деминерализованный сывороточный пермеат позитивно влиял на агломерацию жира, предотвращал рост больших кристаллов льда в процессе фризирования и порока «песчанности» за счет определенного содержания аномерных форм лактозы, а также способствовал увеличению стойкости к таянию²¹³.

Применение сухого деминерализованного сывороточного пермеата в качестве сахарозаменителя в технологии мороженого позволило не только уменьшить гликемический индекс готового продукта, но и придать ему особенный, специфический вкус и аромат, улучшить консистенцию и текстуру.

²¹¹ Голубева, Л. В. Изучение функционально-технологических свойств сиропа сахарного сорго и его использование в технологии мороженого / Л. В. Голубева, Е. А. Пожидаева // Техника и технология пищевых производств. – 2019. – Т. 49, № 3. – С. 431-437. – DOI 10.21603/2074-9414-2019-3-431-437.

²¹² Ландиховская, А. В. Нутриентный состав мороженого и замороженных десертов: современные направления исследований / А. В. Ландиховская, А. А. Творогова // Пищевые системы. – 2021. – Т. 4, № 2. – С. 74-81. – DOI 10.21323/2618-9771-2021-4-2-74-81.

²¹³ Состав и функционально-технологические свойства пермеата подсырной сыворотки / Е.И. Мельникова, Е.В. Богданова, Д.А. Павельева // Хранение и переработка сельхозсырья. - 2022. - № 1. - С. 223-232.

*Основные технико-экономические показатели сухого деминерализованного
сывороточного пермеата*

Сухой деминерализованный сывороточный пермеат - перспективный продукт с точки зрения продаж, так как помимо широкого спроса на внутреннем рынке, имеет серьезный экспортный потенциал. При этом экономические показатели могут существенно отличаться в связи с достаточно высокими затратами на транспортировку за границу. Основные экономические показатели производства сухого деминерализованного сывороточного пермеата в зависимости от рынка сбыта представлены в таблице 4.6^{214,215}.

Таблица 4.6 – Основные экономические показатели производства сухого деминерализованного сывороточного пермеата в расчете на 1 тонну готового продукта

Показатель	Ед.изм.	Внутренний рынок	Внешний рынок
Цена реализации 1 тонны	USD	-	850
Цена реализации 1 тонны	Руб.	68 000	69 700
Переменные затраты на 1 тонну, всего	Руб.	35 262	55 762
Сырье	Руб.	14 240	14 240
Упаковка	Руб.	2 462	2 462
Вспомогательные материалы	Руб.	2 821	2 821
Топливоно-энергетические ресурсы	Руб.	7 619	7 619
Коммерческие расходы	Руб.	8 120	8 120
Доставка на экспорт	Руб.	-	20 500
Маржинальный доход на 1 тонну	Руб.	32 738	13 938
Рентабельность производства	%	48 %	20 %
Рентабельность производства с учетом компенсации части затрат на транспортировку	%	48 %	33 %

²¹⁴ Любушин, Н. П. Экономика организации / Н. П. Любушин. – Москва : КНОРУС, 2011. – 304 с. – ISBN 978-5-406-01906-1. – EDN SDTEFP.

²¹⁵ Голубева, Т.В. Ресурсы предприятия и эффективность их использования: учеб. пособие / Т.В. Голубева. – Самара: Изд-во Самарского университета, 2016 – 78 с.

Анализ данных таблицы 4.6, подтверждает, что в структуре переменных затрат наибольшую часть занимает сырье, коммерческие расходы, а также топливно-энергетические ресурсы (40 %, 23 % и 22 % соответственно). Маржинальный доход при реализации продукта внутри страны в расчете на 1 тонну составляет 32 738 руб., при этом рентабельность находится на уровне 48 %. Показатели доходности при реализации продукта на экспорт ниже в связи с тем, что значительную долю составляют расходы на транспортировку продукции до конечного покупателя. Маржинальный доход в расчете на 1 тонну составляет 13 938 рублей при уровне рентабельности 20 %^{216,217}.

В настоящее время действует государственная программа поддержки, в рамках которой предприятия – экспортеры могут получить частичную компенсацию затрат на транспортировку продукции. Сухой деминерализованный сывороточный пермеат относится к приоритетной продукции, по которой можно возместить до 100 % затрат, но в большинстве случаев полностью затраты компенсировать не удастся по причине ограниченного бюджета на данные цели, поэтому в расчете предполагаем, что затраты компенсируются на 50 %. С учетом такого эффекта рентабельность продукта при реализации на внешние рынки может достигать до 33 %. Учитывая, что производственные мощности позволяют производить свыше 12 000 т пермеата в год, то в таблице 4.7 отражены экономические показатели в годовом измерении:

²¹⁶ Руткаускас, Т.К. Экономика организации (предприятия): учебное пособие/ Т. К. Руткаускас [и др.]; под общ. ред. д-ра экон. наук, проф. Т. К. Руткаускас. – 2-е изд., перераб. и доп. – Екатеринбург: Изд-во УМЦУПИ, 2018. – 260 с. ISBN 978-5-8295-0563-9

²¹⁷ Калинина, Н.Е. Экономика и анализ деятельности промышленного предприятия : учеб. пособие / Н.Е. Калинина, Н.А. Кузнецова, О.С. Норкина, М.А. Прилуцкая, Л.М. Типнер, Е.В. Черепанова. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2016.— 124 с.

Таблица 4.7 – Основные экономические показатели производства сухого деминерализованного сывороточного пермеата в год

Показатель	Ед.изм.	Значение
Объем продаж	тонн	12 000
Цена реализации 1 тонны	тыс.руб.	68
Выручка от реализации	тыс.руб.	816 000
Переменные затраты, всего	тыс.руб.	447 744
Сырье	тыс.руб.	170 880
Упаковка	тыс.руб.	29 544
Вспомогательные материалы	тыс.руб.	33 852
Топливо-энергетические ресурсы	тыс.руб.	91 428
Коммерческие расходы	тыс.руб.	97 440
Доставка на экспорт	тыс.руб.	24 600
Маржинальный доход на 1 тонну	тыс.руб.	368 256
Рентабельность производства	%	45 %

Таким образом, при производстве 12 000 тонн в год пермеата выручка от реализации продукции может достигать 816 миллионов рублей при текущем уровне цен, а маржинальный доход составит свыше 368 миллионов рублей.

Реализация известных направлений переработки вторичных ресурсов молочной отрасли выходит на первый план. Внедрение технологии производства сухого деминерализованного сывороточного пермеата, как ресурсосберегающей технологии на отечественных молокоперерабатывающих предприятиях, позволит организовать замкнутый цикл производства, а также создать условия для полной самообеспеченности и продовольственной безопасности Российской Федерации в сегменте молочных продуктов и ингредиентов, улучшить их качество и расширить ассортиментный ряд.

Заключение

1. Установлен комплекс требований к сухому деминерализованному сыровороточному пермеату (отсутствие соленого вкуса, сладковатый привкус; массовая доля золы менее 1,0 %; массовая доля лактозы не менее 85 %) и предложена корректировка традиционной технологии сухого сыровороточного пермеата с учётом изменения действующих режимов и введения новых технологических операций для получения продукта с заданными потребительскими характеристиками.

2. Изучен минеральный профиль, степень деминерализации в опытных образцах и доказана эффективность последовательного применения методов ультрафильтрации, нанофильтрации и электродиализа для производства сухого деминерализованного сыровороточного пермеата. Применение ультрафильтрации с полимерными мембранами позволило частично удалить Ca^{2+} , общий фосфор и Mg^{2+} из подсырной сыворотки; нанофильтрация с полимерными мембранами была эффективна в удалении части K^+ , Ca^{2+} , Fe^{2+} , Mg^{2+} , Cu^{2+} , Cl^- и общего фосфора из УФ-пермеата; ЭД позволил удалить остаточные моновалентные ионы Na^+ и K^+ на 89-94 %, а Ca^{2+} , Mg^{2+} на 60-75 %; общего фосфора - на 78 %; хлоридов - на 70 % из НФ-концентрата. На основании этого предложено последовательное применение и обоснованы технологические режимы ультрафильтрации ($t=(10-15)^\circ\text{C}$, $P=0,13\pm 0,02$ МПа), нанофильтрации ($t=(10\pm 2)^\circ\text{C}$, $P=2,5\pm 0,02$ МПа, м.д. СВ = $21,5\pm 0,5$ %), электродиализа ($t=15\pm 2^\circ\text{C}$) до достижения электропроводности $0,8\pm 0,05$ мС·см⁻¹) с применением полимерных мембран для получения сухого сыровороточного пермеата со степенью деминерализации не менее 90 % и подтверждено изменение качественного и количественного состава микрофлоры на различных этапах производства (пастеризация подсырной сыворотки снизила бактериальную обсемененность на 92 %; мембранная обработка - на 80 %, содержание бактериофагов в 100 раз).

3. Определены физико-химические показатели готового продукта (индекс растворимости - $0,1 \pm 0,25 \text{ см}^3$, насыпная плотность - $0,81 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$, диспергируемость - $80,6 \pm 4,0 \%$ относ., смачиваемость - $62,0 \pm 4,0 \%$ относ., средний размер частиц – 54-58 мкм). Установлены термодинамические характеристики и соотношение свободной и связанной влаги в исследуемых образцах, обеспечивающие возможность применения сухого деминерализованного сывороточного пермеата в рецептурах хлебобулочных и кондитерских изделий (для сухого деминерализованного сывороточного пермеата количество химически связанной воды составило $(56,11 \pm 1 \%)$, близкое по значению к молочной сыворотке деминерализованной $(64,56 \pm 1 \%)$).

