

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
**«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ –
МСХА имени К.А. ТИМИРЯЗЕВА»**
(ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева)

**Дунченко Н.И., Янковская В.С.,
Купцова С.В., Волошина Е.С., Михайлова К.В.**

**НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ПРОИЗВОДСТВА
ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ
ИЗ ЖИВОТНОГО СЫРЬЯ**

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Москва 2025

УДК 541.182; 664

ББК 36.95

Д 83

Дунченко Н.И., Янковская В.С., Купцова С.В., Волошина Е.С., Михайлова К.В. Научные основы производства функциональных пищевых продуктов из животного сырья: учебное пособие / Н. И. Дунченко, В.С. Янковская, С.В. Купцова, Е.С. Волошина, К.В. Михайлова – М.: ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2025. – 158 с.

В учебном пособии рассмотрены научных основ создания технологий функциональных продуктов питания из сырья животного происхождения. Приведены обобщенные результаты собственных исследований авторов и других ученых по изучению применения различных подходов обеспечения заданных свойств структурированных ряда продуктов питания, в частности, обеспечивающих функциональные свойства продукции.

Учебное пособие предназначено для магистров направления подготовки 19.04.03 Продукты питания животного происхождения, а также может быть полезно бакалаврам, магистрам, аспирантам, инженерам по разработке инновационных продуктов питания, функциональной и специализированной продукции; руководителям предприятий и всем, кто стремится овладеть современными подходам к созданию продуктов здорового питания.

РЕЦЕНЗЕНТ:

Бредихин С.А. – д.т.н., профессор, профессор кафедры «Процессы и аппараты пищевых производств» РГАУ – МСХА им. К.А. Тимирязева

ISBN 978-5-9675-2099-0

© Коллектив авторов, 2025

© ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2025

Оглавление

Введение.....	5
Глава 1. Приоритетные направления создания функциональных продуктов питания: современное состояние, анализ рынка, тренды.....	10
Глава 2. Методологический подход к подбору функциональных ингредиентов при проектировании обогащенной продукции.....	19
Глава 3. Научные основы проектирования инновационных технологий переработки сельскохозяйственного сырья и производства пищевых продуктов	36
3.1. Теоретические основы структурообразования в молочных системах.....	36
3.2. Характеристика структурообразующих белков.....	46
3.3. Механизм образования структуры в поликомпонентных замороженных молочных системах.....	54
Глава 4. Научные основы разработки инновационных технологий переработки пищевых продуктов.....	60
4.1. Исследование функционально-технологических свойств ингредиентов функциональных продуктов питания на примере замороженных молочных систем.....	60
4.2. Определение режимов первичной обработки растительного сырья при создании замороженных молочных продуктов.....	65
4.3. Исследование режимов подготовки растительного сырья при создании замороженных молочных продуктов.....	66
Глава 5. Научные основы проектирования рецептур и технологии многокомпонентных молочных продуктов	101

5.1 Исследование совместного влияния структурообразователя и функциональных ингредиентов на структурно-механические свойства молочных систем.....	101
5.2 Научное обоснование рациональной дозы и этапа внесения функциональных компонентов в молочные системы.....	109
5.3. Исследование влияние функциональных компонентов на органолептические показатели качества замороженных молочных продуктов.....	117
5.4. Исследование влияние функциональных компонентов на реологические показатели качества замороженных молочных продуктов.....	119
5.5. Исследование показателей качества разработанных молочных продуктов с функциональными компонентами.....	122
Глава 6. Научные основы создания и использования функциональных продуктов питания и БАД	125
6.1. Обоснование выбора структурированных молочных продуктов как основы для обогащения продуктов питания функциональными пищевыми ингредиентами.....	125
6.2. Обоснование выбора криопорошка как источника БАВ при производстве функциональных структурированных молочных продуктов.....	130
6.3. Разработка технологии производства функциональных структурированных молочных продуктов с криопорошками.....	136
Библиографический список.....	142

ВВЕДЕНИЕ

С конца XIX – начала XX вв. развитие технологии производства пищевых продуктов осуществляется, опираясь на твердую научную основу, сформулированную в процессе длительной эволюции, – теорию сбалансированного питания. В последнее время получила особенно широкое развитие технология многокомпонентных пищевых продуктов второго и третьего поколения. Создание продуктов нового поколения проходит, как правило, по двум направлениям:

- разработка продукта, известного населению, с использованием приемов, улучшающих качество и совершенствующих технологию, т.е. аналогов;
- разработка продуктов с заданными составом и свойствами.

Эти продукты предназначаются как для общего, так и для функционального питания.

«Формула пищи XXI века – это постоянное использование в рационе, наряду с традиционными натуральными пищевыми продуктами, продуктов обогащенные растительными ингредиентами, продукты с улучшенными потребительскими свойствами и повышенной пищевой ценностью, продуктов с заданными свойствами т.е. функциональных пищевых продуктов, обогащенных эссенциальными пищевыми веществами и микронутриентами, биологически активными добавками, концентратов микронутриентов и других минорных не пищевых биологически активных веществ».

Мелочно-белковая система можно рассматривать как основу структурированных молочных продуктов. Молоко – уникальная белково-пищевая система, содержащая многофункциональные белки и липиды высокой биологической ценности, обусловленной их составом, углеводы, минеральные вещества, витамины, ферменты, гормоны и другие биологически активные

вещества. Молоко и молочные продукты в значительной степени обеспечивают потребность организма человека в животном белке, незаменимых аминокислотах, полиненасыщенных жирных кислотах, фосфолипидах, кальции, фосфоре, микроэлементах, витаминах, ферментах.

В доступной литературе имеются сведения о классификациях структурообразователей. Существует несколько классификационных признаков структурообразователей, трактующих разные подходы. Наиболее распространенные классификации:

- По источникам выделения различают структурообразователи животного, растительного и микробиологического происхождения;
- По происхождению – натуральные, биосинтетические, полусинтетические и синтетические, которые делятся на эксудаты, водорослевые сухие экстракты и порошки, получаемые из семян растений.

Натуральные структурообразователи: эксудаты смол, выделяемые растениями (гуммиарабик, смола гатти, смола карая); экстракты получаемые из морских водорослей (агар-агар, агароид, альгинаты, каррагинаны, фуцеллараны); натуральные структурообразователи, получаемые из зерен и плодов растений (крахмалы: из кукурузы, картофеля, тапиока, ржи), порошки из семян семейства бобовых, гуар, тара, тамариндайвы, арабикогалактан, пектины).

Биосинтетические гидроколлоиды: декстрины, ксантан, кулдрин, полиманн, геллан, пуллулан. Полусинтетические или модифицированные гидроколлоиды производные целлюлозы: карбоксиметилцеллюлоза, метилцеллюлоза, ксипропилцеллюлоза, оксиэтилцеллюлоза.

Производные крахмала: оксипропилкрахмал, оксиэтилкрахмал, производные хитина: хитозан.

Производные альгинатов: пропиленальгинат, пектин с небольшим содержанием метоксильных групп, оксипропил гуар.

Синтетические структурообразователи: метилвиниловый эфир малеинового ангидрита, поливиниловый спирт, полиэтиленгликоль полимеры.

Структурообразователи, изменяющие консистенцию: загустители, желе- и студнеобразователи; эмульгаторы и стабилизаторы.

Вещества, добавляемые в продукты для улучшения технологии, в частности эмульгаторы, стабилизаторы и студнеобразователи.

Смолы – длинноцепочные полисахариды, неразветвленные, значительно разветвленные или с ковалентно образованными поперечными связями, способные в значительной степени взаимодействовать с водой.

Структурообразователи вносят в состав создаваемых продуктов с очень разнообразными технологическими целями, в частности, для загущения, эмульгирования, водоудержания, ценообразования, флокуляции, седиментации, предотвращения гистерезиса, ингибирования, кристаллизации и черствления, дегазации, коалесценции и т.д. При выполнении различных задач структурообразователи выступают в основном в виде студнеобразователей, загустителей, эмульгаторов, пенообразователей, связующих веществ и пленкообразователей.

Последнее время широкое распространение получило производство криопорошков из ягод, овощей, водорослей, трав и растений.

Криопорошок — это продукт, полученный из овощей, ягод, фруктов или злаковых по криогенной технологии, то есть с использованием глубокой заморозки на одной или нескольких стадиях процесса производства. Криогенная технология — это экологически чистый и безопасный способ подготовки растений к полному усвоению организмом и длительному хранению без потери БАВ исходного растения. В процессе осуществления технологии используются пониженные температуры на всех стадиях переработки, а на стадии дробления и измельчения применяется метод глубокого замораживания до температуры ниже 180 град.С, что и обеспечивает в конечном итоге клиническую эффективность производимой нами продукции и ее высокое качество. Криотехнология – технологический процесс, в котором и на стадии удаления влаги, и на стадии измельчения до состояния мелкодисперсного порошка применяется метод понижения температуры.

При этом удастся достичь самой высокой степени концентрации биологически активных веществ (БАВ) и, что наиболее важно для получения клинического эффекта, их высочайшей степени биологической доступности. При криотехнологии БАВ растений не подвергаются жесткой обработке и сохраняются в естественных формах и пропорциях. Существует несколько разновидностей криогенных технологий, отличающихся набором применяемых стадий и методов (например, технология сублимационной сушки). Концентрирование БАВ за счет удаления влаги – растительное сырье содержит до 90 % воды, а после сушки – 5 –10%. На стадии удаления влаги, при температурах процесса ниже температуры кипения воды, происходит концентрация БАВ в 8 – 12 раз! Криоизмельчение – это процесс, в котором измельчению подвергается сушеное растительное сырье, охлажденное до очень низких температур (от -100°С до -190°С), что позволяет предотвратить процессы окисления, агрегации и карамелизации сырья и освободить находящиеся в связанном с белковыми молекулами БАВ для полного усвоения их организмом человека. Этот эффект невозможен при использовании «тепловых» способов измельчения, при которых температура внутри массы сырья может достигать очень высоких значений (более 200°С), что приводит к потере большинства весьма ценных БАВ. Увеличение биодоступности БАВ для организма – БАВ растений в составе биокорректоров, изготовленных по криотехнологии, легко и быстро усваиваются организмом практически полностью (на 95 – 100%).

Синергизм БАВ – функциональный синергизм БАВ, в частности антиоксидантов, содержащихся в криопродуктах, позволяет добиваться максимального защитного эффекта и их высокой стабильности при меньшем содержании в продукте.

В монографии рассмотрены несколько научных аспектов использования растительного сырья для обогащения молочных продуктов и одновременно достижения с их использованием заданной структуры продукта. В частности, в

технологии производства мороженого формирование структуры представляется сложным физико-химическим и биохимическим процессом.

Существует связь между размерами кристаллов льда в мороженом и развитием порока слабоснежистая структура.

В мороженом на процесс кристаллизации льда оказывают влияние: тип и количество ингредиентов в смеси мороженого; скорость замораживания; центры кристаллизации и их концентрация.

Для начала процесса кристаллизации льда смесь охлаждается до температуры замерзания, которая зависит от состава смеси мороженого. Затем фризирование при температуре минус 5 °С приводит к вымораживанию 50 % воды и образованию центров кристаллизации в мороженом. В процессе закаливания при температуре минус 40 °С новые центры кристаллизации льда не образуются, а наблюдается рост сформированных кристаллов льда. Быстрое понижение температуры способствует сохранению мелких кристаллов льда в мороженом, образовавшихся во фризере. В результате при температуре минус 18 °С вымораживается 80 % воды. Образованные кристаллы льда в мороженом имеют размер 25-35 мкм при температуре хранения минус 18 °С.

ГЛАВА 1.

ПРИОРИТЕТНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОЗДАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, АНАЛИЗ РЫНКА, ТРЕНДЫ

Под здоровым питанием принято понимать ежедневный рацион, полностью обеспечивающий физиологические потребности организма в энергии и пищевых нутриентах, состоит из безопасных пищевых продуктов, создает условия для нормального физического и интеллектуального развития человека, его жизнедеятельности, способствует укреплению здоровья и профилактике заболеваний [1].

Согласно Указу Президента Российской Федерации № 204 от 07.05.2018 г. «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» в России проект «Здоровое питание» реализует Роспотребнадзор. Миссией данного проекта является улучшение качества жизни и оздоровление граждан РФ за счет обеспечения качества и безопасности реализуемых на российском рынке пищевых продуктов, а также популяризации здорового питания и доведения его до каждого потребителя [2].

Для этого проводятся исследования 12 групп пищевой продукции, в каждой группе по 10-15 показателей, включая биологическую ценность (микро- и макроэлементы, витамины), так показатели, характеризующие низкое качество и безопасность (показатели фальсификации, соли, антибиотики, трансжиры и др.). Роспотребнадзор, на основании проводимых исследований степени соответствия рациона питания нормам здорового питания, разрабатывает рекомендации по употреблению микро- и макроэлементов, витаминов, соли, сахара, трансжиров и др.

Также Роспотребнадзором систематически проводится мониторинг качества продуктов питания в предприятиях торговли, разработаны методические рекомендации и приняты новые СанПиН, направленные на повышение качества производимых и реализуемых продуктов питания, в т.ч. общественного питания и горячего питания в школах, а также идет работа по усовершенствованию нормативной базы в сфере здорового питания [2].