4. Разработанные рецептурно-компонентные решения фруктового мармелада и мороженого с добавлением сухого деминерализованного сывороточного пермеата позволяют провести 100 % замену сахарозы.

5. Усовершенствованная технология сухого деминерализованного сывороточного пермеата внедрена в условиях филиала ПАО Молочный комбинат «Воронежский» «Калачеевский сырзавод» (г. Калач Воронежской области). Экономическая и технологическая целесообразность предложенных решений подтверждена следующими показателями: маржинальный доход при реализации продукта внутри страны в расчете на 1 тонну составил 32 728 руб., уровень рентабельности по маржинальному доходу составляет 48 %, внутренняя норма рентабельности проекта составляет 20 %.

Список использованных источников

1. Агаркова, Е. Ю. Особенности технологии молочных продуктов, обогащенных сывороточными белками / Е. Ю. Агаркова, А. Ю. Чиликин // Молочная промышленность. – 2021. – № 3. – С. 49-51. – DOI 10.31515/1019-8946-2021-03-49-51.
2. Агаркова, Е.Ю. Исследование процесса концентрирования различных видов подсырной сыворотки / Е.Ю. Агаркова, А.Г. Кручинин // Переработка молока. - 2019. - № 3. - С. 20-22.
3. Анализ рынка пермеата молочного сухого в России [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://drgroup.ru/analiz-rynka-permeata-molochnogo-sukhogo-v-rossii.html?ysclid=1wi8nv1uoh323048394>
4. Анисимов, Г.С. Влияние температуры электродиализной обработки на микрофлору пермеата обезжиренного молока / Г.С. Анисимов, И.А. Евдокимов, С.А. Рябцева, А.Н. Донских, В.Р. Ахмедова, В.А. Кравцов // Молочная промышленность. - 2018. - № 10. - С. 14-15.
5. Асланов, Б.И. Рациональное применение бактериофагов в лечебной и противоэпидемической практике / Б.И. Асланов, Л.П. Зуева, О.Е. Пунченко, Л.А. Кафтырева, В.Г. Акимкин, А.А. Долгий, Е.Б. Брусина // Методические рекомендации. - Москва, 2022. – 32 с.
6. Буданов, А.А. Обоснование перспектив применения молочной сыворотки в выработке пищевых продуктов / А. А. Буданов, К.Г. Гапизова, О.Н. Пастух, П.А. Корневская // Инновационные технологии в науке: управление качеством, метрологическое обеспечение, новые подходы и цифровизация производства в сфере АПК: Сборник научных материалов I Всероссийской (национальной) научно-практической конференции с международным участием, приуроченной к Всемирному дню метрологии, Саратов, 28 апреля 2023 года. – Саратов: Саратов-

ский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова, 2023. – С. 336-340.

7. Волкова, Т.А. Деминерализация молочной сыворотки / Т.А. Волкова // Производство сыра, масла и другой молочной продукции в современных условиях. Проблемы и пути решения: Сборник материалов международной научно-практической конференции, Углич, 20–22 июня 2023 года. – Углич: ВНИИМС – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, 2023. – С. 240-244.

8. Волкова, Т.А. О лактозе и ее производных / Т.А. Волкова // Переработка молока. – 2021. – № 11(265). – С. 16-19.

9. Волкова, Т.А. Эффективность использования побочного молочного сырья для производства продуктов сыроделия и маслоделия / Т.А. Волкова // Производство сыра, масла и другой молочной продукции в современных условиях. Проблемы и пути решения: Сборник материалов международной научно-практической конференции, Углич, 20–22 июня 2023 года. – Углич: ВНИИМС – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, 2023. – С. 215-225.

10. Володин, Д.Н. Использование сывороточных ингредиентов в производстве продуктов питания / Д.Н. Володин, М.С. Золоторева, А.В. Костюк [и др.] // Молочная промышленность. – 2017. – № 2. – С. 65-67.

11. Володин, Д.Н. Мембранные технологии переработки сыворотки: эффективные и рентабельные решения / Д.Н. Володин, А.С. Гридин, В.К. Топалов [и др.] // Переработка молока. 2022 № 7(273). С. 6–11. <https://www.elibrary.ru/edkzid>

12. Володин, Д.Н. Эффективность деминерализации молочной сыворотки: анализ методов и оптимизация их использования / Д.Н. Володин, В.К. Топалов, И.К. Куликова [и др.] // Молочная промышленность. 2024. № 4. С. 50–55. <https://www.doi.org/10.21603/1019-8946-2024-4-6>

13. Воронежский «Молвест» стал лидером по производству пермеата / союз «Торгово-промышленная палата Воронежской области» [Электронный ре-

сурс] // Режим доступа:<https://voronezh.tpprf.ru/ru/events/members-news/voronezhskiy-molveststall-iderom-proizvodstvupermeata-i509171/>

14. Гаврилов, Г.Б. Справочник по переработке молочной сыворотки: Технологии, процессы и аппараты, мембранное оборудование / Г.Б. Гаврилов, А.Ю. Просеков, Э.Ф. Кравченко, Б.Г. Гаврилов. – Санкт-Петербург: Издательство Профессия, 2015. – 176 с. – ISBN 978-5-904757-81-6.

15. Галстян, А.Г. Теория и практика молочно-консервного производства / А.Г. Галстян, А.Н. Петров, И.А. Радаева, С.Н. Туровская, В.В. Червецов, Е.Е. Илларионова, В.К. Семипятный М.: Издательский дом «Федотов Д.А.», отпечатано в типографии «Авторская Мастерская», - 2016. - 181 с.

16. Голдобин, Ю.М. Инженерный эксперимент: учебное пособие / Ю. М. Голдобин, Е. Ю. Павлюк; Министерство науки и высшего образования РФ. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2022. — 95 с. ISBN 978-5-7996-3592-3

17. Голубева, Л.В. Изучение функционально-технологических свойств сиропа сахарного сорго и его использование в технологии мороженого / Л.В. Голубева, Е.А. Пожидаева // Техника и технология пищевых производств. – 2019. – Т. 49, № 3. – С. 431-437. – DOI 10.21603/2074-9414-2019-3-431-437.

18. Голубева, Т.В. Ресурсы предприятия и эффективность их использования: учеб. пособие / Т.В. Голубева. – Самара: Изд-во Самарского университета, 2016 – 78 с.

19. ГОСТ Р ИСО 8156-2010. Молоко сухое и сухие молочные продукты. Определение индекса растворимости. – М.: Стандартиформ, 2011. – 7 с.

20. Дворецкий, Г.Б. Исследование смачиваемости сухих молочных продуктов / Г.Б. Дворецкий // Молочная промышленность. – 1972. – № 1. – С. 17.

21. Дедов, И.И. Динамика клинико-эпидемиологических показателей сахарного диабета в Российской Федерации в 2018-2022 гг / И.И. Дедов, М.В. Шестакова, О.К. Викулова, А.В. Железнякова, М.А. Исаков, Д.В. Сазонова, Н.Г. Мокрышева // Персонализированная медицина и практическое здравоохранение: сборник тезисов X (XXIX) Национального конгресса эндокринологов с междуна-

родным участием, Москва, 23–26 мая 2023 года. – Москва: Б. и., 2023. – С. 20-21. – DOI 10.14341/Cong23-26.05.20-21. – EDN UGXQQY.

22. Дымар, О.В. Мембранные технологии в молочной промышленности: прошлое, настоящее и будущее. Часть 2. Электромембранные процессы/ О.В. Дымар // Переработка молока. - 2023. - № 11. – С. 18-21.

23. Дымар, О.В. Мембранные технологии в молочной промышленности: прошлое, настоящее и будущее. Часть 1. Баромембранные процессы/ О.В. Дымар // Переработка молока. - 2023. - № 10. – С. 16-22.

24. Дымар, О.В. Повышение эффективности переработки молочных ресурсов: научно-технологические аспекты / О.В. Дымар. — Минск: Колорград, 2018. — 236 с.

25. Дымар, О.В. Технологические аспекты переработки мелассы молочной. Часть 4. Деминерализация мелассы. Определение частных технологических особенностей / О.В. Дымар, О.Л. Сороко, И.В. Миклух [и др.] // Молочная промышленность. – 2019. – № 3. – С. 48-50.

26. Дымар, О.В. Технологические аспекты переработки мелассы молочной. Часть 5. Сгущение, кристаллизация и сушка / О.В. Дымар, О.Л. Сороко, И.В. Миклух [и др.] // Молочная промышленность. – 2019. – № 4. – С. 59-63.

27. Евдокимов И.А. Альтернативные тренды переработки ультрафильтрационного пермеата/ И.А. Евдокимов, М.В. Крохмаль, М.И. Шрамко, Г.С. Анисимов, Р.О. Будкевич // Молочная промышленность. – 2018. – № 8. – С.37-40. DOI :10.31515/1019-8946-2018-8-46-48.

28. Евдокимов, И.А. Анализ переработки молочной сыворотки и создание перспективных ресурсосберегающих технологий / И.А. Евдокимов, М.С. Золоторева, Д.Н. Володин, В.С. Сомов // Наука. Инновации. Технологии. - 2013. - № 1. - С.37-44.

29. Евдокимов, И.А. Деминерализованный пермеат, как альтернатива молочному сахару / И.А. Евдокимов, Д.Н. Володин, В.К. Топалов, В.А. Михнева // Молочная промышленность. – 2013. – № 2. – С. 38.

30. Евдокимов, И.А. Реальные мембранные технологии / И.А. Евдокимов, Д.Н. Володин, А.С. Бессонов [и др.] // Молочная промышленность. – 2010. – № 1. – С. 49-50.

31. Евдокимов, И.А. Электродиализ молочной сыворотки / И.А. Евдокимов, Н.Я. Дыкало, А.В. Пермяков, Евдокимов И.А., Дыкало Н.Я., Пермяков А.В.; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное агентство по образованию, Георгиевский технологический ин-т (филиал) Гос. образовательного учреждения высш. профессионального образования «Северо-Кавказский гос. технический ун-т». – Георгиевск : Георгиевский технологический ин-т (филиал) СевКавГТУ, 2009. – 245 с.

32. Жаббарова, С.К. Влияние сахарозаменителей и подсластителей на безвредность кондитерских изделий // Universum: технические науки. - 2019. - №2 (59). - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-saharozameniteley-i-podslastiteley-na-bezvrednost-konditerskih-izdeliy>.

33. За 2020-2024 гг. производство сыра в России увеличилось на 51%: с 572 до 861 тыс т., - Новости рынков, BusinessStat [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://businessstat.ru/news/cheese/>.

34. Здоровоохранение в России. 2023: Стат.сб. / Росстат. - М.,- 2023.– 179 с.

35. Золотарева, М.С. Мембранные технологии как основа переработки молочной сыворотки в современных экономических условиях / М.С. Золотарева, Д.Н. Володин, Б.В. Чаблин, И.А. Евдокимов, В.К. Топалов// Молочная промышленность. - 2017. - № 11. - С. 42-44.

36. Золоторева, М.С. О переработке молочной сыворотки и внедрении наилучших доступных технологий / М. С. Золоторева, Д. Н. Володин, В. К. Топалов [и др.] // Переработка молока. – 2016. – № 7(201). – С. 17-19.

37. Золоторева, М.С. Молочная сыворотка - источник ценных пищевых ингредиентов и дополнительной прибыли / М.С. Золоторева, В.К. Топалов, И.А. Евдокимов, А.Г. Храмцов // Сыроделие и маслоделие, 2017. – № 5. – С. 30 – 31.

38. Ионова, И.И. Перспективные ресурсосберегающие технологии минорных белковых компонентов из молочной сыворотки / И.И. Ионова, А.О. Юрасов, Н.А. Тихомирова // Переработка молока. – 2022. – № 7(273). – С. 32-34. – DOI 10.33465/2222-5455-2022-7-30-32.
39. Калинина, Н.Е. Экономика и анализ деятельности промышленного предприятия : учеб. пособие / Н.Е. Калинина, Н.А. Кузнецова, О.С. Норкина, М.А. Прилуцкая, Л.М. Типнер, Е.В. Черепанова. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2016.— 124 с.
40. Киселев, М.Г. Определение краевого угла смачивания на плоских поверхностях / М.Г. Киселев, В.В. Савич, Т.П. Павич // Наука и техника. - 2006. - №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-kraevogo-ugla-smachivaniya-na-ploskih-poverhnostyah>.
41. Короткий, А.И. Разработка низкотемпературной технологии извлечения белка из творожной сыворотки / А.И. Короткий, Е.В. Короткая, Е.Н. Неверов [и др.] // Вестник КрасГАУ. – 2020. – № 2(155). – С. 148-154. – DOI 10.36718/1819-4036-2020-2-148-154.
42. Короткий, И.А. Современные тенденции в переработке молочной сыворотки / И. А. Короткий, И. Б. Плотников, И. А. Мазеева // Техника и технология пищевых производств. – 2019. – Т. 49, № 2. – С. 227-234. – DOI 10.21603/2074-9414-2019-2-227-234.
43. Кручинин, А.Г. Исследование процесса баромембраной фильтрации подсырной и творожной сывороток / А.Г. Кручинин, Е.Е. Шилова // Актуальные вопросы молочной промышленности, межотраслевые технологии и системы управления качеством. – 2020. – Т. 1, № 1(1). – С. 298-305. – DOI 10.37442/978-5-6043854-1-8-2020-1-298-305.
44. Кручинин, А.Г. Современное состояние рынка вторичных сырьевых ресурсов молочной промышленности / А.Г. Кручинин, А.В. Бигаева, С.Н. Туровская, Е.Е. Илларионова // Ползуновский вестник. – 2022. – № 4-1. – С. 140-148. – DOI 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.04.018.

45. Кудряшов, В.Л. Производство кормовых добавок из молочной сыворотки на основе инновационных мембранных и биотехнологических процессов / В.Л. Кудряшов // Пищевая индустрия. - №3 – 2018. – с. 53-55.
46. Куренков, С. А. Переработка пермеата полученного в процессе ультрафильтрации молока / С. А. Куренков, Л. А. Куренкова, М. Н. Коверда // Молодые исследователи агропромышленного и лесного комплексов – регионам: Материалы III международной молодежной научно-практической конференции, Вологда-Молочное, 26 апреля 2018 года. Том 2, Часть 2. – Вологда-Молочное: Вологодская государственная молочнохозяйственная академия им. Н.В. Верещагина, 2018. – С. 238-241.
47. Ландиховская, А. В. Нутриентный состав мороженого и замороженных десертов: современные направления исследований / А. В. Ландиховская, А. А. Творогова // Пищевые системы. – 2021. – Т. 4, № 2. – С. 74-81. – DOI 10.21323/2618-9771-2021-4-2-74-81.
48. Липатов, Н. Н. (ст.). Восстановленное молоко (теория и практика производства восстановленных молочных продуктов) / Н. Н. Липатов (ст.), К.И. Тарасов – Москва : Агропромиздат, 1985. – 256 с.
49. Любушин, Н. П. Экономика организации / Н. П. Любушин. – Москва : КНОРУС, 2011. – 304 с. – ISBN 978-5-406-01906-1. – EDN SDTEFP.
50. Марьина, Т. «Вторсырье» из молочной реки. Побочный продукт может принести немалую прибыль [Электронный ресурс] // АО «Издательский дом «С.-Петербургские ведомости». – 2023. – https://spbvedomosti.ru/news/country_and_world/vtorsyre-iz-molochnoy-reki-pobochnyu-produkt-mozhet-prinesti-nemaluyu-pribyl/.
51. Медведев, П.В. Научные исследования: учебное пособие / П.В. Медведев, В.А. Федотов, Г.А. Сидоренко; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ООО ИПК «Университет», 2017. – 99 с.
52. Мельникова, Е.И. Мировой и российский рынок сывороточных ингредиентов / Е.И. Мельникова, Е.В. Богданова, Д.А. Павельева // Молочная промышленность. – 2020. – № 8. – С. 56-58.

53. Мельникова, Е.И. Пермеаты молочного сырья как новые продукты на российском рынке / Е.И. Мельникова, Е.С. Рудниченко, Д.А. Павельева // Переработка молока. - 2022. - № 7 (273). - С. 38-39.

54. Мельникова, Е.И. Состав и функционально-технологические свойства пермеата подсырной сыворотки / Е.И. Мельникова, Е.В. Богданова, Д.А. Павельева // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2022. – № 1. – С. 223-232. – DOI 10.36107/spfp.2022.276.

55. Мельникова, Е.И. Сывороточные белки как источник биологически активных пептидов / Е.И. Мельникова, Е.В. Богданова // Молочная промышленность. – 2021. – № 3. – С. 55-56. – DOI 10.31515/1019-8946-2021-03-55-56.

56. Миклух, И.В. Технологические аспекты переработки мелассы, полученной при производстве молочного сахара / И.В. Миклух, Л.Н. Соколовская, О.В. Дымар // Молодежь в науке - 2016 : сборник материалов Международной конференции молодых ученых: в 2 частях, Минск, 22–25 ноября 2016 года / Национальная академия наук Беларуси. Совет молодых ученых. Том Часть 1. – Минск: Республиканское унитарное предприятие «Издательский дом «Белорусская наука», 2017. – С. 457-466.

57. Могильный, М.П. Показатели качества продуктов здорового питания / М.П. Могильный, Т.Ш. Шалтумаев, А.М. Могильный // Новые технологии. - 2014. - №1. - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/pokazateli-kachestva-produktov-zdorovogo-pitaniya>.

58. Молоко и молокопродукты Российской Федерации: внутреннее производство, внешняя торговля, ценовая конъюнктура // Национальный союз производителей молока: Информационно-аналитический отчет о ситуации в молочной отрасли 2019. URL: <http://www.souzmoloko.ru/materiali/Predvaritelnye-itogi-2019>.

59. МР 2.3.1.0253-21. 2.3.1. Гигиена питания. Рациональное питание. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. Методические рекомендации" (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 22.07.2021) [Электрон-

ный ресурс] / Режим доступа:
https://www.rospotrebnadzor.ru/documents/details.php?ELEMENT_ID=18979.

60. Мялицин, А.В. Методика планирования экспериментов и обработки их результатов при исследовании технологических процессов в деревообрабатывающей промышленности : учебно-методическое пособие / А. В. Мялицин ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации ; Уральский государственный лесотехнический университет. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2023. – 76 с. ISBN 978-5-94984-877-7

61. Национальный союз производителей молока / Развитие молочной индустрии России: итоги 2022 года и прогноз на 2023 год [Электронный ресурс] / Режим доступа:
https://vet.lenobl.ru/media/news/docs/55995/Итоги_развития_молочной_отрасли._Прогноз_2023.pdf

62. Нестеренко, П. Г. Исторические аспекты использования и переработки молочной сыворотки / П. Г. Нестеренко, И. А. Евдокимов, А. Г. Храпцов // Молочная промышленность. - 2008. - № 11. - С. 32-34.