В средствах массовой информации (СМИ) стали появляться основные научные принципы здорового питания, адаптированные для простого потребителя (рисунок 1). В частности, в рамках реализации национальных проектов популяризуется простая для понимания формула здорового питания «1:1:4», заключающаяся в побуждении при формировании своего суточного рациона придерживаться соотношения белков, жиров и углеводов в пропорции 1:1:4 в граммах [3].

Как в России, так и за рубежом наблюдается постоянный рост на рынке продуктов здорового питания [4], что объясняется повышением информированности населения, заботой населения о себе и своих близких и желание вкладывать в свое здоровье и активное долголетие.

Наиболее активный рост продуктов здорового питания и органических продуктов наблюдается в экономически развитых регионах, таких как Европа, Япония, Америка и Австралия [3,5]. В этих странах темпы роста рынка органических продуктов питания достигает до 15-20 % в год – наиболее характерно активное развитие для Германии, Финляндии, Италии, Швеции, Франции и Великобритании [4].

Согласно данным Soil Association, глобальный рынок натуральных продуктов питания в 2004 г. составил 15 млрд фунтов, из которого половина – европейский рынок. Рост популярности продуктов здорового питания наблюдается и в России, хотя этот сегмент рынка еще достаточно небольшой и сформировался около 10 лет назад.

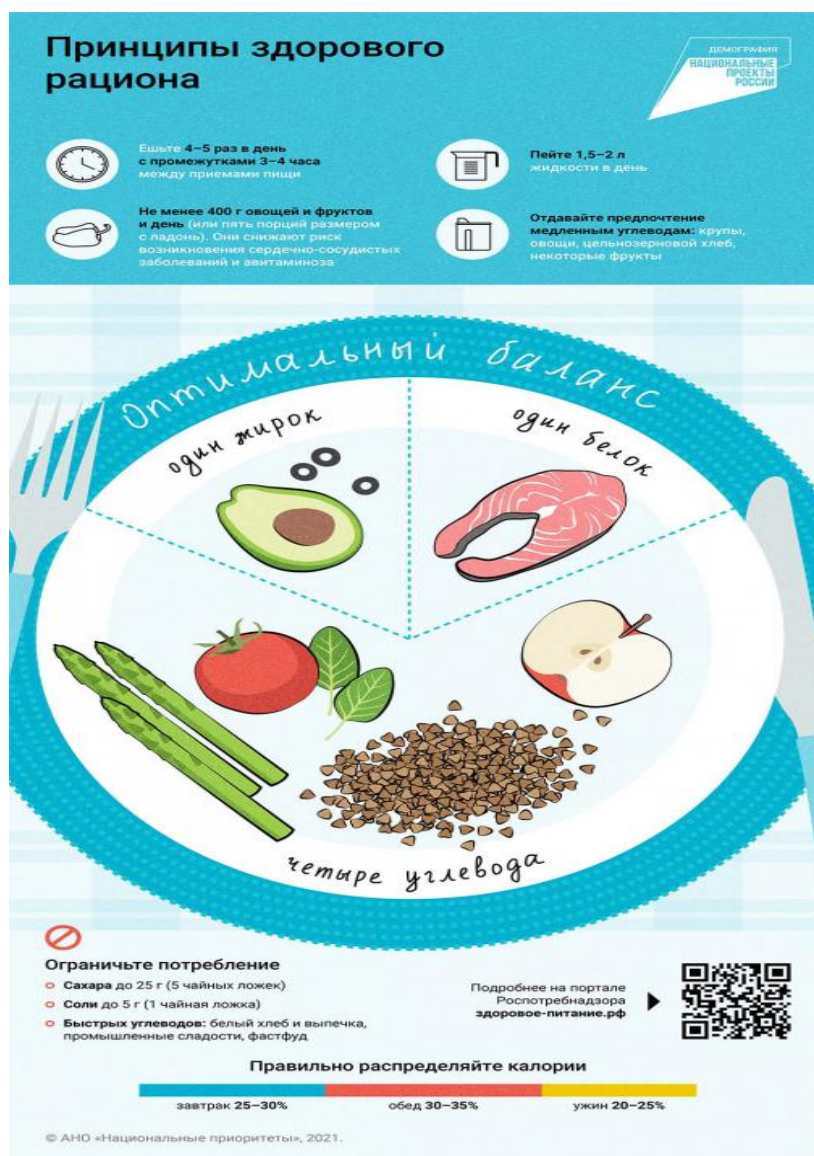


Рисунок 1. Популяризация ключевых принципов здорового питания

На долю продуктов функционального назначения в России приходится всего 3-4% [4], что в сравнении с Японией несопоставимо (в Японии рынок функциональных продуктов занимает 70%) [5,6].

В России развитие рынка натуральных продуктов здорового питания имеет комплексный характер, включающий уменьшение доли употребляемого алкоголя и потребления табака, повышением популярности спорта и модой на здоровый образ жизни. На сегодняшний день рынок продуктов здорового питания представлен сегментами, представленными на рисунках 2 и 3.

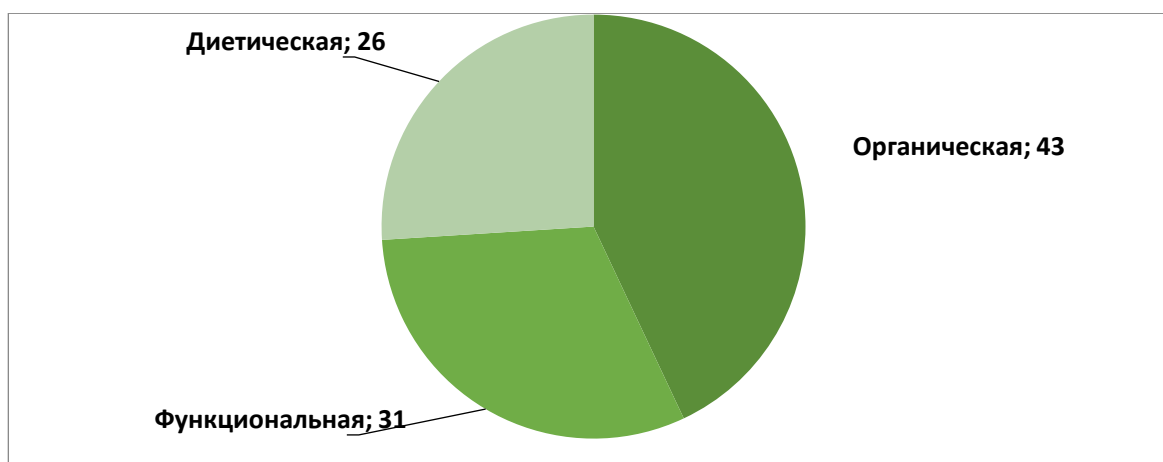


Рисунок 2. Доля рынка продуктов здорового питания

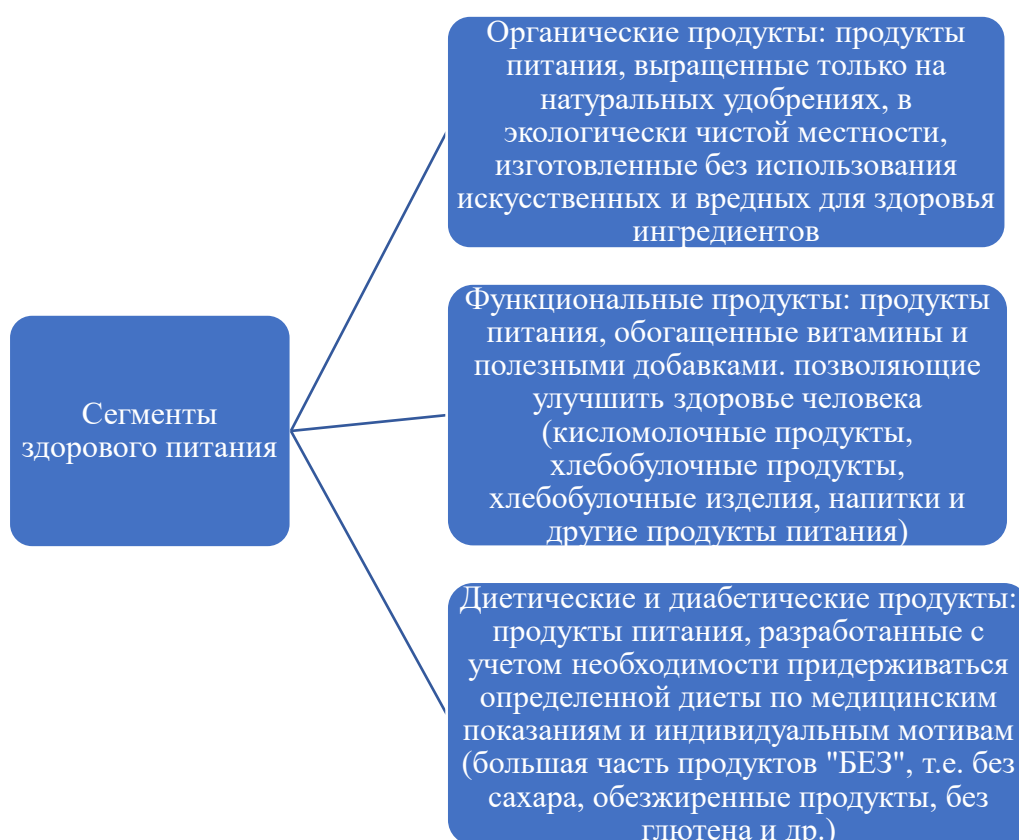


Рисунок 3. Сегментация видов продуктов здорового питания

Результаты исследования рынка продуктов здорового питания в России, проведенные маркетинговым агентством «Discovery Research Group», позволили спрогнозировать, что объем рынка продуктов здорового питания с 872.932 млн. руб. в 2018 г. вырастит к 2023 г. до 1017 984 млн. руб. На данный момент на российском рынке продуктов здорового питания пять ключевых

сегментов: «Естественно здоровый (NH)», «Свободен от», «Лучше для Вас (BFY)», и «Органик», «Укрепленный/функциональный (FF)». Объем самого крупного сегмента рынка здорового питания («Естественно здоровый (NH)») в 2018 году составил 476 045 млн. руб., что больше на 22 155 млн. руб., в 2017 году. Из компаний наибольшую долю, равную 5-7 % на отечественном рынке продуктов здорового питания занимает ООО «Нестле Россия» [7].

Согласно данным Euromonitor International на мировом рынке сегмент продуктов «health and wellness» на данный момент является наиболее динамично развивающимся: объем данного рынка растет в год в среднем на 7 % и в 2016 г. достиг 36 млрд.долл. Сегмент «Свободен от» (т.е. продовольственные товары, не содержащие определенных ингредиентов, в т.ч. пищевые аллергены) также вырос на 7%. Эксперты компании Euromonitor International прогнозируют, что рынок сегментов категории продуктов «Свободен от» и «Органик» будут наиболее динамично развивающимися направлениями, которые в 2021 году достигнет рекордно высокого уровня – 833 млрд.долл. [7].

Необходимо отметить, что на рынке здорового питания традиционно большое место занимает молочная продукция [4,8], представленная такими крупными производителями как ООО «Данон Индустрия» и ОАО «Вимм-Билль-Данн Продукты Питания» Activia (Danone, Groupe). Рыночные доли данных компаний в 2018 г. составили 4,7% и 4,0 % соответственно.

Основным направлением развития продуктов здорового питания является снижение вредных для человека пищевых добавок и обогащение продукции биологически активными добавками (БАД) [9]. Еще в 1980-х гг. на отечественном рынке появилось большое количество БАД и до сегодняшнего дня рост объемов продаж БАД в России постоянно растет. Сейчас в России по разным оценкам реализуется около 5500-7500 наименований различных БАД, из которых только около половины имеют государственную регистрацию. В таблице 1 представлены основные страны – импортёры БАД (по данным Таможенной службы РФ).

Согласно данным таможенной статистики РФ из Германии в Россию в 2006 году было поставлено БАД на общую сумму 45,9 млн. долларов, из США – на 34,3 млн. долларов. Другие европейские страны также активно поставляли БАД в Россию. Со временем сформировался другой тренд, связанный со снижением желания у потребителей употреблять в пищу искусственные/синтетические добавки, развитии аллергии на компоненты этих добавок, сведений о низкой усвояемости синтетических форм биологически активных веществ [4].

Таблица 1. Страны, импортирующие БАД на территорию РФ

Страна импортер	Объем импортируемых БАД	
	в долл. США	в %
Германия	45920742	17,4
США	34327810	13,0
Австрия	29426741	11,2
Венгрия	23134939	8,8
Дания	22688520	8,6
Финляндия	15369633	5,8
Польша	14953279	5,7
Словения	12400111	4,7
Нидерланды	10643499	4,0
Литва	9821567	3,7
Латвия	6413875	2,4
Бельгия	5111005	1,9
Другое	33521656	12,7
Всего	263733377	100

Тренд на БАД сменился ростом популярности натуральных пищевых продуктов. Потребителям стали более интересны традиционные продукты питания каждодневного употребления, содержащие полезные нутриенты [7]. Для поддержания прежних объемов продаж изготовители БАД переориентировались на производство БАД, но в форме пищевых ингредиентов

(витаминно-минеральных и иных премиксов для обогащения продуктов питания) [9]. Необходимо отметить, что на отечественном рынке как БАД, так и премиксов для обогащения пищевых продуктов полезными ингредиентами, практически отсутствуют крупные отечественные производители. Эта проблема является одним из узких мест в условиях импортозамещения.

Под влиянием описанных процессов сформировался российский рынок продуктов здорового питания: заинтересованность со стороны производителей, потребителей и государства.