63. Обзор ВЭД: Молочная сыворотка [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://aemcх.ru/reviews/обзор-вэд-молочная-сыворотка/>

64. Обзор российского и мирового рынков молока и молочной продукции по состоянию на 06.06.2023 года / ГКУ КК «Кубанский сельскохозяйственный информационно-консультационный центр» [Электронный ресурс] // Режим доступа: http://www.kaicc.ru/sites/default/files/moloko_rf_i_mir_06.06.23.pdf

65. Обзор: как развивается рынок сывороточных напитков в России [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://milknews.ru/longridy/obzor-rynka-syvorotochnih-napitkov.html>

66. Паладий, И.В. Молочная сыворотка: обзор работ. Часть 1. Классификация, состав, свойства, производные, применение / И.В. Паладий, Е.Г. Врабие, К.Г. Спринчан, М.К. Болога // ЭОМ. 2021. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/molochnaya-syvorotka-obzor-rabot-chast-1-klassifikatsiya-sostav-svoystva-proizvodnye-primenenie>.

67. Переработка молочной сыворотки: повышение маржинальности и снижение экологического ущерба MilkLife.ru по материалам маркетингового агентства V-Brand [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://milklife.ru/publication/10821.html>

68. Пономарев, А.Н. Молочная сыворотка как сырьевой ресурс для производства пищевых ингредиентов [Текст] / А. Н. Пономарев, Е.И. Мельникова, Е.В. Богданова// Молочная промышленность, 2018. – № 7. – С. 38 – 39

69. Потребление основных продуктов питания населением Российской Федерации [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13278>

70. Приказ Министерства Здравоохранения Российской Федерации №614 от 19.08.2016 г. Об утверждении Рекомендаций по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания // https://static-0.minzdrav.gov.ru/system/attachments/attaches/000/032/267/original/Приказ_Минздрава_России_от_19.08.2016_№_614.pdf?1472214560

71. Производители сывороточного пермеата, обновленный рейтинг 2025 [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://b2b-postavki.ru/proizvoditel/syvorotochnyy-permeat-russia.html>

72. Производство сухой сыворотки выросло на 3,2 % [Электронный ресурс] // Milknews - Новости молочного рынка. – 2025. – Режим доступа: <https://milknews.ru/analitika-rinka-moloka/rinok-moloka-v-Rossii/suhaya-syvorotka-fevral-2025.html>

73. Производство творога выросло на 4,5 % [Электронный ресурс] // Milknews - Новости молочного рынка. – 2024. – Режим доступа: <https://milknews.ru/analitika-rinka-moloka/rinok-moloka-v-Rossii/proizvodstvo-tvoroga-oktyabr-2024.html>.

74. Профессиональный всероссийский ресурс по нозологиям диабета под эгидой Эндокринологического Научного Центра [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://sd.diaregistry.ru/content/o-proekte.html#content>

75. Резниченко, И.Ю. Сахарозаменители и подсластители в технологии кондитерских изделий / И.Ю. Резниченко, М.С. Щеглов // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – Т. 50, - № 4. – С. 576–587. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-576-587>.

76. Родионов, Д.А. Анализ экспериментальных данных по кинетическим характеристикам очистки молочной сыворотки на ультрафильтрационных элементах типа БТУ 05/2 / Д. А. Родионов, С. И. Лазарев, К. К. Полянский [и др.] // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2020. – Т. 82, № 4(86). – С. 88-94. – DOI 10.20914/2310-1202-2020-4-88-94.

77. Руткаускас, Т.К. Экономика организации (предприятия): учебное пособие/ Т. К. Руткаускас [и др.]; под общ. ред. д-ра экон. наук, проф.Т. К. Руткаускас. – 2-е изд., перераб. и доп. – Екатеринбург: Изд-во УМЦУПИ, 2018. – 260 с. ISBN 978-5-8295-0563-9

78. Рыбалова, Т.И. Тренды и инсайты нового десятилетия / Т.И. Рыбалова // Молочная промышленность, - 2020. - № 2. - С. 4-7.

79. Рынок казеина в России 2017-2024 гг. Цифры, тенденции, прогноз [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://tk-solutions.ru/russia-rynok-kazeina>.

80. Рынок молочной сыворотки в России 2017-2024 гг. Цифры, тенденции, прогноз [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://tk-solutions.ru/russia-rynok-molochnoj-syvorotki>

81. Рябцева, С. А. Физиологические эффекты, механизмы действия и применение лактулозы / С. А. Рябцева, А. Г. Храмов, Р. О. Будкевич и др. // Вопросы питания. – 2020. – Т. 89. - №2. – С.5-15.

82. Сборник рецептур на мармелад, пастилу, зефир / Разраб. Во ВНИИКЛП. – Утв. Отделом пищ. пром-сти Госагропрома СССР 29 декабря 1986 г. – Москва, 1987. – 9 с.

83. Симоненко, С.В. Использование компонентов молочной сыворотки для производства продуктов специализированного питания / Симоненко С.В., Антипова Т.А., Фелик С.В., Андросова Н.Л., Кудряшова О.В. // МНИЖ. 2022. №4-1

(118). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-komponentov-molochnoy-syvorotki-dlya-proizvodstva-produktov-spetsializirovannogo-pitaniya>

84. Синельников, Б.М. Лактоза и ее производные / Б.М. Синельников, А.Г. Храмцов, И.А. Евдокимов, С.А. Рябцева, А.В. Серов; науч. ред. акад. РАСХН А.Г. Храмцов. — СПб.: Профессия, 2007. — 768 с., ил., табл. ISBN 978-5-93913-137-7

85. Солодов, В.С. Методика определения краевого угла смачивания для веществ с низкой температурой кристаллизации / В.С. Солодов, А.В. Папин, В.И. Косинцев, А.И. Сечин, Е.А. Макаревич // Вестник КузГТУ. 2013. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-opredeleniya-kraevogo-ugla-smachivaniya-dlya-veschestv-s-nizkoy-temperaturoy-kristallizatsii>.

86. Суюнчева, Б.О. Комплексная переработка и использование молочной сыворотки с реализацией наилучших доступных технологий в хлебопечении и кондитерском производстве / Б.О. Суюнчева, О.А. Суюнчев, С.А. Рябцева [и др.] // Современные достижения биотехнологии. Глобальные вызовы и актуальные проблемы переработки и использования вторичных сырьевых ресурсов агропромышленного комплекса России: Материалы VIII Международной научно-практической конференции, Ставрополь, 21–24 июня 2021 года / Под редакцией И.А. Евдокимова, А.Д. Лодыгина. – Ставрополь: Общество с ограниченной ответственностью "Бюро новостей", 2021. – С. 305-309.

87. Тепел, А. Химия и физика молока [Текст]/ А. Тепел. – Пер с нем. под ред. канд. техн. наук, доц. С.А. Фильчаковой // СПб.: Профессия. – 2012. – 832 с.

88. Тихомирова, Н. А. Состояние и перспективы рынка специализированной низколактозной продукции / Н. А. Тихомирова, Н. Б. Тъяу // Вестник Государственного социально-гуманитарного университета. – 2021. – № 4(44). – С. 60-67.

89. Тихонов, С.Л. Безотходная мембранная технология переработки молочной сыворотки / Тихонов С.Л., Лазарев В.А., Муратов А.А.// Индустрия питания // Food Industry. - 2017. - №1 (2). URL:

<https://cyberleninka.ru/article/n/bezothodnaya-membrannaya-tehnologiya-pererabotki-molochnoy-syvorotki>

90. Топалов, В. К. Молочная сыворотка - источник ценных пищевых ингредиентов и дополнительной прибыли / В.К. Топалов, М.С. Золоторева, В.К. Топалов, И.А. Евдокимов, А.Г. Храмцов // Сыроделие и маслоделие, 2017. – № 5. – С. 30 – 31.

91. ТР ТС 029/2012. Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств, - 2023 - [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/902359401>

92. ТР ТС 033/2013. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности молока и молочной продукции», -2023 - [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/499050562>

93. Фандеев, Д.А. Современная наука: функциональные решения на основе сыворотки [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://promilk.tech/index.html#services>

94. Храмцов, А.Г. Инновационные приоритеты технологического прорыва производства оригинального ингредиента для индустрии питания из универсального сельскохозяйственного сырья – молочной сыворотки // Индустрия питания | Food Industry. - 2019. - Т. 4. - № 2. - С. 5–13. - DOI 10.29141/2500-1922-2019-4-2-1

95. Храмцов, А.Г. Справочник мастера по промышленной переработке молочной сыворотки / А.Г. Храмцов, С.В. Василсин. - М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. – с. 172 (с.13)

96. Храмцов, А.Г. Технологический прорыв аграрно-пищевых инноваций молочного дела на примере универсального сельхозсырья. Диафильтрация / А.Г. Храмцов // Аграрнопищевые инновации. – 2022. – № 2(18). – С. 9-25. – DOI 10.31208/2618-7353-2022-18-9-25.