Для достижения цели, прописанной в Постановлении Правительства «Об утверждении Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017-2025 годы» государство обратило внимание на такое направление в пищевой промышленности, как обогащенные, специализированные и функциональные продукты питания [10].

Функциональные продукты относятся к продукции с дополнительными характеристиками, обусловленными повышением их полезности путем внесения полезных для здоровья ингредиентов. В связи с чем такая продукция более желательна потребителем и стоит дороже обычной продукции, должна отвечать наиболее высоким требованиям к качеству и заявленным полезным свойствам.

Современные тенденции в развитии рынка обогащенных и функциональных продуктов исследовали Т.В. Алексеева, И.В. Буянова, Н.Б. Гаврилова, А.Г. Галстян, Н.И. Дунченко, И.А. Евдокимов, Л.А. Забодалова, Л.М. Захарова, З.С. Зобкова, Т.К. Каленик, Г.И. Касьянов, А.Н. Петров, Н.С. Родионова, Г.В. Семенов, В.А. Тутельян, В.С. Янковская и др. [11-28].

В соответствии с ГОСТ Р 52349-2005 под обогащенным пищевым продуктом понимают функциональный пищевой продукт, относящийся к традиционным продуктам, в который дополнительно внесено один или несколько функциональных пищевых ингредиентов (ФПИ) в количестве, обеспечивающем предотвращение или восполнение имеющегося в организме человека дефицита нутриентов пищи и/или собственной микрофлоры [29].

Минимальное содержание ФПИ в 100 г(мл) или одной порции функциональной продукции составляет 15 % от суточной нормы потребления (СНП).

Согласно действующей нормативной документации [30-32] функциональным пищевым ингредиентом может быть живые полезные для здоровья микроорганизмы (определенных видов), вещество (или комплекс веществ) растительного, животного, минерального, микробиологического происхождения или идентичные натуральным, обладающее(ие) способностью оказывать выраженное научно доказанное и подтвержденное положительное воздействие на одну или несколько физиологических функций организма человека.

Существует мнение, что продукты здорового питания не стоит выделять в отдельный сегмент рынка, т.к. такой подход правильный только в отношении продуктов, связанных с медицинскими ограничениями, например, диабет, целиакия и т.п. Как продукт здорового питания может позиционироваться практически любая качественная пищевая продукция [7,33]. К такой продукции традиционно относится молочная, в частности цельномолочная: йогурт, кефир, творог, кумыс, ряженка, сметана, айран и др. [8].

Обогащенные структурированные продукты питания на основе молочного сырья входят в группу повседневного потребления, а также хорошо адаптированы и сочетаемы с достаточно большим перечнем растительных ингредиентов, обладающих функциональными и структурообразующими свойствами, что предопределяет широкие возможности их использования [28].

Молочные продукты, которые можно отнести к функциональным, на российском рынке представлены следующими двумя большими группами:

- традиционные кисломолочные продукты и напитки, содержащие полезную микрофлору;
- продукты, обогащенные ФПИ [8].

Продукты первой группы на российском рынке функциональных продуктов представлена различными компаниями: ООО «Данон Индустрия» («Активия» и «Актимель») и ОАО «Вимм-Билль-Данн Продукты Питания»

(«Нео Иmunеле»), ООО «Юнимилк» («БиоБаланс», «Северные ягоды», «Кефирный Пробиотический», «Иммунокомплекс», «Тан» и ряд биопродуктов на основе творога, йогурта или их смеси) [7].

Продукты второй группы также представлены на отечественном рынке. Обогащенные ФПИ, к которым относятся витамины, жизненно важные минеральные вещества, пребиотики и др. являются незаменимым фактором здорового питания [12,34]. На рынке представлены обогащенные ФПИ наименования молока преимущественно в сегменте детского питания: ООО «Юнимилк» («Смешарики», «Тёма»), ОАО «Вимм-Билль-Данн Продукты Питания» («Агуша» «Здрайверы»), «Parmalat» («Dietalat», «Milk Power», «Choco Power»), ОАО «МосМедыньагропром» («Большая перемена») [7].

Также на рынке представлены обогащенные ФПИ ряд кисломолочных продуктов для детского питания (питьевые и густые йогурты, творог, молочные коктейли, кисломолочные напитки и творожные продукты) под тремя брендами двух производителей продукции: «Агуша» и «Здрайверы» (ОАО «Вимм-Билль-Данн Продукты Питания») и «Смешарики» (ООО «Юнимилк»). Фруктовый био йогурт для детского питания «Эрмик» (Компания «Эрманн») обогащен кальцием и йодом [28].

ОАО «Вимм-Билль-Данн Продукты Питания» выпускает линейку продуктов под брендом «Био Макс» (обогащенное молоко, йогурт, творог), обогащенные пищевыми волокнами и витаминно-минеральными премиксами, содержащие кальций, йод и железо.

Кроме обозначенных двух групп функциональных молочных продуктов следует отметить тренд на молочную продукцию здорового питания с пониженным содержанием жира, сахарозы и лактозы [35].

В условиях новой политической и экономической ситуации развитие рынка функциональных молочных продуктов, очевидно, получит новый виток инновационного развития на базе отечественного сырья, в том числе ингредиентов растительного происхождения.

ГЛАВА 2.

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПОДБОРУ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ИНГРЕДИЕНТОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ОБОГАЩЕННОЙ ПРОДУКЦИИ

На современном этапе развития пищевой отрасли предприятия сталкиваются с рядом задач, связанных с изменением сырьевого рынка, созданием новых цепочек поставок оборудования, комплектующих и ингредиентов [36], развитием нормативно-правовой базы технического регулирования в АПК, ростом ожиданий потребителей от качества продукции и формированием новых более высоких требований к ней [37].

Общемировым трендом являются научные исследования и разработка новых продуктов, содержащих в своем составе компоненты, оказывающие при систематическом употреблении доказанное полезное влияние на здоровье человека [38]. Такие обогащенные продукты называются функциональными, а компоненты – функциональными пищевыми ингредиентами. По разным оценкам более 60 % всех неинфекционных заболеваний связано с неправильным питанием, таких как сахарный диабет 2-го типа, сердечно-сосудистые заболевания, онкологические, болезни желудочно-кишечного тракта и др. [39]. Согласно принципам здорового питания, для поддержания здоровья и профилактики алиментарно зависимых заболеваний основой рациона должна является растительная пища [40]: прежде всего, на основе зерновых и бобовых (каши и хлеб – преимущественно, цельнозерновые). На втором месте – овощи и фрукты. Причем, овощи более предпочтительны в связи с высоким содержанием в них пищевых волокон и низким содержанием сахаров [41].

Ещё один мировой тренд в запросах потребителей заключается в всё более высокой степени желательности органической (выращенной без применения стимуляторов роста, антибиотиков, удобрений и др.) [42] и/или натуральной (без содержания искусственных или не свойственных продукту компонентов – прежде всего пищевых добавок) [43] продукции.

Рынок функциональных продуктов питания и продукции, обогащенной функциональными ингредиентами, постоянно расширяется и развивается [44-46]. Как в России так и на мировом рынке наблюдается тенденция расширения ассортимента и увеличения доли рынка продукции с функциональными ингредиентами [47]: преимущественно за счет таких популярных продуктов питания как хлебопекарная и молочная продукция [48]. Сама по себе молочная продукция благодаря высокому содержанию в легкоусвояемой форме белков, жиров, водо- и жирорастворимых витаминов, минеральных веществ, может рассматриваться как натуральный функциональный продукт или как прекрасная основа для создания продукции, обогащенной функциональными ингредиентами.

Функциональными пищевыми ингредиентами могут называться полезные для здоровья вещества или комплекс веществ, а также живые микроорганизмы, включение которых в состав продукта (в расчете на одну порцию продукта) покрывает не менее 15 % суточной физиологической потребности организма. К таким ингредиентам относятся: растворимые и нерастворимые пищевые волокна (пектины и др.), витамины (витамин Е, токоферолы, фолиевая кислота и др.), минеральные вещества (кальций, магний, железо, селен и др.), жиры и вещества, сопутствующие жирам (полиненасыщенные жирные кислоты, растительные стеролы, конъюгированные изомеры линолевой кислоты, структурированные липиды, сфинголипиды и др.), полисахариды, вторичные растительные соединения (флавоноиды/полифенолы, каротиноиды, ликопин и др.), пробиотики, пребиотики и синбиотики.

Молочные продукты могут рассматриваться как идеальная основа для получения функциональных или обогащенных функциональными ингредиентами продуктов питания по ряду причин:

- молочная продукция является каждодневными продуктами питания, что предполагает системное потребление продукта и делает возможным ожидаемый положительный эффект на здоровье [49];

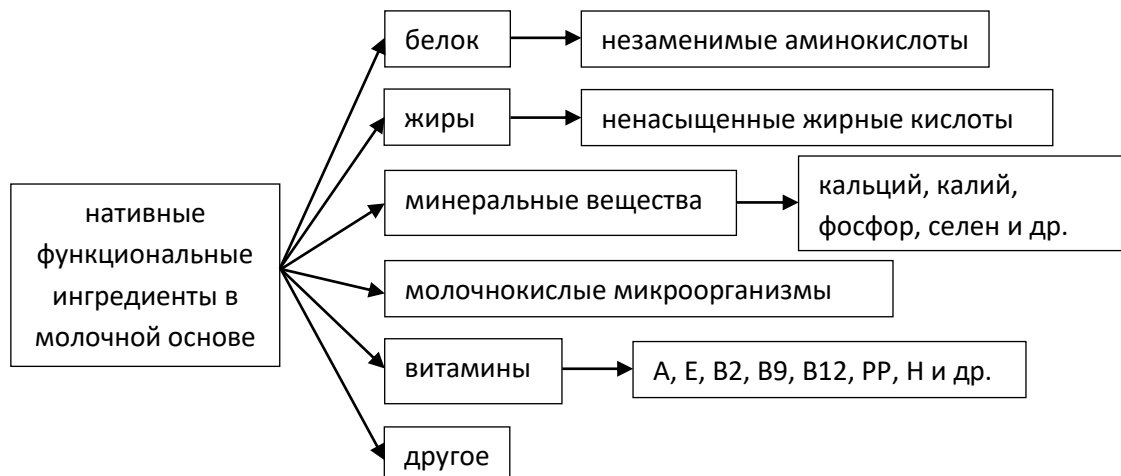
- большая часть молочных продуктов (прежде всего, структурированные молочные продукты, в т.ч. кисломолочные) воспринимаются потребителем как полезный продукт [49,50], что способствует формированию спроса на функциональные продукты именно в сегменте молочной продукции;

- молочные продукты (в частности, структурированные молочные продукты) на рынке представлены прежде всего в порционной упаковке (на один прием пищи, за раз), что облегчает расчеты суточной дозы употребления продукта и обоснование правомочности называться функциональным продуктом;

- структурно-механические и физико-химические особенности молочных продуктов позволяют вносить широкий спектр функциональных ингредиентов, представленных в виде экстрактов, порошков, эмульсий, паст и других форм;

- традиционный ассортимент молочных продуктов включает в себя продукцию с внесением пищевого сырья различной природы: растительного происхождения (фрукты, ягоды, овощи, семена, зелень, злаки, орехи и др.) и животного происхождения (ветчина, салями, рыба, креветки и др.), что делает естественным для потребителя внесение в продукт функциональных ингредиентов за счет включения в рецептуру пищевого сырья, богатого этими ингредиентами;

- нативные компоненты молока и впоследствии молочных продуктов уже относятся к перечню функциональных ингредиентов (рисунок 4), и разработчикам полезной продукции нужно только увеличить дозировку полезных компонентов в порции продукта.



**Рисунок 4. Нативные функциональные ингредиенты в молочной основе
(на примере кисломолочных структурированных продуктов)**

Как показано в [51], проектирование новых продуктов питания, в т.ч. с функциональными ингредиентами, требует системного подхода к процессам обеспечения и управления качеством продукции и процессов ее производства. Такой подход включает в себя выявление, анализ и учет комплекса требований к продукции (требования нормативной документации и ожидания потребителей) [49], процессам производства, формированию требований к наименованию и качеству используемого сырья, оценку данных обратной связи с потребителями [51] и продавцами готовой продукции. Роль формирования качества новой продукции на ранних этапах жизненного цикла достаточно высока и требует от разработчиков дополнительных исследований и системного анализа комплекса проблем [52]. Реализация системного подхода при проектировании продукции, охватывающего множество факторов формирующих и обуславливающих требуемые и предполагаемые свойства продукции возможна и эффективна на базе применения методологии квалитетического прогнозирования, позволяющей учесть при разработке множество различных факторов [50].

При разработке продуктов питания обогащенных функциональными ингредиентами перед специалистами стоит ряд задач, который необходимо решить на этапе проектирования и подбора ингредиентов:

- обеспечить правомерность использования термина «функциональный продукт» или «продукт с функциональными ингредиентами» (выбор функционального ингредиента, обладающего подтвержденным функциональным действием и имеющего установленную суточную физиологическую потребность; обеспечить содержания функционального ингредиента не ниже требуемого значения в течении всего срока годности);

- обеспечить высокие потребительские свойства продукции, т.к. даже очень полезный, но, например, не вкусный или «слишком оригинальный» продукт, не найдет своего потребителя;

- обеспечить дополнительные мероприятия по обеспечению качества и безопасности продукции, т.к. функциональные продукты, прежде всего, употребляются людьми с ослабленным здоровьем, беременными женщинами и детьми [49];

- возможность с технологической и экономической точек зрения обеспечить производство продукции с функциональными ингредиентами.