97. Храмцов, А.Г. Технологический прорыв молочной отрасли АПК России на примере универсального сельхозсырья. Монография / А.Г. Храмцов – СПб: Профессия, 2023. – 218 с, ил., табл.

98. Храмцов, А.Г. Технологический суверенитет молочной отрасли пищевой индустрии АПК РФ на примере универсального сельхозсырья : информ. сб. / А. Г. Храмцов.– Ставрополь : Изд-во СКФУ, 2023.– 482 с.
99. Храмцов, А.Г. Технология продуктов из молочной сыворотки / А.Г. Храмцов, П.Г. Нестеренко. – М.: ДеЛи принт, 2004. – 587 с
100. Храмцов, А.Г. Феномен молочной сыворотки / А.Г. Храмцов. - СПб.: Профессия, 2011. - 804 С.
101. Храмцов, А.Г. Хлеб и мучные кондитерские изделия на молочной сыворотке / А.Г. Храмцов, Б.О. Суюнчева, Ю. Ф. Росляков [и др.] // Хлебобулочные, кондитерские и макаронные изделия XXI века: Материалы VII Международной научно-практической конференции, Краснодар, 16–18 сентября 2021 года. – Краснодар: ФГБОУ ВО «КубГТУ», 2021. – С. 120-126.
102. Храмцов, А.Г. Эволюция переработки молочной сыворотки: прошлое, настоящее, будущее (часть 1)/ А.Г. Храмцов, А.А. Борисенко, И.А. Евдокимов, А.А. Брацихин, Л.А. Борисенко// Современная наука и инновации. - 2021. - № 2 (34). - С. 129-139.
103. Храмцов, А.Г. Эволюция переработки молочной сыворотки: прошлое, настоящее, будущее (часть 1) / А. Г. Храмцов, А. А. Борисенко, И. А. Евдокимов [и др.] // Современная наука и инновации. – 2021. – № 2(34). – С. 129-139. – DOI 10.37493/2307-910X.2021.2.12.
104. Чебакова, Г.В. Использование вторичного молочного сырья для производства кисломолочных сывороточных напитков / Чебакова Г.В., Ворошик М.Е., Есепенок К.В. // Инновации и инвестиции. 2019. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-vtorichnogo-molochnogo-syrya-dlya-proizvodstva-kislomolochnyh-syvorotochnyh-napitkov>
105. Шарафетдинов, Х.Х. Специализированные пищевые продукты с модифицированным углеводным профилем в коррекции метаболических нарушений при сахарном диабете 2 типа / Х.Х. Шарафетдинов, О.А. Плотникова, А.М. Назарова, О.В. Кондратьева // Вопросы питания. - 2017. - №6. – С.56-66. - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/spetsializirovannye-pischevye-produkty-s->

modifitsirovannym-uglevodnym-profilem-v-korreksii-metabolicheskikh-narusheniy-pri-saharnom.

106. Яшин, А.Я. Новый прибор для определения антиоксидантов в лекарственных препаратах, биологически активных добавках, пищевых продуктах и напитках Цвет Яуза-01-АА / А.Я. Яшин, Я. И. Яшин, Н.И. Черноусова, В.П. Пахомов // М.: НПО «Химавтоматика», – 2005. – 100 с.

107. Ahmad, T. Treatment and utilization of dairy industrial waste: A review / T. Ahmad, R. M. Aadil, H. Ahmed, U. Rahman, B. C. V. Soares, S. L. Q. Souza, T. C. Pimentel, H. Scudino, J. T. Guimarães, E. A. Esmerino, M. Q. Freitas, R. B. Almada, S. M. R. Vendramel, M. C. Silva, A. G. Cruz // Trends in Food Science & Technology. - 2019. – 88. – с. 361–372. – <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.04.003>.

108. Anisimov, G. Effect of electrodialysis on dairy by-products microbiological indicators / G. Anisimov, S. Ryabtseva, I. Evdokimov, A. Khramtsov, I. Kulikova, M. Kosenko, V. Kravtsov // Journal of Hygienic Engineering and Design. - 2019. - Т. 27. - С. 49-57.

109. Argenta A.B. Membrane Separation Processes Applied to Whey: A Review / A.B. Argenta, P.S. De Agnes. – Food Reviews International. – 2019. – V. 36. – P. 499–528.

110. Atkinson, F.S. International tables of glycemic Index and glycemic Load Values: 2008 / F.S. Atkinson, K. Foster-Powell, J.C. Brand-Miller // Diabetes Care. – 2008. – 31. – 12. – 2281–2283. – <https://doi.org/10.2337/dc08-1239>

111. Augustin, L.S.A. Glycemic index, glycemic load and glycemic response: an International scientific Consensus summit from the international Carbohydrate quality Consortium (ICQC) / L.S.A. Augustin, C.W.C. Kendall, D.J.A. Jenkins, W.C. Willett, A. Astrup, A.W. Barclay, I. Björck, J.C. Brand-Miller, F. Brighenti, A.E. Buyken, A. Ceriello, C. La Vecchia, G. Livesey, S. Liu, G. Riccardi, S.W. Rizkalla, J.L. Sievenpiper, A. Trichopoulou, T.M.S. Wolever, S. Baer-Sinnott, A. Poli // Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases. – 2015. – 25. – 9. – 795–815. – <https://doi.org/10.1016/j.numecd.2015.05.005>

112. Babenyshev, S.P. Experimental determination of parameters for milk whey microfiltration process / S.P. Babenyshev, I.A. Evdokimov, A.A. Bratsikhin, V.E. Zhidkov, G.S. Anisimov, D.S. Mamay // *Journal of Hygienic Engineering and Design*. - 2019. - Volume 28. - Pages 85-95.
113. Bazinet, L. Special issue “membrane Technologies for sustainable Bio-food production Lines”/ L. Bazinet // *Membranes*. – 2021. – 11. – 7. – 485. – <https://doi.org/10.3390/membranes11070485>
114. Bédas, M. Nanofiltration of lactic acid whey prior to spray drying: Scaling up to a semi-industrial scale / M. Bédas, G. Tanguy, A. Dolivet, S. Méjean, F. Gaucheron, G. Garric, G. Senard, R. Jeantet, P. Schuck // *In LWT - Food Science and Technology*. – 2017. -Vol. 79. - pp. 355–360. - Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.01.061>
115. Bhandari, B. Handbook of food powders / B. Bhandari, N. Bansal, M. Zhang, P. Schuck. – 2013. –<https://doi.org/10.1533/9780857098672>.
116. Blais, H.N. A review of multistage membrane filtration approaches for enhanced efficiency during concentration and fractionation of milk and whey / H.N. Blais, K. Schroën, J.T. Tobin // *International Journal of Dairy Technology*. – 2022. – 75. – 4. – 749–760. – <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12884>
117. Buchanan, D. Recent advances in whey processing and valorisation: Technological and environmental perspectives. / D. Buchanan, W. Martindale, E. Romeih, E. Hebishy // *In International Journal of Dairy Technology*. - 2023. - Vol. 76, - Issue 2, pp. 291–312. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12935>
118. Cassano, A. Current and future applications of nanofiltration in food processing. In C. M. Galanakis (Ed.) / A. Cassano, C. Conidi, R. Castro-Muñoz // *Separation of Functional Molecules in Food by Membrane Technology*. – 2019. - pp. 305–348. - Academic Press. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-815056-6.00009-7>
119. Chandrapala, J. Nanofiltration and nanodiafiltration of acid whey as a function of pH and temperature / J. Chandrapala, M.C. Duke, S.R. Gray, M. Weeks, M. Palmer, T. Vasiljevic // *Separation and Purification Technology*. – 2016. – 160. – 18–27. – <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2015.12.046>

120. Chen, Z. A novel membrane-based integrated process for fractionation and reclamation of dairy wastewater/ Z. Chen, J. Luo, Y. Wang, W. Cao, B. Qi, Y. Wan // *Chemical Engineering Journal*. – 2017. – Т. 313. – с. 1061–1070. – <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.10.134>.
121. Coklar, H. The control of Maillard reaction in white grape molasses by the method of reducing reactant concentration / H. Coklar and M. Akbulut // *Food Science and Technology*, vol. 40, Supplement 1, pp. 179–189, 2020. DOI: 10.1590/fst.07119
122. Crowley, S.V. Rehydration and solubility characteristics of high-protein dairy powders / S.V. Crowley, A.L. Kelly, P. Schuck, R. Jeantet, J.A. O'Mahony // *Advanced dairy chemistry*, eds. P. L. H. McSweeney, J. A. O'Mahony, – 2016. – 99–131. New York, NY: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2800-2.4>.
123. CSX 331-2017 Standard for Dairy Permeate Powders [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/list-standards/ru/>
124. Cuartas-Uribe, B. A study of the separation of lactose from whey ultrafiltration permeate using nanofiltration / B. Cuartas-Uribe, M.I. Alcaina-Miranda, E. Soriano-Costa, J.A. Mendoza-Roca, M.I. Iborra-Clar, J. Lora-García // *Desalination*. – Volume 241, Issues 1–3, – 2009. – Pages 244-255, ISSN 0011-9164. – <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.11.086>.
125. Cunha, T.M.P. A theoretical approach to dairy products from membrane processes / T.M.P. Cunha, M.H.M. Canel-la, I.C.S. Haas, R.D.M.C. Amboni, E.S. Prudencio // *Food Science and Technology*. – 2022. – 42. – <https://doi.org/10.1590/fst.12522>
126. Dairy Market size & share analysis - growth trends & forecasts up to 2029 [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/dairy-products-market>
127. Das, B. Recovery of Whey Proteins and Lactose from Dairy Waste: A Step Towards Green Waste Management / B. Das, S. Sarkar, A. Sarkar, S. Bhattacharjee, C. Bhattacharjee // *Process Saf. Environ. Prot.* - 2016, - 101, - 27–33. DOI: 10.1016/j.psep.2015.05.006.