Безусловно, запрос на продукты питания с функциональными ингредиентами со стороны потребителей есть. Но нет конкретики: что именно внести в продукт? Чем именно обогатить? Запроса со стороны государства по обогащению продуктов питания конкретным функциональным ингредиентом (например, как было в СССР с йодированием поваренной соли) – тоже нет. Нет и запроса со стороны медицинского сообщества – кроме списка функциональных ингредиентов и рекомендуемых суточных физиологических норм потребления. Выбор наименования (из списка) и формы выпуска (порошок, экстракт, эмульсия, суспензия, концентрат, в составе пищевого сырья и др.) – за производителем продукции. А он в свою очередь отталкивается от мнения потребителя.

Для поддержания конкурентоспособности производители должны отвечать этим мировым трендам и расширять ассортимент выпускаемой натуральной продукции за счет ее обогащения функциональными пищевыми ингредиентами без применения или с минимум пищевых добавок с индексом Е. В частности, для расширения ассортимента молочных продуктов, которые традиционно ассоциируются с продуктами здорового питания благодаря высокому содержанию легкоусвояемого белка, кальция, фосфора и других эссенциальных компонентов [55], всё чаще прибегают к использованию растительного сырья, богатого не свойственными для молочных продуктов компонентами – прежде всего, пищевых волокнами, фолиевой кислотой, рядом микроэлементов (кремния, ванадия, йода и др.) и т.д.

Однако при разработке, внедрении и реализации новой функциональной продукции производители сталкиваются с рядом задач, связанных с необходимостью учитывать ряд внешних (требования нормативной и законодательной базы, ресурсообеспечения, ситуации на рынке, информированность потребителей и их ожидания от продукта и др.) [36,40] и внутренних факторов (технологические особенности внедрения новой продукции, закупка нового оборудования и сырья, необходимость обеспечения безопасности и высоких потребительских свойств, позиционирование и стратегии продвижения продукции, разработка концепции, экономическая целесообразность и др.) [40,56]. Решение такого комплекса задач лежит в разработке единого комплексного подхода к выбору растительных компонентов для обогащения продукции, отвечающей внутренним и внешним требованиям.

Обобщение полученного ранее опыта при квалитетическом прогнозировании и оценке требований потребителей к качеству продуктов позволили сформулировать ключевые ожидания покупателей относительно желаемых ими свойств структурированных молочных продуктов (йогурт, йогуртные продукты, творожные продукты, творожный сыр, молочный десерт и др.) [49-52]. Выявлен четкий тренд запроса потребителей для всех видов

структурированных продуктов – продукт должен содержать полезные вещества, но при этом не должен содержать «ничего лишнего». Показатели «полезности» и «натуральности» продукции для потребителя неразрывно связаны. С точки зрения потребителей, если продукт позиционируется как полезный, то в нем не может быть ничего, что ассоциируется с «не полезным», т.е. не должно быть искусственных/синтетических добавок (в т.ч. БАДов). Наиболее желательно для потребителя, чтобы состав продукта был минимальным: только молочное сырье, закваска (для кисломолочных продуктов), вкусовой наполнитель и минимум других ингредиентов (сахар, соль, специи). Кроме того, было установлено низкая информированность потребителя о функциональных продуктах: для него нет существенной разницы между «функциональным продуктом», «полезным продуктом», «продуктом с полезными свойствами», «продуктом с функциональными ингредиентами» и т.п. Другими словами, потребитель еще не готов переплачивать именно за «функциональный продукт», а, скорее всего, предпочтет то, что-то похожее, например, продукт «с функциональными ингредиентами».

Таким образом, можно сформулировать следующие исходные критерии при выборе функционального ингредиента при производстве продуктов питания:

- технологические возможности применения при производстве конкретного вида продукта функциональной добавки с учетом проявления ее свойств, особенностей внесения и характера воздействия на исходную пищевую матрицу;
- возможность обеспечения стабильного качества и безопасности готовой продукции;
- сохраняемость функциональных свойств при производстве и хранении продукции на требуемом уровне;
- натуральность функциональных ингредиентов (желательно применение вкусового наполнителя, богатого функциональными ингредиентами);

- традиционность применяемых ингредиентов (при разработке продукта необходимо учитывать психологическое и информационное восприятие новинки в глазах потребителя: чаще всего, слишком оригинальные продукты остаются не востребованы покупателем);

- решение как можно большего количества технологических задач (в т.ч. снижение рисков производства и реализации продукции с пороками, обеспечение требуемых стабильных структурно-механических свойств, повышение хранимоспособности продукции и др.);

- обеспечение высоких потребительских свойств продукции (желательно придание продукту выраженных органолептических свойств за счет естественного цвета, вкуса, запаха и консистенции функционального наполнителя, что снижает необходимость внесения ароматизаторов, красителей, загустителей и др. добавок, которые потребители не хотят видеть в продукте);

- экономическая целесообразность;

- стабильность поставок, гарантии безопасности и стабильность качества используемого сырья [53].

Исходные многофакторные задачи, стоящие перед разработчиками продуктов питания с функциональными ингредиентами, требуют учета массива взаимосвязанных данных. Исследования показали высокую эффективность применения информационно-матричных моделей для сбора, оценки и характеристики влияния различных факторов, в т.ч. сырьевых, рецептурных и технологических, на формирование показателей качества готовой продукции [54].

Начальным этапом жизненного цикла продукции является изучение рынка и маркетинговые исследования. Эти исследования являются важными для разработки нового продукта, нужного рынку по своим потребительским характеристикам и ценовой нише, выигрышно позиционированный по сравнению с остальной продукцией на потребительской полке [57]. Однако перед обеспечением желательных (но необходимых для обеспечения

конкурентоспособности) свойств продукции нужно выявить и изучить обязательные требования к проектируемой продукции, выполнение которых позволит ей получить право выйти на рынок [56]. Эти требования нормативной документации в сфере функционального питания. Формирование комплекса требований нормативной документации к идентификационным свойствам функциональной продукции является начальным этапом деятельности по разработке обогащенной продукции – обязательным изучением «правил игры».

Вся функциональная продукция относится к пищевой продукции, это означает, что априори:

- должны быть соблюдены все требования к процессам производства, хранения, транспортировки и реализации сырья, полуфабрикатов и готовой продукции на всех этапах, в т.ч санитарно-гигиенические требования и требования к прослеживаемости и функционировании элементов системы обеспечения безопасности на базе принципов ХАССП (ТР ТС 021/2011);

- используемое сырье, материалы и готовая продукция должна соответствовать требованиям нормативной документации, в т.ч. ТР ТС 021/2011, ТР ТС 005/2011, соответствующих технических регламентов, государственных стандартов и т.д.;

- все используемые пищевые добавки, ароматизаторы и технологические вспомогательные средства должны соответствовать требованиям ТР ТС 029/2012.

В случае, если предприятие планирует производить функциональную пищевую продукцию и заявлять ее таковой на этикетной надписи, то дополнительно к перечисленным требованиям, обязательным для всей пищевой продукции, необходимо будет обеспечивать соответствие требованиям ГОСТ Р 52349-2005, ГОСТ Р 55577-2013, ТР ТС 022/2011, ТР ТС 029/2012 и ТР ТС 027/2012 [60].

В частности, в случае позиционирования продукта как полезного для здоровья, обогащенного, являющегося источником ФПИ и т.д., необходимо

подтверждать это соответствие путем документального обоснования на базе экспериментальных исследований.

Согласно требованиям ГОСТ Р 52349-2005, под функциональными пищевыми продуктами понимаются такие пищевые продукты, которые оказывают доказанное положительное воздействие на здоровье человека при систематическом употреблении, и в которых содержится от 10 до 50 % от рекомендуемой физиологической суточной нормы потребления (СНП) ФПИ. К ФПИ относятся: пищевые волокна, витамины, минеральные вещества, полиненасыщенные жирные кислоты, пробиотики, пребиотики или синбиотики. Приведенный в ГОСТ Р 52349-2005 разброс содержания ФПИ, обеспечивающее правомерность причисления продукции к функциональной от 10 до 50 % очень велик, чтобы быть реальным требованием к исполнению.

Необходимо отметить, что в России СНП установлены и содержатся в официальном издании Методических рекомендаций МР 2.3.1 0253-2021 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации», в которых далеко не для всех ФПИ приведены суточные потребности.

Кроме того, есть ГОСТ Р 55577-2013 и ТР ТС 022/2011, которые регламентируют требования к продукту и возможность нанесения информации об ее функциональных свойствах. Эти требования включают содержание для каждого ФПИ минимального его количества в объеме или массе продукта, позволяющее вынести на этикетную надпись информацию, что продукт является «источником» или «с высоким содержанием» ФПИ и т.д. Приведен более расширенный перечень ФПИ по сравнению с ГОСТ Р 52349-2005, но и он не является исчерпывающим. Таким образом, в совокупности нормативная база не дает однозначного ответа, какое количество должно содержаться в продукте некоторых ФПИ (например, каротиноидов, ликопина, аминокислот, синбиотиков и ряда антиоксидантов), чтобы можно было заявить о функциональных свойствах продукции [60].

В случае, если для какого-то полезного ингредиента нет четко прописанных и утвержденных в РФ рекомендаций применению как ФПИ и необходимых доз внесения для обеспечения функциональных свойств, разработчик продукции в праве провести экспериментальное обоснование в независимых лабораториях для подтверждения клинически выраженного положительного влияния разработанного продукта на снижение рисков развития заболеваний, связанных с питанием, за счет наличия в его составе заявляемого производителей полезного ингредиента.

С точки зрения трудоемкости, широкой информированности потребителей и отсутствия необходимости доказательства положительного влияния ФПИ на организм человека предпочтительно выбирать общепризнанные наименования ФПИ. Для этой цели нами была проанализирована нормативная база, результаты систематизированы и представленные в таблице 2.

Таблица 2. Перечень наиболее предпочтительных для обогащения продукции ФПИ [60]

Наименование группы ФПИ	Наименование ФПИ	Требования к содержанию ФПИ*, не менее (примечания)
1	2	3
белок	белок	5 % от СНП (СНП = 60-114 г/сут)
пищевые волокна	пищевые волокна: источник с высоким содержанием	3,0 г на 100 г продукта, 6,0 г на 100 г продукта
витамины	источник с высоким содержанием	15 % от СНП в 100 г или 100 см ³ (порции) 30 % от СНП в 100 г или 100 см ³ (порции)
пробиотики	живые микроорганизмы заквасочной культуры йогурта (<i>Lactobacillus delbrueckii subsp.</i>	10 ⁶ КОЕ единиц в 1 г или 1 см ³

Продолжение таблицы 2

1	2	3
	<i>bulgaricus</i> и <i>Streptococcus thermophilus</i>)	
	лактобактерии (<i>Lactobacillus acidophilus</i> , <i>L. casei</i> , <i>L. plantarum</i> , <i>L. fermentum</i> , <i>L. rhamnosus</i> , <i>L. reuteri</i>)	
	бифидобактерии (<i>Bifidobacterium bifidum</i> , <i>B. longum</i> , <i>B. infantis</i> , <i>B. adolescentis</i> , <i>B. breve</i> , <i>B. animalis subsp. animalis</i> , <i>B. animalis subsp. lactis</i>)	
полиненасыщенные жирные кислоты	ω-3	0,2 г на 100 г или 100 см ³ продукта; 1,2 г на 100 г или 100 см ³ для высоко жирно продукции (более 98 %)
макроэлементы	кальций, фосфор, калий, сера и магний: источник с высоким содержанием	15 % от СНП в 100 г или 100 см ³ (порции) 30 % от СНП в 100 г или 100 см ³ (порции)
микроэлементы	железо, цинк, йод, селен: источник с высоким содержанием	15 % от СНП в 100 г или 100 см ³ (порции) 30 % от СНП в 100 г или 100 см ³ (порции)