128. Fitzpatrick, J.J. Characterisation of the wetting Behaviour of poor Wetting food Powders and the influence of temperature and film Formation/ J.J. Fitzpatrick, J. Salmon, J. Ji, S. Miao // *KONA Powder and Particle Journal*. – 2017. – 34. – 282–289. – <https://doi.org/10.14356/kona.2017019>
129. Franceschi, P. Seasonal variations of the protein Fractions and the mineral Contents of the cheese Whey in the parmigiano Reggiano cheese Manufacture / P. Franceschi, F. Martuzzi, P. Formaggioni, M. Malacarne, A. Summer // *Agriculture*. – 2023. – 13. – 1. – 165. – <https://doi.org/10.3390/agriculture13010165>
130. Functional market share and trends of dairy products by product, application and region-understanding 2033 [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.marketresearchintellect.com/ru/product/global-functional-dairy-products-market/>
131. Galanakis, C.M. The future of Food / C.M. Galanakis // *Foods*. – 2024. – 13. – 4. – 506. – <https://doi.org/10.3390/foods13040506>
132. Galstyan, A. G. Theoretical backgrounds for enhancement of dry milk dissolution process: mathematical model-ing of the system «solid particles-liquid» / A. G. Galstyan, A. N. Petrov, V. K. Semipyatniy // *Foods and Raw Materi-als*. – 2016. – Vol. 4. – N 1. – P. 102-109.
133. Global Demineralized Whey For Milk Powder Market 2023 by Manufac-turers, Regions, Type and Application, Forecast to 2029 [Электронный ресурс] / Ре-жим доступа: <https://www.marketresearchreports.com/gir/global-demineralized-whey-milk-powder-market-2023-manufacturers-regions-type-and-application>
134. Global Demineralized Whey Powder Market By Type (D-40, D-50), By Application (Baby Foods, Clinical Foods), By Geographic Scope And Forecast [Элек-тронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.verifiedmarketreports.com/product/global-demineralized-whey-powder-market-growth-2019-2024/>
135. Global Whey Market Research Report 2025 [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.themarketreports.com/report/global-whey-market-research-report>.

136. Global Whey Protein Concentrate Market Size, Share, Analysis. [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.expertmarketresearch.com/reports/whey-protein-concentrate-market>
137. Hameed, A. Functional, industrial and therapeutic applications of dairy waste materials / A. Hameed, M. J. Anwar, S. Perveen, M. Amir, I. Naeem, M. Imran, M. Hussain, I. Ahmad, M. I. Afzal, S. Inayat & C. G. Awuchi // *International Journal of Food Properties*. - 2023 - 26:1. - 1470-1496, - DOI: 10.1080/10942912.2023.2213854
138. Handbook of Drying for Dairy Products by C Anandharamakrishnan / J. Wiley. - 2017. - p 219.
139. Harding, J.L. The incidence of Adult-onset Type 1 Diabetes: A systematic Review from 32 countries and Regions / J.L. Harding, P.L. Wander, X. Zhang, X. Li, S. Karuranga, H. Chen, H. Sun, Y. Xie, R.A. Oram, D.J. Magliano, Z. Zhou, A.J. Jenkins, R.C.W. Ma // *Diabetes Care*. - 2022. - 45. - 4. - 994–1006. - <https://doi.org/10.2337/dc21-1752>
140. Hruby, A., Ma, J., Rogers, G., Meigs, J.B., Jacques, P.F., 2017. Associations of dairy intake with incident prediabetes or diabetes in middle-aged adults vary by both dairy type and glycemic status. *J. Nutr.* 147 (9), 1764–1775.
141. Huppertz, T. Lactose in dairy ingredients: effect on processing and storage stability / T. Huppertz, I. Gazi // *Journal of Dairy Science*. - 2016. - vol. 99. - no. 8. - pp. 6842–6851.
142. Hwang, D.F. One-step Simultaneous differential Scanning Calorimetry-FTIR microspectroscopy to quickly Detect continuous Pathways in the Solid-state Glucose/asparagine Maillard Reaction/ D.F. Hwang, T.F. Hsieh, S.Y. Lin // *Journal of AOAC INTERNATIONAL*. - 2013. - 96. - 6. - 1362–1364. - <https://doi.org/10.5740/jaoacint.13-074>
143. Insights on the Whey Protein Global Market to 2027 – by Type, Application and Region. Source: Research and Markets / – February 24, 2022. – [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://www.globenews-wire.com/en/news-release/2022/02/24/2391441/28124/en/Insightson-the-Whey-Protein-Global-Market-to2027-by-Type-Application-and-Region.html>

144. International Diabetes Federation. IDF Diabetes Atlas, 10th edn. Brussels, Belgium: 2021. [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.diabetesatlas.org>
145. Junfu, J. Rehydration behaviours of high protein dairy powders: The influence of agglomeration on wettability, dispersibility and solubility / J. Junfu et al. // *Food Hydrocolloids*. – 2016. – 58. – 194–203.
146. Kartashova, E.A. About the prognostic role of fibulin-5 protein in the progression of pathological vascular re-modeling in patients with isolated systolic arterial hypertension / Kartashova E.A., Sarvilina I.V. // *Adv Gerontol*. – 2019. – 32. – 6. – 1003-1010. – Russian. PMID: 32160441.
147. Kaya, N. Demineralization of cheese whey by sequential nanofiltration (NF) and electro dialysis (ED) processes / N. Kaya, E. Altıok, D. Selvi Gökkaya, N. Kabay, S. Otleş // *In Journal of Membrane Science and Research*. – 2019. – Vol. 5. – Issue 3. – pp. 250–255. – <https://doi.org/10.22079/jmsr.2019.98013.1230>
148. Khramtsov, A. G. Membrane purification of secondary milk raw materials: intensification of processes / A. G. Khramtsov, S. P. Babenyshev, V. E. Zhidkov [et al.] // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Krasnoyarsk, 18–20 ноября 2020 года / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall. Vol. Volume 677*. – Krasnoyarsk, Russian Federation: IOP Publishing Ltd, 2021. – P. 32060. – DOI 10.1088/1755-1315/677/3/032060.
149. Khramtsov, A.G. Influence of the whey type on composition and properties of its mineralizates / A.G. Khramtsov, A.V. Blinov, A.A. Blinova, A.V. Serov // *Foods and Raw materials*. – 2017. – 5. – 1. – 30–40. – <https://doi.org/10.21179/2308-4057-2017-1-30-40>
150. Khramtsov, A.G., Systematization and ranking of linguistic terminology of secondary dairy raw materials in its rational use / A.G. Khramtsov, D.N. Volodin, O.S. Batdyeva, C.M. Batdyev // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. - 2021. – T. 848. - 113. - 012193. - DOI 10.1088/1755-1315/848/1/012193
151. Kravtsov, V.A. Feasibility of using electro dialysis with bipolar membranes to deacidify acid whey / V.A. Kravtsov, I.K. Kulikova, A.S. Bessonov, I.A. Ev-

dokimov // International Journal of Dairy Technology. – 2020. – 73. – 1. – 261–269. – <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12637>

152. Lactose Global Market Report 2023 [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://www.reportlinker.com/p06284591/?utm_source=GNW

153. Lee, J.W. Can the Thermodynamic Melting Temperature of Sucrose, Glucose, and Fructose Be Measured Using Rap-id-Scanning Differential Scanning Calorimetry (DSC)? / J.W. Lee, L.C. Thomas, S.J. Schmidt // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2011. – 59. – 3306-10.

154. Liu, S. A prospective study of dietary glycemic load, carbohydrate intake, and risk of coronary heart disease in US women / S. Liu, W.C. Willett, M.J. Stampfer, F.B. Hu, M. Franz, L. Sampson, C.H. Hennekens, J.A.E. Manson // The American Journal of Clinical Nutrition. – 2000. – 71. – 6. – 1455–1461. – <https://doi.org/10.1093/ajcn/71.6.1455>

155. Lovegrove, J.A. Dairy food products: good or bad for cardiometabolic disease? / J.A. Lovegrove, D.I. Givens // Nutrition Research Reviews. – 2016. – 29. – 2. – 249–267. – <https://doi.org/10.1017/S0954422416000160>

156. Lu, Y. Impact of sucrose crystal composition and chemistry on its thermal behavior / Y. Lu, L.L. Yin, D.L. Gray, L.C. Thomas, S.J. Schmidt // Journal of Food Engineering. – 2017. – 214. – 193–208. – <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.06.016>

157. Macwan, S.R. Whey and its Utilization / S.R. Macwan, B.K. Dabhi, S.C. Parmar, K.D. Aparnathi // International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. – 2016. – 5. – 8. – 134–155. – <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2016.508.016>

158. Magomedov G.O. Technological aspects of whey by-products use in the production of zephyr of improved quality / G.O. Magomedov, A.N. Ponomarev, E.I. Melnikova, I.V. Plotnikova, K.K. Polyanskiy, E.N. Miroshnichenko // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. – 2022. - Sci. 1052 012050 doi:10.1088/1755-1315/1052/1/012050

159. Magoń, A. Heat capacity and transition behavior of sucrose by standard, fast scanning and temperature-modulated calorimetry / A. Magoń, M. Pyda, A. Wurm [et al.] // Thermochemica Acta. – 2014. – Vol. 589. – P. 183-196. – DOI 10.1016/j.tca.2014.05.029.