* – по ГОСТ Р 55577-2013

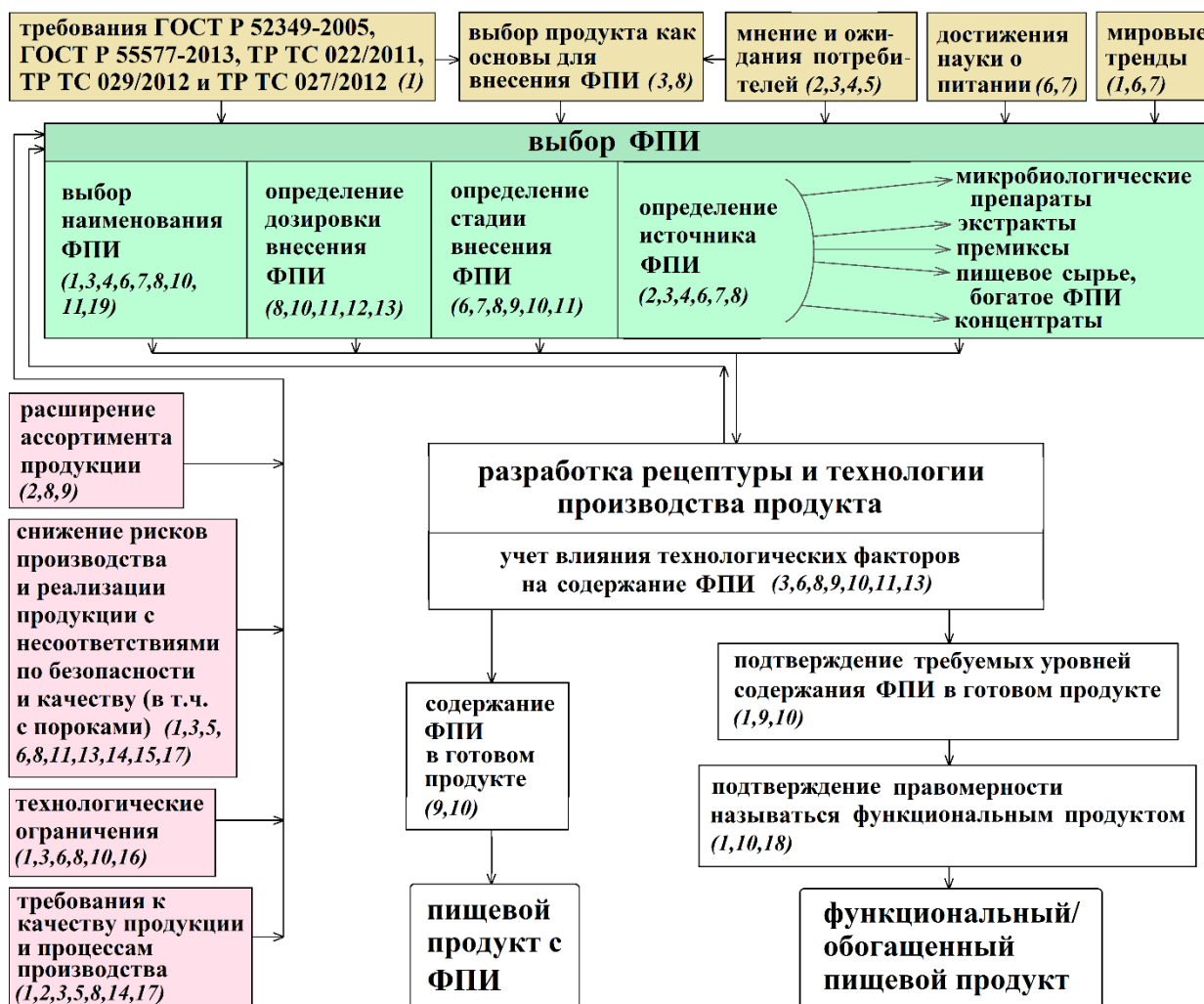


Рисунок 5 – Методологический подход к подбору компонентов при производстве функциональных продуктов [60]

Условные обозначения к рис. 5: 1 – анализ нормативной документации, 2 – социологические исследования, 3 – квалиметрическое прогнозирование, 4 – методология структурирования функции качества, 5 – требования серии ISO 9000, 6 – анализ научной и технической литературы, 7 – анализ патентной литературы, 8 – экспертная квалиметрия (интеллектуальные и сенсорные методы, формирование экспертных групп, обработка данных), 9 – расчетные методы, 10 – экспериментальные исследования, 11 – информационно-матричная модель (ИММ), 12 – моделирование рецептуры, 13 – квалиметрия рисков, 14 – принципы ХАССП, 15 – прослеживаемость, 16 – моделирование процессов, 17 – сбор и анализ данных о несоответствиях (диаграммы Парето, Исикавы, контрольный листок), 18 – подтверждение данных аккредитованными организациями, 19 – сравнительный анализ требований нормативной документации для обоснования функциональных свойств продукции.

Авторами [60] был сформирован комплекс внутренних и внешних факторов, отражающие спектр задач и требований, необходимых для проектирования функциональной продукции и внедрения на производство, систематизированный и представленный в виде схемы, описывающей методологический подход при выборе компонентов при проектировании обогащенной продукции (рисунок 5). Также приведены методы для сбора информации и проведения исследования каждого фактора при подборе компонентов.

Методологический подход включает в себя выявление и анализ внешних и внутренних факторов с последующим обоснованием выбора наименования и источника ФПИ, а также анализ рецептурно-технологических особенностей внесения ФПИ при разработке технологии нового функционального продукта (с ФПИ).

К основным внешним факторам, необходимым для изучения и учета, относятся (на рисунке 5 выделены желтым цветом):

- требования законодательной и нормативной базы, в т.ч. дополнительные требования к функциональной продукции, содержащиеся в ГОСТ Р 52349-2005, ГОСТ Р 55577-2013, ТР ТС 022/2011, ТР ТС 029/2012 и ТР ТС 027/2012;
- выбор популярного продукта для обогащения его ФПИ (для обеспечения выраженного положительного эффекта продукции на организм, необходимо систематическое употребление продукта, т.е. он должен подходить для ежедневного употребления), ассоциируемого у потребителя с продуктами здорового питания;
- маркетинговые исследования, оценка ассортимента конкурентов, изучение мнения потребителей о желаемых свойствах проектируемой продукции позволит разработать продукт, ожидаемый на рынке, что способствует формированию спроса на продукцию;
- при разработке продукции необходимо также учитывать мировые тренды, «моду» в сфере здорового питания, достижения науки о питании для

оперативного реагирования на общественное мнение, формирующий запросы потребителей и спрос.

К внутренним ключевым рецептурно-технологическим факторам при выборе наименования и источника ФПИ относятся следующие (на рисунке 5 выделены розовым цветом):

- необходимость учета особенностей действующего производства, в т.ч. минимизация переналадки линии и закупки нового оборудования, и др.;
- ассортиментная и ценовая политика организации, позиционирование продукта, планы развития предприятия, освоение новых ниш рынка, экономические цели проекта и др.;
- технологические ограничения, связанные с действующими требованиями к осуществлению производственных процессов, их последовательности и режимов; расположением и характеристиками оборудования, ресурсной оснащенностью предприятия и др.;
- особенности производства продукта, выбранного в качестве базового при создании обогащенного;
- комплекс заданных характеристик готового продукта – физико-химические, структурно-механические и органолептические свойства, в т.ч. выявленных требований потребителей.

Следующим этапом методологического подхода является обоснование выбора наименования и источника ФПИ (выделено зеленым цветом). Выбор наименования ФПИ должен базироваться на существующей доказательной базе полезных для здоровья функциональных свойств. Наиболее приемлемый вариант – воспользоваться данными, приведенными в таблице 2.

При выборе наименования и стадии внесения ФПИ необходимо учитывать особенности базовой технологии продукта. Например, не целесообразно выбирать в качестве ФПИ белок и пищевые волокна – в растительное масло, полиненасыщенные жирные кислоты и жирорастворимые витамины – в обезжиренные продукты, пробиотики и термолабильные витамины (например, витамин С) – перед тепловой обработкой и т.д. Также

необходимо учитывать степень разрушения выбранного ФПИ в процессе производства и хранения готового продукта. Это влияет на дозу внесения ФПИ с учетом его потерь при производстве и хранении, поскольку производитель должен гарантировать содержание в продукте не менее установленной для функциональной продукции нормы на момент окончания срока годности.

В зависимости от выбранного(ых) наименования(й) ФПИ нужно подобрать его источник. Для этого эффективно использование баз данных о содержании ФПИ в различных видах пищевого сырья, экстрактов, концентратов, микробиологических препаратов, витаминно-минеральных премиксов и др.

Для продуктов питания животного происхождения, в частности, молочной продукции, наиболее перспективным является использование растительного сырья как источника несвойственных эссенциальных микро- и макро-нутриентов. Основных требований к источникам ФПИ два: высокая концентрация ФПИ, минимальные риски возникновения порчи или небезопасной продукции в результате внесения источника ФПИ и обеспечение высоких потребительских свойств, в т.ч. удовлетворение запроса на вкусную, полезную и натуральную продукцию. Для обеспечения высокого спроса на новый продукт, он должен выгодно отличаться от аналогов не только своей полезностью, но и вкусовыми качествами. Наиболее предпочтительным с этой точки зрения являются натуральные экстракты и концентраты, микробиологические препараты (закваски пробиотиков), пищевое растительное сырье, богатое ФПИ (т.н. суперфуды).

В зависимости от задач, стоящих перед предприятием, его финансовыми возможностями, принятой стратегией позиционирования и продвижения продукта на рынке, необходимо провести исследования в аккредитованной лаборатории для подтверждения функциональных свойств продукции или о требуемом высоком содержании в продукте заявленных ФПИ. Функциональная продукция в глазах потребителей имеет более высокую ценность, т.е. покупатель готов к более высокой по сравнению с нефункциональными

аналогами цену, что позволяет производителю сократить сроки окупаемости проекта [58].

Рекомендуемый авторами [60] перечень наименований ФПИ, имеющих наиболее полную нормативно-правовую базу, содержащую все необходимые требования к выбираемому ФПИ, поможет производителям быстро сориентироваться при разработке рецептур функциональных продуктов питания. Приведенные методы выявления, изучения и учета всех требований и влияющих факторов в предложенном методологическом подходе к подбору компонентов для обогащения пищевой продукции позволяют производителям эффективно разрабатывать новую функциональную продукцию в короткие сроки.

Таким образом, новый предложенный методологический подход выбора наименования и источника ФПИ при проектировании функциональной продукции, основанный на многолетних исследованиях в области обоснования выбора растительных компонентов для обогащения ФПИ молочных продуктов, позволяет быстро и целенаправленно подойти к составлению рецептур новых функциональных продуктов питания, что способствует развитию рынка продуктов здорового питания в России [60].

ГЛАВА 3.

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕРАБОТКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО СЫРЬЯ И ПРОИЗВОДСТВА ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

3.1. Теоретические основы структурообразования в молочных системах

Молочные системы представляют собой сложный по составу и свойствам объект исследования. Одним из наиболее интересных с точки зрения изучения механизма формирования структуры молочных продуктов, является мороженой, которое представляет собой сложную физико-химическую систему. Вещества, входящие в состав мороженого, находятся в виде истинных и коллоидных растворов и эмульсий. Истинные растворы образуют соли, лактоза и сахароза. В виде коллоидных растворов в мороженом присутствуют молочные белки, стабилизаторы, а также некоторое количество фосфата кальция. Эмульсию в мороженом образуют жиры [61,62].

К макроструктурным элементам структуры мороженого относятся: воздушные пузырьки, кристаллы льда, крупные частицы агломерированного жира и включения пищевкусковых продуктов, наблюдаемые невооруженным взглядом или при незначительном увеличении [63].

Структурные элементы размером менее 10 мкм, такие как жировые частицы, кристаллы лактозы, мелкие кристаллы льда и мелкие воздушные пузырьки, образуют микроструктуру мороженого.

Ультраструктуру мороженого составляют структурные элементы, обнаруживаемые с помощью электронного микроскопа. Это частицы коллоидных растворов (белков СОМО и гидроколлоидов) размером от 0,01 до

0,1 мкм, частицы истинных растворов (сахаров, солей) размером от 0,001 до 0,01 мкм [63,64].

Остальные составляющие мороженого относят к плазме (матрице), основой которой является вода (свободная и связанная). В плазме в виде истинного раствора находятся сахара и соли, в виде коллоидного раствора – белки и гидроколлоиды [65].

С позиций физико-химической механики смесь для мороженого и готовый продукт на разных стадиях технологического процесса отличаются по качественному и количественному составу дисперсной фазы и дисперсионной среды [63].

Структура мороженого формируется в процессе ряда технологических операций, параметры которых строго регламентируются для получения продукта с определенными физико-химическими и органолептическими показателями [61].

При нарушении рекомендуемых технологических режимов возможны снижение качества выпускаемого мороженого и выработка нестандартной продукции. Показатели качества, идентификации и безопасности готового мороженого регламентируются ГОСТ Р 52175-2003 «Мороженое молочное, сливочное и пломбир. Технические условия» [66].

Показатели химической и радиологической безопасности (токсичных элементов, микотоксинов, антибиотиков, пестицидов и радионуклидов) в мороженом не должны превышать допустимые уровни, установленные ФЗ №88 «Технический регламент на молоко и молочную продукцию» [67].

Структура мороженого зависит от параметров технологического процесса, включающего смешивание компонентов, пастеризацию, гомогенизацию, охлаждение, созревание, фризирование смеси, упаковывание и закаливание мороженого.

Размеры структурных составляющих мороженого по окончании технологического процесса должны составлять: жировые шарики – 0,2-2,0 мкм, воздушные пузырьки – 100-150 мкм, кристаллы льда – 10-75 мкм [68, 69].

В процессе смешивания компонентов необходимо получить однородную смесь, что достигается последовательным введением компонентов и перемешиванием [70]. Первоначально в резервуар вносятся жидкие ингредиенты (молоко цельное, сливки, жидкие подсластители, сгущенное молоко). Затем вносятся сухие ингредиенты (сухое обезжиренное молоко, сухая сыворотка, сахар, стабилизатор-эмульгатор, какао-порошок). Диспергирование стабилизаторов необходимо проводить в смесях с низкой активностью воды, в частности сахарном или кукурузном сиропе [61,71].

Длительная пастеризация при температуре выше 90 °С приводит к появлению такого порока консистенции как тяжелая консистенция, характеризующаяся рыхлостью и тестообразностью [72].

Гомогенизация способствует улучшению структуры мороженого за счет получения капель жира оптимального и одинакового размера.

Koxholt M.M. и др. установили, что для получения жировых шариков в смеси мороженого, содержащей 10 % жира, размером 2 мкм необходимо давление гомогенизации 10 МПа [73].

По мнению Schmidt K.A. и др. смесь мороженого, в состав которой входит 0,25%-м стабилизатора, 10,2 % молочного жира и подвергнутая гомогенизации при 3,45 МПа, не требует добавления эмульгатора [74].

Процесс охлаждения и созревания смеси мороженого необходим для прохождения физических изменений на поверхности частиц жира, улучшения гидратации белков и стабилизаторов в смеси. Для эффективного процесса созревания необходимо соблюдать два условия: температура должна быть не выше 5 °С и продолжительность этого процесса, зависящая от состава смеси и введенного стабилизатора, должна быть не менее 4 ч. Температура 2...5 °С позволяет поддерживать требуемые микробиологические показатели смеси мороженого и способствует созреванию жировой фазы [70,72,75,76].

При фризировании смеси мороженого происходит частичное замораживание и насыщение воздухом. Кристаллы льда образуются при

температуре минус 3 °С. Их размер определяется механической обработкой смеси в процессе замерзания [68, 70].

Мелкие кристаллы льда образуются в процессе фризирования мороженого за счет наличия большого количества центров кристаллизации [68,70]. Формирование кристаллов льда в форме дисков с гладкой поверхностью происходит в замораживающем цилиндре фризера.

По мнению Schwartzberg Н. G и др., рост кристаллов льда наблюдается от стенок цилиндра фризера внутрь. Срезанные лезвиями скребков дендритные кристаллы попадают в смесь мороженого, где они приобретают дискообразную форму [77].

Russell А. В. и др. предложили другой механизм формирования кристаллов льда, который заключался в том, что при срезании с металлической поверхности цилиндра фризера сформировавшегося льда на нем остаются многочисленные участки-зародыши. Затем эти зародыши инициируют формирование слоя льда вдоль металлической поверхности цилиндра, а не перпендикулярно ей [78].

Закаливание мороженого при температуре минус 20 °С предотвращает кристаллизацию влаги из-за эффективного быстрого переохлаждения. Новые кристаллы льда не образуют собственных центров кристаллизации, а располагаются на существующих.

Согласно классификации форм и видов связи влаги в материалах, основанной П.А. Ребиндером, вода в мороженом находится в связанном и свободном состоянии, а при температурах ниже криоскопических – еще и в виде льда [79].

Вода связывается в смесях мороженого молочными белками, лактозой, сахарозой, гидроколлоидами. Эмульгаторы, как правило, плохо связывают воду [80]. Влага в процессе холодильной обработки и хранения продукта в значительной степени обуславливает показатели качества мороженого: структуру, консистенцию, теплофизические характеристики.

Частицы размером 0,1-2,0 мкм в диаметре придают мороженому текстуру крема, а частицы крупнее 3 мкм – песчанистую текстуру. Основные пороки структуры определяют размеры кристаллов льда [81]. Рост кристаллов наблюдается во время хранения, когда мелкие кристаллы льда тают, и вода мигрирует к соседним кристаллам, на которых она замерзает. Такое мороженое обладает грубой структурой и необычным ощущением холода.

Чем больше воды оказывается в связанном состоянии, тем меньше размеры кристаллов льда, тем меньше выражены указанные пороки, тем выше качество мороженого. К факторам, увеличивающим вероятность развития грубой текстуры мороженого, относятся низкая точка замерзания, недостаток стабилизатора, низкое содержание сухих веществ, недостаточное время созревания, медленная закалка, длительное время хранения, несоблюдение режимов хранения, тупые лезвия скребков фризера [71].

По мнению Donhowe D.P. и др. хранение мороженого при температуре минус 5 °С в течение 5 дней приводит к увеличению среднего размера кристаллов льда от 45 до 110 мкм. Наиболее крупные кристаллы льда имели размеры 200 мкм [82].

Для обоснования режимов охлаждения, замораживания, хранения и транспортирования мороженого необходимо знание криоскопических температур. Оленевым Ю. А. были определены криоскопические температуры свыше 20 разновидностей смесей мороженого. Наиболее высокая криоскопическая температура минус 2,01 °С установлена для мороженого «Полюс», наиболее низкая – минус 4,58 °С для смеси томатного мороженого, содержащей 32 % сахарозы [63].

По данным Рютова Д.Г., Оленева Ю.А. максимальное льдообразование отмечается в диапазоне от криоскопических температур до минус 6...7°С в мороженом на молочной основе и от криоскопических температур до минус 10°С для плодово-ягодного. Затем интенсивность льдообразования снижается [83].

В формировании структуры мороженого участвует лактоза. Она представляет собой дисахарид, менее сладкий и растворимый, чем сахароза [84]. Массовая доля лактозы в традиционных видах мороженого на молочной основе составляет около 5,5% [85].

Высокое содержание лактозы, связанное с увеличением массовой доли СОМО выше 12 %, в смеси мороженого приводит к снижению точки замерзания и как следствие получению мягкого мороженого, увеличению появления кристаллов льда и повышению склонности лактозы к кристаллизации [85-87].

В мороженом в процессе хранения при температуре минус 24 °С образуются крупные кристаллы лактозы, так как концентрация молочного сахара в растворе весьма высока [88, 89].

В качестве подсластителя в мороженом используется сахароза. Она служит источником общих сухих веществ, усилителем добавленных вкусовых и ароматических веществ и понижает температуру замерзания, препятствуя образованию крупных кристаллов льда при фризеровании [90]. С повышением ее содержания до определенных пределов структура и консистенция мороженого улучшаются [63].

W.S. Arbuckle установил, что увеличение содержания сахарозы в мороженом от 12 до 18 % способствует снижению размеров кристаллов льда от 67,5 до 48,8 мкм [91].

Большое влияние на формирование структуры мороженого оказывают жировые частицы. Традиционно при его производстве используется молочный жир [61]. В процессе взбивания и фризирования не полностью кристаллизованная жировая фаза смеси мороженого претерпевает частичную коалесценцию и приводит к образованию каркаса из агломерированного жира, окружающего пузырьки воздуха [92].

Ю.А. Оленевым и др. была установлена линейная зависимость между массовой долей жира в смеси и средним диаметром жировых шариков [85].

По мнению Н. G. Kessler, повышение содержания молочного жира до 12 % увеличивает взбитость мороженого при соблюдении давления гомогенизации на первой ступени 17,5-22,0 МПа и на второй – 4,0-5,0 МПа. При одноступенчатой гомогенизации давление должно составлять 14,0-17,5 МПа [93].

Н.Н. Sommer также считает, что повышение содержания жира в смеси мороженого приводит к снижению взбитости. Объясняется это тем, что при фризеровании увеличивается количество воздуха в пене, стенки воздушных пузырьков становятся более тонкими и лопаются. На прочность стенок влияет поверхностное натяжение, характер адсорбции пленки и силы сцепления [94, 95].

Жировые шарики в естественном состоянии защищены белково-липидной оболочкой. В процессе гомогенизации смеси мороженого происходит изменение структуры оболочек жировых шариков. Чрезмерная дестабилизация лишенных полностью или частично оболочек жировых шариков приводит к их слипанию и снижению дисперсности. В результате большие скопления жировых шариков приводят к снижению органолептических показателей мороженого, придавая ему крупитчатую структуру [76, 94].

По мнению К.Г. Berger и др., дисперсность жировой эмульсии зависит от количества СОМО, условий гомогенизации, температуры и времени созревания смеси и наличия минеральных солей [62].

В процессе созревания смеси мороженого молочные белки, в частности казеин и сывороточные белки, перемещаются к поверхности образованных жировых шариков субмикронного размера [94]. Молочный белок является хорошим эмульгатором и то количество, которое присутствует в мороженом достаточно для создания эмульсии [61].

И. Дж. Кэмпбэлл и др. установили, что 1/3 белков мороженого адсорбируется на поверхности раздела жир-вода, а остальные 2/3 остаются в фазе. Наименее стабильная эмульсия образуется при использовании денатурированных сывороточных белков, наиболее стабильная – при

применении сухого обезжиренного молока. Но мороженое, содержащее 4-5 % сухого обезжиренного молока, быстро тает [64].

По мнению А.А. Твороговой, частицы жира приобретают защитную оболочку, обладающую электрическим зарядом в результате того, что гидрофобные группы белка обращены в сторону неполярной среды (жира), а гидрофильные – в сторону полярной среды (воды) [65]. В результате жировые частицы обладают агрегативной устойчивостью за счет наличия на их поверхности одинакового электрического заряда.

Жир в мороженом придает ему легкий молочный вкус и является носителем вкусовых и ароматических ингредиентов. Кристаллы жира плавятся медленнее, чем кристаллы льда и, следовательно, вкусовые ощущения в продуктах, содержащих и не содержащих жир, проявляются по-разному. Ощущение вкуса и аромата сохраняется длительное время в жиросодержащих продуктах [96].

Структура мороженого зависит от состояния воздушной фазы [97]. Ее формирование происходит во фризере при одновременном перемешивании и понижении температуры [91]. Воздух распределен в эмульсии типа «масло в воде». Граница раздела между водой и воздухом стабилизируется тонкой пленкой из незамороженного вещества, включающего белок и эмульгатор, и частично взбитых глобул жира [71]. Размер воздушных пузырьков, их взаимное расположение влияет на появление в мороженом таких пороков, как хлопьевидная или излишне плотная структура. Первый порок возникает при избыточном насыщении мороженого воздухом, второй – при недостаточном [95].

Ю.А. Оленев и др. исследовали состояние воздушной фазы в мороженом. Установлено, что увеличение удельной поверхности воздушных пузырьков, достигаемое за счет повышения их дисперсности, способствует более тонкому и равномерному распределению суспензии жира и дисперсионной среды в мороженом, в результате чего снижается агломерация и дестабилизация жировых шариков и уменьшается прочность структуры [85].

Образованию более нежной и однородной консистенции мороженого способствует увеличение взбитости.

Sommer Н.Н. считает, что величина взбитости не должна более, чем втрое превышать долю сухих веществ в мороженом [95].

Mann E.J. установил, что взбитость мороженого возрастает с увеличением в нем жира, стабилизатора и продолжительности пребывания во фризере [82].

Существуют противоречивые мнения о влиянии вязкости на взбиваемость смесей мороженого.

По мнению одних исследователей, в зависимости от компонентного состава мороженого вязкость смеси при 20 °С должна составлять 50-150 мПа·с для получения мороженого с оптимальной взбитостью. По мнению же других исследователей вязкость не оказывает влияния на взбитость [91,98].

Ф. Барей изучил влияние растительного жира, функциональных молочных протеинов, сухого обезжиренного молока и ненасыщенного эмульгатора на стабильность воздушной фазы в мороженом. Установлено, что таяние с рафинированным кокосовым маслом происходит медленнее. Лучшая стабилизация воздушной фазы в мороженом наблюдалась с гидрогенизированным кокосовым маслом. Функциональные молочные протеины, сухое обезжиренное молоко и ненасыщенный эмульгатор способствовали образованию трехмерной сети в мороженом, обеспечивающей устойчивость структуры и медленное таяние [99,100].

Смеси мороженого, содержащие в качестве источника жира свежие сливки, лучше взбиваются, чем при использовании сливочного масла. При получении масла с пахтой удаляется липопротеиновая часть оболочки жировых шариков, содержащая лецитин, оказывающая значительное влияние на взбитость [76].

Важный вклад в формирование структуры мороженого вносят стабилизаторы, которые вводятся на первом этапе технологического процесса – при составлении смеси.

Стабилизаторы представляют собой многокомпонентную смесь камедей или высокополимерных продуктов, образующих в водной среде гидрофильные и липофильные коллоиды, которые при растворении в воде вследствие адсорбции воды, диспергирования и гидратации проявляют свои стабилизирующие свойства [92].

При составлении стабилизационной смеси учитываются физико-химические показатели мороженого (массовая доля жира, сухих веществ, титруемая кислотность и др.), вид и массовая доля сахаросодержащей составляющей, взбитость мороженого [101].

Стабилизационные системы в мороженом выполняют следующие функции: повышают вязкость смеси, способствуют получению взбитости от 50 до 120 %, придают высокую сопротивляемость таянию готового продукта [102,103]. Большинство полисахаридов несовместимы с молочными белками в мороженом. Положительной стороной термодинамической несовместимости является разделение водной фазы мороженого на две микроскопические фазы и образование отдельных зон, где каждый из биополимеров присутствует в такой высокой концентрации, что способен агрегировать и образовывать высоковязкие растворы или гели [61].

Стабилизаторы не влияют на характеристики замораживания смеси и понижение температуры ее замерзания, количество вымороженной воды, энтальпию таяния, гетерогенное зародышеобразование и распределение размеров кристаллов льда в мороженом при выходе из фризера [104,105].

Выбор гидроколлоида или смеси гидроколлоидов для производства мороженого определяется диапазоном вязкости, в котором способность мороженого к взбиванию является максимальной [105].

По данным Ю.А. Оленева, доля связанной воды в водных растворах следующих стабилизаторов составляет: для раствора альгината натрия – 3,42; для метилцеллюлозы – 2,64; агароида – 1,90; желирующего картофельного крахмала – 1,78; картофельного крахмала – 1,60; желатина – 1,30 и казеината натрия – 1,00 кг/кг сухого веса [106].

Таким образом, структура мороженого и ее стабильность определяются как технологическими параметрами, так и используемыми пищевыми ингредиентами и их соотношением. Для получения кристаллов льда с надлежащей дисперсностью необходимо управлять скоростью образования зародышей и ростом кристаллов льда. На механизмы кристаллизации могут непосредственно воздействовать отдельные компоненты. Представляет интерес использование белков, структурирующих лед, в технологии мороженого для предотвращения роста кристаллов льда.