160. Magon, A. Reprint of “Heat capacity and transition behavior of sucrose by standard, fast scanning and temperature-modulated calorimetry” / A. Magon, A. Wurm, C. Schick, Ph. Pangloli, S. Zivanovic, M. Skotnicki and M. Pyda // *Thermochimica Acta* - 2015. -603. - 149-161.

161. Maidannyk, V. Water sorption and hydration in spray-dried milk protein powders: selected physicochemical properties/ V. Maidannyk, D.J. McSweeney, S.A. Hogan, S. Miao, S. Montgomery, M.A.E. Auty, N.A. McCarthy // *Food Chemistry*. – 2020. – 304. – 125418. – <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125418>

162. Marcel, P *Lactose: Evolutionary Role, Health Effects and Applications* / Paques, Marcel & Lindner, Cordula. – 2019. – Elsevier Inc. - c. 71. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811720-0.00005-2>

163. Mazorra-Manzano, M.A. Production of whey protein hydrolysates with angiotensin-converting enzyme-inhibitory activity using three new sources of plant proteases / M.A. Mazorra-Manzano, W.G. Mora-Cortes, M.M. Leandro-Roldan, D.A. González-Velázquez, M.J. Torres-Llanez, J.C. Ramírez-Suarez, A.F. González-Córdova, B. Vallejo-Córdova // *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. – 2020. – 28. –101724. – <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101724>

164. Melini, F. Raw and Heat-Treated Milk: From Public Health Risks to Nutritional Quality/ F.Melini, V.Melini, F.Luziatelli, M.Ruzzi// *Beverages*. 2017. 3(4):54.

165. Melnikova, E. Sucrose, Lactose, Thermogravimetry, and Differential Thermal Analysis: The Estimation of the Moisture Bond Types in Lactose-Containing Ingredients for Confectionery Products with Reduced Glycemic Index / E. Melnikova, E. Bogdanova, D. Paveleva, I. Saranov // *Hindawi International Journal of Food Science*. – Vol. 2023. - 10 p. - Article ID 8835418. - <https://doi.org/10.1155/2023/8835418>

166. Merkel, A. Lactose mother Liquor stream Valorisation using an effective Electrodialytic Process / A. Merkel, M. Vavro, L. Čopák, L. Dvořák, L. Ahrné, C. Ruchti // *Membranes*. – 2022. – 13. – 1. – 29. – <https://doi.org/10.3390/membranes13010029>

167. Merkel, A. The impact of integrated nanofiltration and electrodialytic processes on the chemical composition of sweet and acid whey streams/ A. Merkel, D.

Voropaeva, M. Ondrušek // *Journal of Food Engineering*. – 2021. – 298. – 110500. – <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110500>

168. Mo, J. Ice Crystal Coarsening in Ice Cream during Cooling: A Comparison of Theory and Experiment / J. Mo, R.D. Groot, G. McCartney, E. Guo, J. Bent, G. van Dalen, P. Schuetz, P. Rockett, P.D. Lee // *Crystals*. – 2019. - 9. - 321.

169. Murphy, E.G. Powder and reconstituted Properties of commercial Infant and Follow-on Formulas / E.G. Murphy, N.E. Regost, Y.H. Roos, M.A. Fenelon // *Foods*. – 2020. – 9. – 1. – 84. – <https://doi.org/10.3390/foods9010084>

170. Nielsen, E.N. Improving electrodialysis separation efficiency of minerals from acid whey by nanofiltration preprocessing / E.N. Nielsen, L.H. Skibsted, S.R. Yazdi, A. Merkel and L.M. Ahrné // *Int J Dairy Technol*. - 2022. - 75: 820-830.

171. OECD-FAO AGRICULTURAL OUTLOOK 2023-2032 © OECD/FAO 2023 [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/oecd-fao-agricultural-outlook-2023-2032_08801ab7-en

172. Ogle, G.D. Type 1 diabetes estimates in children and adults / G.D. Ogle, F. Wang, G.A. Gregory, J. Maniam // *IDF Diabetes Atlas*, - 2022. - URL: <https://diabetesatlas.org/atlas/t1d-index-2022/>

173. O'Sullivan, J.J. Atomisation technologies used in spray drying in the dairy industry: A review / J.J. O'Sullivan, E.A. Norwood, J.A. O'Mahony, A.L. Kelly // *Journal of Food Engineering*. – 2019. – 243. – 57–69. – <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.08.027>

174. Pastukh, O. N. To the issue of using secondary dairy raw materials / O.N. Pastukh, E.V. Zhukova // *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. - Vol. 640. - Issue 3, 032022. IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/640/3/032022>

175. Ponomarev, A.N. The rehydration Ability of whey Ingredients / A.N. Ponomarev, E.I. Melnikova, E.V. Bogdanova, D.A. Paveleva // *KnE Life Sciences*. – 2022. – <https://doi.org/10.18502/cls.v7i1.10151>

176. Ramani, K. Significance of Whey as a Biofunctional Asset in Dairy Industry / K. Ramani, R.A. Patel // *International Journal of Research Publication and Reviews*. – 2023.- Vol 4, - no 10, pp 2828-2833. - DOI: <https://doi.org/10.55248/gengpi.4.1023.102902> (c. 2829)
177. Reznichenko, I. Sugar substitutes and sweeteners in confectionery Technology / I. Reznichenko, M. Shcheglov // *Food Processing: Techniques and Technology*. – 2020. – 50. – 4. – 576–587. – <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-576-587>
178. Sakr, S.S. Nutritional, Physicochemical, Microstructural, Rheological, and Organoleptical Characteristics of Ice Cream Incorporating *Adansonia digitata* Pulp Flour. / S.S. Sakr, S.H.S. Mohamed, A.A. Ali, W.E. Ahmed, R.M. Algheshairy, M.S. Almujaaydil, A.A. Al-Hassan, H. Barakat, M.F.Y. Hassan // *Foods*. – 2023. – 12 - 533.
179. Schiffer, S. Effect of Temperature-Dependent Bacterial Growth during Milk Protein Fractionation by Means of 0.1 μM Microfiltration on the Length of Possible Production Cycle Times / S. Schiffer, U. Kulozik // *Membranes*. – 2020. – 10. - 326. – DOI:10.3390/membranes10110326
180. Sharma, A. Experimental validation and comparison of time-optimal and industrial strategy for membrane separation process / A. Sharma, R. Valo, M. Kalúz, R. Paulen, M. Fikar // *IFAC-PapersOnLine*. – 2018. – 51. – 2. – 741–746. – <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.04.002>
181. Soedamah-Muthu, S.S. Dairy consumption and cardiometabolic Diseases: systematic Review and updated Meta-analyses of prospective Cohort Studies / S.S. Soedamah-Muthu, J. de Goede // *Current Nutrition Reports*. – 2018. – 7. – 4. – 171–182. – <https://doi.org/10.1007/s13668-018-0253-y>
182. Talebi, S. Pilot study on the removal of lactic Acid and minerals from acid Whey using Membrane Technology / S. Talebi, F. Suarez, G.Q. Chen, X. Chen, K. Bathurst, S.E. Kentish // *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*. – 2020. – 8. – 7. – 2742–2752. – <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b06561>.
183. Talebi, S. Utilisation of salty whey ultrafiltration permeate with electrodiagnosis / S. Talebi, E. Kee, G.Q. Chen, K. Bathurst, S.E. Kentish // *International Dairy Journal*. – 2019. – 99. – 104549. – <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.104549>

184. Taylor, M.J. Antioxidant activity of skim milk: effect of heat and resultant sulfhydryl groups / M.J. Taylor, T. Richardson // *J. of Dairy Science*, – 1980. – 63 (11). – 1783–1795.
185. Tsermoula, P. WHEY - The waste-stream that became more valuable than the food product / P. Tsermoula, B. Khakimov, J.H. Nielsen, S.B. Engelsen // *In Trends in Food Science & Technology*. – 2021. - Vol. 118, - Part A, - pp. 230–241. - Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.08.025>
186. United States Department of Agriculture Foreign Agricultural Service [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/downloads>
187. Whey Permeate Market Size - By Form (Powder, Liquid), By Application (Bakery Products, Confectionery, Dairy Products, Beverages, Swine Feed, Cattle Feed, Poultry Feed, Protein Supplements), By End Use & Forecast, 2025 – 2032 [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.gminsights.com/industry-analysis/whey-permeate-market>
188. Whey Protein Ingredients Market Research Report Information by Type (Whey Protein Isolate, Concentrate, Hydrolyzed Whey Protein, Demineralized Whey Protein), Application (Sports Nutrition, Beverages, Meat Products) and by Region – [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.marketresearchfuture.com/reports/whey-protein-ingredients-market-5122>
189. WHO European Regional Obesity Report. - 2022. [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.who.int/europe/publications/i/item/9789289057738>
190. World Health Organization, Guideline: Sugars Intake for Adults and Children, World Health Organization, Geneva, - 2015 [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241549028>
191. Wu, S. Updating insights into the rehydration of dairy-based powder and the achievement of functionality / S. Wu, K. Cronin, J. Fitzpatrick, S. Miao // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. – 2022. – 62. – 24. – 6664–6681. – <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1904203>

192. Yadav, D. Nanofiltration (NF) membrane Processing in the food Industry / D. Yadav, S. Karki, P.G. Ingole // *Food Engineering Reviews*. – 2022. – 14. – 4. – 579–595. – <https://doi.org/10.1007/s12393-022-09320-4>
193. Yatskov, M. Design of systems for integrated processing of dairy raw materials in the cheese industry / M. Yatskov, N. Korchyk, V. Besediuk // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2021. – Vol. 3, No. 11-111. – P. 80-87. – DOI 10.15587/1729-4061.2021.234818.
194. Zabodalova L.A. Manufacturing of curd products of increased biological value for the elderly from dried components / L. A. Zabodalova, M.S. Belozeroва, T.N. Evstigneeva // *Acta Scientiarum Polonorum, Technologia Alimentaria*, 2018. – T. 17, № 2. – C. 177 – 184.
195. Zandona, E. Whey Utilization: Sustainable Uses and Environmental Approach / E. Zandona, M. Blažić, A. Režek Jambrak // *Food Technol. Biotechnol.* - 2021, - 59, - 147–161.