3.2. Характеристика структурообразующих белков

Многие живые организмы и растения во время своего жизненного цикла подвергаются воздействию низких температур со стороны окружающей среды. Эти условия являются для них стрессовыми. На клеточном уровне стрессовые воздействия проявляются в биохимических нарушениях, приводящие к снижению эффективности функционирования тканей и органов, и могут повлечь за собой гибель живых организмов. Для предотвращения этих нарушений активизируются защитные механизмы, которые выработались в процессе эволюции растений и животных. Одним из основных механизмов адаптации организма к стрессовым условиям выступает синтез белков, структурирующих лед [107].

В 1950 году канадский ученый P. F. Scholander, основываясь на своих экспериментальных исследованиях, предположил, что арктические рыбы выживают в воде, температура которой ниже температуры замерзания крови этих рыб за счет наличия в крови специфических антифризов [108]. В 1960 году биолог Arthur De Vries при изучении антарктических рыб смог выделить белки - антифризы, понижающие температуру замерзания крови, не увеличивая при этом осмотическое давление, смертельное для рыбы [109]. С этого времени появляется много публикаций, посвященных этим белкам.

Существует две группы белков, обладающих способностью понижать температуру замерзания. Первая группа – это протеиды-антифризы (AFGP) и протеины-антифризы (AFPs), обладающие подобными свойствами.

В таблице 3 приведена характеристика и природные источники известных протеинов-антифризов и протеидов-антифризов [110, 111].

Первичная структура AFGP состоит из повторяющейся трипептидной единицы, основа которой составлена из Ala-Ala-Thr. Пептид имеет дисахаридный остаток (3- β -D-galactosil)-D-N-acetylgalactosamine), где две углеводные группы связаны 1 $\rightarrow$ 3 связью (рисунок 6) [112].

Таблица 3. Характеристика и природные источники известных протеинов-антифризов и протеидов-антифризов

Структурные характеристики AFGP и AFPs	AFGP	AFPs тип I	AFPs тип II	AFPs тип III	AFPs тип IV
Молекулярная масса, (Да)	2600-33000	3300-4500	11000-24000	6500	12229
Первичная структура	(Ala-Ala-Thr) дисахарид	богата Ala	богата Cys	богата Cys	17 % глутамина, нет дисульфидных мостиков
Углеводы	да	нет	нет (исключение корюшка имеет менее 3 % углеводов)	нет	нет
Вторичная структура	α -спираль	Амфи-фильная α -спираль	β -поверхность	β -поверхность	амфипатическая α -спираль

Третичная структура	растянутая	100% спираль	не определена	не определена	четыре антипараллельно связанные спирали
Природные источники	черноперка, северная треска	камбала, керчаг	морской ворон, корюшка	полосатая зубатка	longhorn sculpins

На рисунке 6 представлена химическая структура протеида-антифриза AFGP [113].

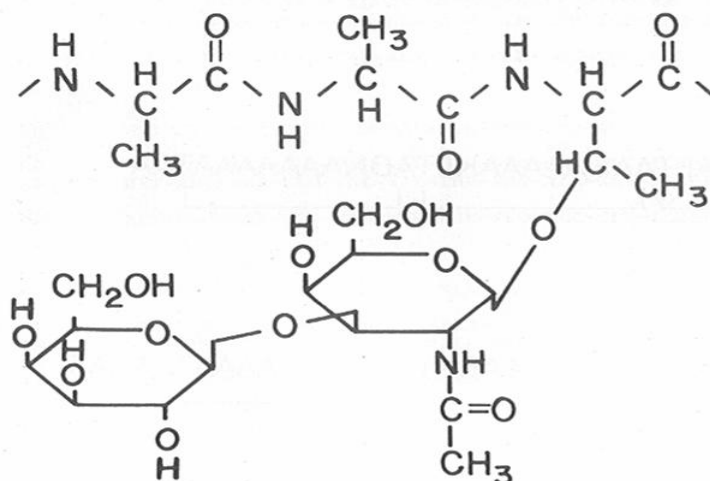


Рисунок 6. Химическая структура трипептидной единицы молекулы белка AFGP

Вторичная структура представляет собой α -спираль [114,115]. Третичная структура при температурах 22 °C и 0,2 °C и представляет собой растянутую структуру, подобную пруту [61].

Первичная структура AFPs тип 1 содержит до 65 % аланина. Laursen и др. установили что при перестановке триптофана и аспарагина в синтетических аналогах AFPs тип 1 приводит к снижению антифризной способности [116]. Вторичная структура данного белка представляет собой α -спираль (рисунок 7). По данным Yang и др. остатки, находящиеся в сцеплении с кристаллом льда,

расположены на одной стороне, в то время как неполярные остатки находятся на другой стороне [115].

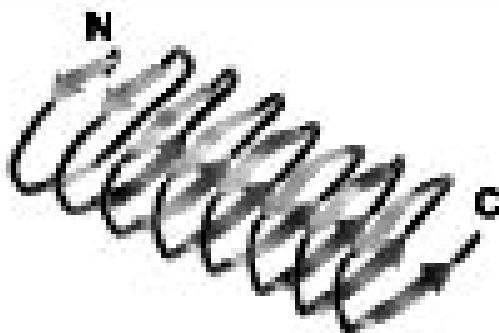


Рисунок 7. Вторичная структура белка AFPs тип 1

Первичная структура AFPs тип II богата цистеином. Данный белок, полученный из морского ворона, содержит 8,3 % цистеина и полученный из атлантической сельди содержит 9,1 % цистеина. Антифризная способность AFPs тип II снижается при добавлении dithiothreitol, что доказывает важность наличия дисульфидных мостиков в поддержание структурной целостности белка и данной активности [117]. При изучении высокоуровневой структуры белка AFPs тип 2, выделенного из морского ворона, установлено, что 16 % белка представляют собой спирали, 36 % – β -поверхности и 44 % – случайные клубки [61].

Sonnichsen и др. при исследовании высокоуровневой структуры AFPs тип III при помощи ЯМР обнаружили, что данный белок содержит 66 остатков аминокислот и имеет шаровидную форму (рисунок 8) [118].

Белок AFPs тип IV был обнаружен в longhorn sculpins. Вторичная структура представляет собой α -спираль, богатую глутамином [123].

В насекомых были обнаружены AFPs тип V. Молекулярная масса данного белка в различных видах составляет от 8,3 до 12,5 кДа [48]. Daley и др. установили, что гидрофобный участок белка AFPs тип V, участвующий в сцеплении с кристаллом льда, состоит из остатков треонина и что термальная гистерезисная активность непосредственно коррелирует с длиной β -спирали данного белка [119].

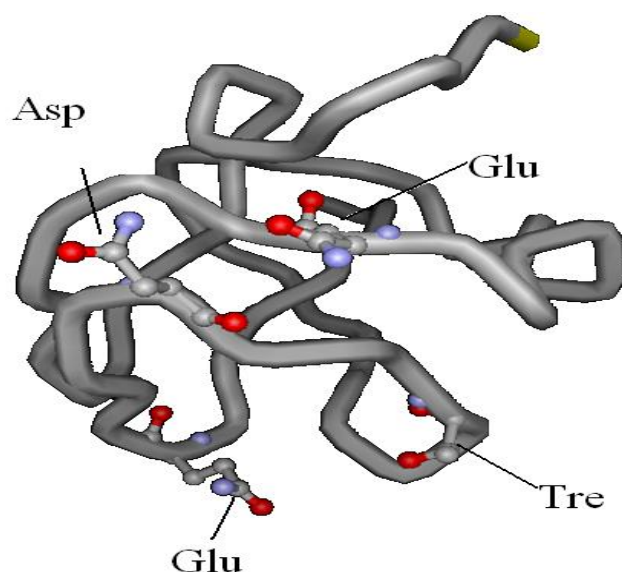


Рисунок 8. Третичная структура AFPs тип III

Классификация антифризных белков осложнилась, когда они были обнаружены в растениях. Морозоустойчивость растений умеренного климата является феноменом, позволяющим им выживать в суровых зимних условиях, а весной дающим возможность возобновить рост и развитие. Согласно модели общего адаптационного ответа организма на действие стрессов, различные стрессовые сигналы активируют общий защитный механизм, вовлекающий такие факторы как производные α -линоленовой и жасминовой кислот, этилен, NO, антиоксиданты, осморегуляторы, белки теплового шока, убиквитин, шапероны [120].

Разрушение растительной клетки происходит не за счет действия прямого охлаждения, а за счет образования в клетке льда [121]. Кристаллизация льда внутри клетки происходит за счет переохлаждения воды в клетках при быстром снижении температуры (0,1-10 °C) или при прорастании внешних кристаллов льда внутрь протопласта [78, 133, 145]. Гибель клетки происходит за счет механической деструкции мембранной системы клеток растущими в протоплазматических структурах кристаллами льда.

Согласно И.И. Туманову, максимальный уровень устойчивости растений к низким температурам формируется в осенний период и происходит в две

фазы. Первая фаза требует свет и низкие положительные температуры 2-5 °С. Для второй фазы необходимы отрицательные температуры от 0 до минус 3°С. К концу второй фазы достигается максимальная морозоустойчивость [122].

Важную роль в защитных механизмах от действия гипотермии играют специфические стрессовые белки, которые синтезируются в растительной клетке в ответ на низкотемпературный стресс. В этот период количество водорастворимого белка увеличивается в 1,5-2,3 раза. При этом 85-90 % синтезированных белков при низких температурах соответствуют белкам растений, выращенных в нормальных условиях. Таким образом, содержание специфических белков составляет 10-15 % [123].

В результате синтеза белков при гипотермии можно выявить следующие характерные черты:

- водорастворимые и специфические стрессовые белки накапливаются при низкотемпературной обработке [129];

- белки, синтезирующиеся в период гипотермии, не являются высоконсервативными в отличие от белков теплового шока [124];

- различные специфические белки синтезируются стабильно в течение нескольких дней или недель, в то время как другие синтезируются кратковременно [61];

- гипотермия сильно замедляет синтез конструктивных белков за счет нарушения в белоксинтезирующем аппарате и регуляции активности генома [125].

Белки, структурирующие лед, были выделены из озимой пшеницы, озимого ячменя, картофеля, моркови, капусты, брюссельской капусты и др. [61,87]. Белки, выделенные из растений, отличаются от белков, полученных из антарктических рыб, по следующим показателям:

- термальная гистерезисная активность намного слабее по сравнению с другими AFPs [126];

- физиологическая функция белков, структурирующих лед, заключается в снижении роста кристаллов льда, а не в предотвращении льдообразования [61].

Растительные белки, структурирующие лед, модифицируют рост кристалла льда и ингибируют кристаллизацию в период циклов замораживание-таяние. Физического повреждения внутри клетки не происходит за счет образования небольших и медленно растущих кристаллов льда. Ограничение роста происходит за счет связывания белков, структурирующих лед, с призматической поверхностью кристаллов льда [127]. Также растения синтезируют белки-нуклеаторы, которые экспортируются во внеклеточное пространство, для того чтобы лед образовывался на поверхности, а не внутри клетки.

Учеными установлено, что белки, структурирующие лед акклиматизированных к холоду листьев растений локализованы в цистернах шероховатого эндоплазматического ретикулума, аппарата Гольджи и плазматической мембраны [120]. Белки, не закаленных растений, локализованы в других местах и не обладают антифризной способностью. Можно предположить, что это связано с синтезом изоформ или с посттрансляционными модификациями.

По данным Е. М. Marentes и др., концентрация белка в акклиматизированных к холоду листьях ржи после 7 недель закаливания составляет около 0,3 мг/г и данная концентрация снижается в течение нескольких дней, если растение подвергнуто деакклиматизации при 20 °С [128].

Из листьев тропического растения *Deschampsia Antarctica*, акклиматизированного к холоду, было выделено восемь полипептидов с молекулярной массой от 10 до 74 кДа. Концентрация белка, содержащегося в листьях, в результате закаливания увеличилась от 0,15 до 0,28 мг/мл. Антифризная способность данных белков, структурирующих лед, сохранялась в широком диапазоне pH от 3 до 10.

В мицелии гриба *F. velutipes* содержатся белки с молекулярной массой 24, 53, 57, 66, 70, 71 кДа. В результате низкотемпературной обработки данного гриба синтезировались белки с молекулярной массой 26, 31, 34 кДа. Максимальное накопление белков в мицелии гриба *F. velutipes* 70, 71 кДа

происходило при минус 15 °С, накопление белков 24 и 31 кДа снижалось при понижении температуры. Концентрация белков с молекулярной массой 34, 53, 57, 66 кДа не изменялась в зависимости от температурной обработки. Белок 26 кДа, выделенный из мицелия гриба *F. Velutipes*, обнаружен был только при температуре 4 °С (рисунок 9).