Приложения

Приложение А.

Акт выработок и внедрения в производство

Утверждаю

Генеральный директор
филиала ПАО МК «Воронежский»
«Калачевский сырзавод»
Кузнецова С.А.
2023 г.



АКТ

внедрения в производство технологии деминерализованного сывороточного пермеата

Настоящий акт подтверждает то, что с 06.02.2023 г. по 11.04.2023 г. на производственной площадке филиала ПАО МК «Воронежский» «Калачевский сырзавод» (г. Калач Воронежской области), внедрена технология деминерализованного сывороточного пермеата, разработка которой осуществлялась с привлечением сотрудников кафедры технологии продуктов животного происхождения ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий».

Технология продукта прошла опытно-промышленную апробацию в условиях филиала ПАО МК «Воронежский» «Калачевский сырзавод» (г. Калач Воронежской области).

Технология деминерализованного сывороточного пермеата предусматривает следующие основные операции: приемка и подготовка сырья, очистка сыворотки от казеиновой пыли и молочного жира, пастеризация, охлаждение, ультрафильтрация, нанофильтрация, электродиализ, вакуум-выпаривание, кристаллизация лактозы, сушка, упаковка, маркировка.

По органолептическим и физико-химическим показателям (таблица) сывороточный ингредиент соответствует требованиям ТУ 10.51.55-030-00426012-2019.

За период с 11.04.2023 г. по н.в. было произведено по внедренной технологии 4704943 т. сывороточного пермеата.

Таблица

Показатели качества сывороточных ингредиентов

Наименование показателя	Сывороточный пермеат
Органолептические показатели	
Внешний вид и консистенция	Гигроскопичный мелкодисперсный порошок. Допускается незначительное количество комочков, рассыпающихся при легком механическом воздействии
Вкус и запах	Вкус чистый, сладковатый. Запах сывороточный, без посторонних привкусов и запахов
Цвет	Белый со светло-кремовым или желтоватым оттенком, однородный по всей массе
Физико-химические показатели	
Массовая доля сухих веществ, не менее, %	96,5
Массовая доля лактозы в пересчете на сухое вещество, %, не менее	85,0
Массовая доля белка в пересчете на сухое вещество, %, не более	4,0
Массовая доля золы, в пересчете на сухое вещество, %, не более	
- недеминерализованный	9,0
- деминерализованный:	
УД-25%	7,0
УД-50%	4,0
УД-70%	2,5
УД-90%	1,0
Группа чистоты	I
Индекс растворимости, см ³ сырого осадка	0,1

Начальник цеха сушки

Бузуверов В.В.

Технолог цеха сушки

Шушпанова Е.С.

Начальник производственной лаборатории

Слепокурова О.П.

Профессор кафедры ТПЖП, д.т.н.

Мельникова Е.И.

Ассистент кафедры ТПЖП

Павельева Д.А.

Приложение Б.
Технологическая инструкция

ПУБЛИЧНОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
МОЛОЧНЫЙ КОМБИНАТ «ВОРОНЕЖСКИЙ»
(ПАО Молочный комбинат «Воронежский»)

СОГЛАСОВАНО
Директор филиала
ПАО МК «Воронежский»
«Калачевский сырзавод»
А.А. Кузнецова



2023г

УТВЕРЖДАЮ
Генеральный директор
ПАО МК «Воронежский»
А.И. Лосев



2023г

Продукт сывороточный сухой (пермеат)
Технологическая инструкция
ТИ ТУ 10.51.55-030-00426012-2019

Дата введения в действие « 16 » 04 2023г

РАЗРАБОТАНО:

ПАО Молочный комбинат «Воронежский»

Начальник
отдела технологического
контроля и развития  Е.И. Мельникова

СОГЛАСОВАНО:

Главный инженер  Ю.В. Сошин

Директор департамента
(по качеству)  В.Н. Самойлова



394016, г. Воронеж
ул. 45 Стрелковой Дивизии, д. 259

Приложение В.
Дипломы выставок



Диплом участника

выставки XI Международной научно-технической конференции

**«ПРОДОВОЛЬСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ:
НАУЧНОЕ, КАДРОВОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ
ОБЕСПЕЧЕНИЕ»**


награждается

**Мельникова Е.И., Станиславская Е.Б.,
Богданова Е.В., Рудниченко Е.С., Павельева Д.А.**

за представление экспоната

Концентрат мицеллярного казеина

Главный научный сотрудник
НОЦ «Живые системы»,
д.т.н., проф.

 Л.В. АНТИПОВА

28-29 НОЯБРЯ 2024 Г.

ПРИКАЗ № 192 ОТ 19.09.2024

Г. ВОРОНЕЖ 2024 Г.

Диплом участника

выставки XI Международной научно-технической конференции

**«ПРОДОВОЛЬСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ:
НАУЧНОЕ, КАДРОВОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ
ОБЕСПЕЧЕНИЕ»**


награждается

Мельникова Е.И., Станиславская Е.Б.,
Богданова Е.В., Рудниченко Е.С., Павельева Д.А.

за представление экспоната

**Лецитинированный (быстрорастворимый)
концентрат сывороточных белков**

Главный научный сотрудник
НОЦ «Живые системы»,
д.т.н., проф.

 Л.В. АНТИПОВА

28-29 НОЯБРЯ 2024 Г.

ПРИКАЗ № 192 ОТ 19.09.2024

Г. ВОРОНЕЖ 2024 Г.

ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА
 ФГАНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
 молочной промышленности»
 ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН
 ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»



ВНИМИ



Диплом

II степени

конкурса научно-исследовательских работ
 в сфере молочной отрасли
 в номинации «Аспиранты и молодые ученые»
 награждается

Тавельева Дарья Анатольевна

Ректор
 ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА

[Signature]
 Н.Г. Малков

Директор ФГАНУ «ВНИМИ»

[Signature]
 А.Г. Галстян

Директор ВНИИМС - филиал
 ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН

[Signature]
 Г.Н. Рогов

Декан факультета пищевой инженерии и биотехнологий
 ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»

[Signature]
 Н.П. Оботурова

г. Вологда
 26 октября 2023 года

ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

ДИПЛОМ
награждается
СЕРЕБРЯНОЙ МЕДАЛЬЮ

VIII МЕЖДУНАРОДНОЙ ВЫСТАВКИ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ИННОВАЦИЙ
ИМЕНИ П. Г. СЛАВИНОВА



В НОМИНАЦИИ:
**ЛУЧШАЯ ИННОВАЦИОННАЯ РАЗРАБОТКА
В ИНТЕРЕСАХ БИОТЕХНОЛОГИИ И ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

коллектив авторов

**МЕЛЬНИКОВА Е.И.
БОГДАНОВА Е.В.
ПАВЕЛЬЕВА Д.А.
ДОРОХОВА Я.А.
ГУЛЯЕВА Д.В.**

ЗА ПРОЕКТ

СМЕСЬ ДЛЯ УГЛЕВОДНО-ЭЛЕКТРОЛИТНОГО НАПИТКА С АМИНОКИСЛОТАМИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования "Воронежский государственный университет
инженерных технологий"

Врио ректора



Корнеева О.С.





ЕВРАЗИЙСКАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПЛАТФОРМА
«Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности
АПК – продукты здорового питания»
(Ассоциация «ТППП АПК»)

01 | Воронеж
декабря | 2022 г.



ХІ АГРОПРОМЫШЛЕННЫЙ КОНГРЕСС

ДИПЛОМ

За участие в выставке

*«Продукты здорового питания – новый тренд
пищевой промышленности» с проектом*

*«Разработка инновационных технологий пищевых
ингредиентов на основе молочного сырья»*

**Авторы: Пономарев А.Н., Мельникова Е.И.,
Станиславская Е.Б., Богданова Е.В., Павельева Д.А.**

Директор



А.В. Журавлев

Приказ № 1/м от 02.12.2022 г.



ДИПЛОМ

за участие в работе

*выставки инновационных продуктов и технологий
в рамках V Международной научно-практической
конференции «Продовольственная безопасность:
научное, кадровое и информационное обеспечение»*

Награждаются

**Мельникова Е.И., Богданова Е.В., Добрынина М.А.,
Корнеева Д.А.**
**Экспонат «Сухая смесь для специализированного
спортивного питания»**

23 ноября 2018 г.

Директор НОЦ «НаноБиоТех»
ФГБОУ ВО «ВГУИТ»
д.б.н., профессор

О. С.Корнеева