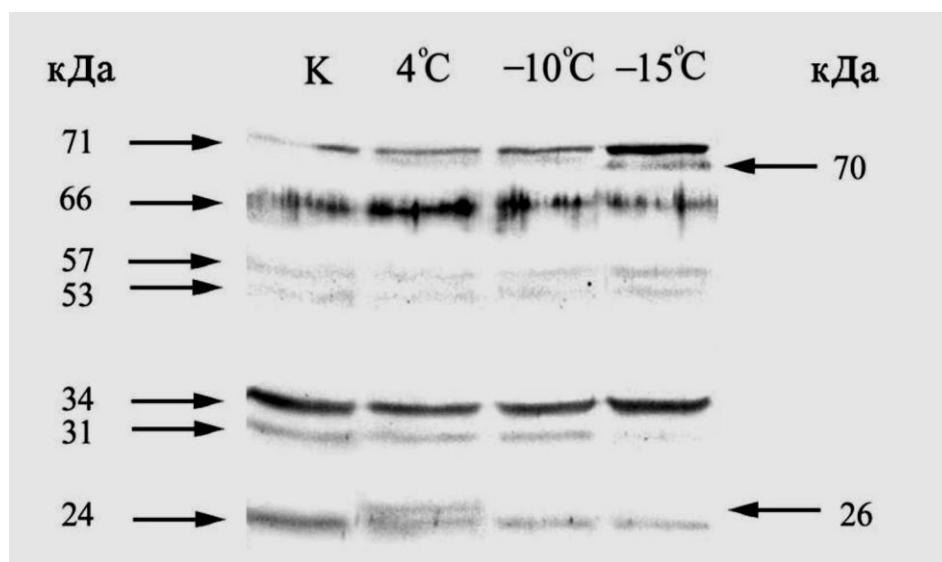


Рисунок 9. Электрофорез суммарных водорастворимых белков мицелия *F. Velutipes*

Экстракт суммарного белка мицелия *F. Velutipes* обладал антифризной способностью. Данная способность устранялась при нагревании белка на водяной бане при 80 °С в течение 3 мин [129].

Белки, структурирующие лед, снижают рост кристаллов льда при концентрациях менее 0,1 мкг/мл. Данный факт позволяет использовать эти белки в пищевых продуктах [130].

Одними из средств, позволяющих сделать гигантский скачок в производстве данных белков, являются трансгенные технологии. Выявление, изоляция и создание генов, отвечающих за данные признаки, и передача их животным и растениям представляют собой мощный метод генетических и фенотипных улучшений [131].

Таким образом, белки, структурирующие лед, синтезируются при низких температурах. Белки-антифризы, выделенные из различных источников, отличаются по химической структуре. Основной их функцией является препятствование росту кристаллов льда в клетках растений и животных. Далее рассмотрим механизмы воздействия на кристаллизацию льда белков, структурирующих лед.

3.3. Механизм образования структуры в поликомпонентных замороженных молочных системах

Замораживание – процесс кристаллизации воды в результате ее переохлаждения. В этом процессе на первом этапе происходит образование зародышей кристаллов льда, и затем их дальнейший рост [132]. Белки, структурирующие лед, препятствуют росту кристалла льда, благодаря чему растения и животные выживают при температурах ниже нуля.

Существующий уровень теоретического понимания явления, при котором происходит понижение точки замерзания, весьма сложен и до конца не изучен. Рассмотрим различные механизмы образования кристаллов льда, с применением белков, структурирующих лед.

Широко используемый в качестве антифриза этиленгликоль снижает температуру замерзания коллигативно. Коллигативное понижение точки замерзания зависит от концентрации растворенного вещества, но не зависит от его химической природы [132]. Следовательно, можно предположить, что белки, структурирующие лед, понижают температуру замерзания так же, как и этиленгликоль.

Коллигативное понижение точки замерзания – это проявление энтропии в результате смешивания двух веществ. Для системы, состоящей из растворителя А и раствора В, понижение точки замерзания можно определить по формуле:

$$\Delta T = T_A - T = \frac{\kappa T_A^2}{\Delta H_A} x_B, \quad (1)$$

где ΔT – депрессия точки замерзания;

κ – температура фазового перехода растворителя А;

ΔH_A – изменение теплоты при фазовом переходе при температуре T ;

x_B – термодинамическая постоянная раствора [133].

Используя формулу (1) установлено, что для снижения точки замерзания до минус 0,8 °С требуется 0,43 М раствор белка AFGP. Практические исследования позволили сделать вывод, что для достижения данной температуры требуется 0,043 М раствор белка [133].

Следовательно, понижение температуры замерзания происходит неколлагативно.

Неколлагативное понижение точки замерзания должно включать явление, при котором происходит фактический рост кристалла льда. Рост кристалла льда из зародыша должен включать движущую силу роста при образовании новой поверхности кристалла льда. Тогда, депрессия точки замерзания определяется по формуле:

$$\Delta T = T_A - T = \frac{2\Omega\gamma p_A}{p_{\min} \Delta H_A}, \quad (2)$$

где Ω – объем зародыша льда;

γ – изотропическая поверхностная энергия;

p_A – радиус сферического кристалла льда растворителя;

$p_{\min}$ – минимальный радиус.

Температурный гистерезис пропорционален энергии связи и обратно пропорционален радиусу сферического кристалла льда. Данное уравнение легло в основу адсорбционно-ингибирующего механизма роста кристалла льда [134].

Ж. А. Raymond и А. L. DeVries первыми отметили, что молекула AFGP затрудняет рост кристалла льда в той точке, где дальнейший рост будет иметь радиус искривления меньший, чем в основной части кристалла льда. Значит основной фронт роста будет иметь температуру замерзания ниже, чем вся система [135].

С. А. Knight и др. предположили, что рост кристалла льда подавляется за счет адсорбции молекул белка AGPF на поверхности кристалла льда и молекулярная адсорбция на поверхности кристалла льда является необратимой, в результате образования водородных связей [136].

Т. Kuroda первым выразил сомнение относительно того, что адсорбция является необратимой. Он предположил, что молекулы белка AFGP имеют твердую цилиндрическую форму с радиусом r и длиной цилиндра b . Тогда число молекул, подобных клубку, адсорбируемых на поверхности кристалла льда, можно определить по формуле:

$$N_a = \frac{c_a}{2r^2bc_a + \exp(-E_a / kT)} , \quad (3)$$

где c_a – концентрация молекул белка;

E_a – энергия связи молекул белка с ледяной поверхностью.

Величина депрессии точки замерзания будет рассчитываться по формуле:

$$\Delta T = \frac{2\Omega\gamma T_A}{p_{\min} \Delta H_a} = \frac{4\Omega\gamma T_A}{(N_a - (2b/\pi))\Delta H_A} . \quad (4)$$

Т. Kuroda предположил, что температура замерзания понижается обратно пропорционально концентрации молекул белка. Тогда величина депрессии точки замерзания является большой и, следовательно, энергия связи молекул белка с поверхностью кристалла льда оценена слишком высоко. Т. Kuroda утверждал, что повышение температуры плавления вследствие необратимой адсорбции будет незначительным, пока энергия связи молекул белка с ледяной поверхностью будет меньше ΔH_A . Значит, прежде чем молекулы воды возвратятся в жидкую фазу, слабо адсорбируемые молекулы белка AFGP возвратятся в раствор.

Повышение температуры плавления в результате поверхностной адсорбции неколлагативного механизма не является следствием понижения температуры замерзания [137].

А. L. DeVries и др. также предположили, что адсорбционный необратимый механизм не объясняет повышение температуры плавления [133].

По мнению С. L. New и др., возможно, молекулы белка прикрепляются к поверхности кристалла льда обратимо. В то время, когда молекула белка находится на поверхности кристалла льда, работает адсорбционно-ингибирующий механизм и тем самым снижается температура замерзания [61].

По данным D. Wen и др., обратимый связывающий водородный механизм наблюдается при низких концентрациях белка. Как только концентрация белка становится высокой, молекулы белка на поверхности кристалла льда плотно упаковываются и взаимодействуют друг с другом. Таким образом, проявление антифризной способности является результатом совместного межмолекулярного взаимодействия молекул белков. Данный факт лег в основу полимерной адсорбционной модели [113].

Р. Е. Feeney и др. ввели математическую модель (5), описывающую полимерное взаимодействие белков-антифризов. Существует два взаимодействия: первое – взаимодействие между двумя молекулами белка (K_1) и второе – взаимодействия молекулы белка с поверхностью кристалла льда K_2 .

$$K_1 = \left[(z-2)E_{wp} / kT_A \right] \quad (5)$$

$$K_2 = \left[(z-2)E_{pl} / kT_A \right],$$

где z – количество взаимодействующих молекул белка;

E_{wp} – энергия взаимодействия между молекулой белка и водой;

E_{pl} – энергия взаимодействия между молекулой белка и кристаллом льда [138].

Р. Е. Feeney и др. показали, что понижение температуры замерзания происходит за счет взаимодействия полимеров с водой и кристаллами льда. Объединяя данные взаимодействия, была получена формула:

$$\Delta T = \frac{2\Omega RT_A^2}{\Delta H_A} \left[(K_2 - K_1) \frac{mn_3n_2}{n_3 + mn_2} - n_3 \ln \frac{n_3}{n_3 + mn_2} - n_2 \ln \frac{mn_2}{n_3 + mn_2} \right] \quad (6)$$

где n_2 и n_3 – моляльные концентрации белка и воды соответственно;

m – количество молекул белка.

Теоретическая модель, описывающая полимерное взаимодействие белка с кристаллом льда, была подтверждена экспериментальными данными [139].

Таким образом, влияние белков, структурирующих лед, на рост кристалла льда общепризнано, но существуют разногласия в механизме образования кристаллов льда, с применением белков, структурирующих лед.

Из литературных данных известны растения, среди которых по объемам и месту произрастания выделяются топинамбур и рожь.

Топинамбур – вкусный и высокопитательный корнеплод, ценность которого в питании человека определяется его химическим составом. Клубни содержат 8,3 % белка, 4,8 % пищевых волокон, 80,3 % углеводов, 0,6 % липидов и 6,0 % зольных компонентов. Растение нетребовательно к условиям произрастания, хорошо переносит воздействие низких температур и временную засуху и считается весьма выносливой культурой.

Рожь – однолетнее травянистое растение. Зерно озимой ржи прорастает при температуре 1-2°C и оптимальная температура для появления всходов 6-12°C. Для подготовки озимой ржи к перезимовке необходимы оптимальные условия для роста и развития растений в осенний период и прохождения ими процесса закаливания. Активная вегетация культуры продолжается 120-150 суток и подразделяется на 2 периода: осенний (45-50 сут), когда развиваются вегетативные органы, и весенне-летний (75-100 сут), во время которого растения формируют генеративные органы и дают урожай.

Изучение состава и свойств отечественного растительного сырья на наличие белков, структурирующих лед, разработка способов их выделения и применение в производстве пищевых продуктов, в частности для ингибирования роста кристаллов льда в мороженом, позволяет считать данное научное направление актуальным.

ГЛАВА 4. НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕРАБОТКИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

Важными параметрами технологического процесса выделения белков, структурирующих лед, из отечественного сырья являются режим измельчения сырья, состав и концентрация экстрагирующих сред, гидромодуль (соотношение сырья: экстрагент) и температурно-временные режимы обработки.

4.1. Исследование функционально-технологических свойств ингредиентов функциональных продуктов питания на примере замороженных молочных систем

Температурные режимы процесса производства белков, структурирующих лед, из отечественного сырья являются важными факторами, определяющими качество белка.

При повышении температуры увеличивается растворимость белков. Так, для белков сои при повышении температуры на каждый градус в диапазоне от 15 до 18 °C растворимость белков увеличивается на 0,25 %. Для рапса рациональной является температура 45 °C [140].

Необходимо отметить, что высокие режимы термообработки приводят к разрушению части термолабильных аминокислот. Потери цистеина могут составлять 50 %. Остатки других незаменимых аминокислот в результате воздействия высоких температур подвергаются химической модификации, обусловленной их окислением или взаимодействием с окисленными формами других компонентов продукта [61].

Таким образом, химическая модификация, обусловленная температурными режимами, может привести к потере уникальных способностей белков, в частности снижать скорость роста кристаллов льда.

Целью данного исследования являлось определение рациональных температур выделения белков из клубней топинамбура и листьев озимой ржи, при которых сохранялась криопротекторная способность белков.

Выделение белка проводили при температурах 1; 5; 10 и 20 °С, буферным раствором, содержащем раствор 20 мМ аскорбиновой кислоты и раствор 20 мМ CaCl_2 при гидромодуле 1:10. Затем проводили центрифугирование при 8000 об/мин в течение 10 мин [87].

В экстрактах изучали процентные распределения кристаллов льда методом микроскопического исследования морфологии кристаллов льда. Для исследования готовили модельные и базовые образцы. Модельные образцы представляли собой раствор выделенного белка, содержащий 30%-й сахарозы. Базовые образцы содержали 30%-й раствор сахарозы. Образцы замораживали до температуры минус 70 °С со скоростью замораживания 30 °С/мин, затем нагревали до температуры минус 6 °С со скоростью нагревания 2 °С/мин. При достижении температуры минус 6 °С проводили микроскопическое исследование размеров сформированных кристаллов льда.

На рисунках 10-12 представлены процентные распределения кристаллов льда по размерам в замороженном 30%-м растворе сахарозы; растворе белка, выделенного из клубней топинамбура, и растворе белка, выделенного из листьев озимой ржи соответственно.

В контрольных образцах $42,0 \pm 1,2$ % кристаллов льда имели размеры 35-45 мкм и только $3 \pm 1,5$ %-м – размер 15-25 мкм (рисунок 19). В модельных образцах, содержащих белки, экстрагированные из растительного сырья при температуре 20 °С, были образованы кристаллы льда размерами 21-27 мкм (рисунки 20, 21).

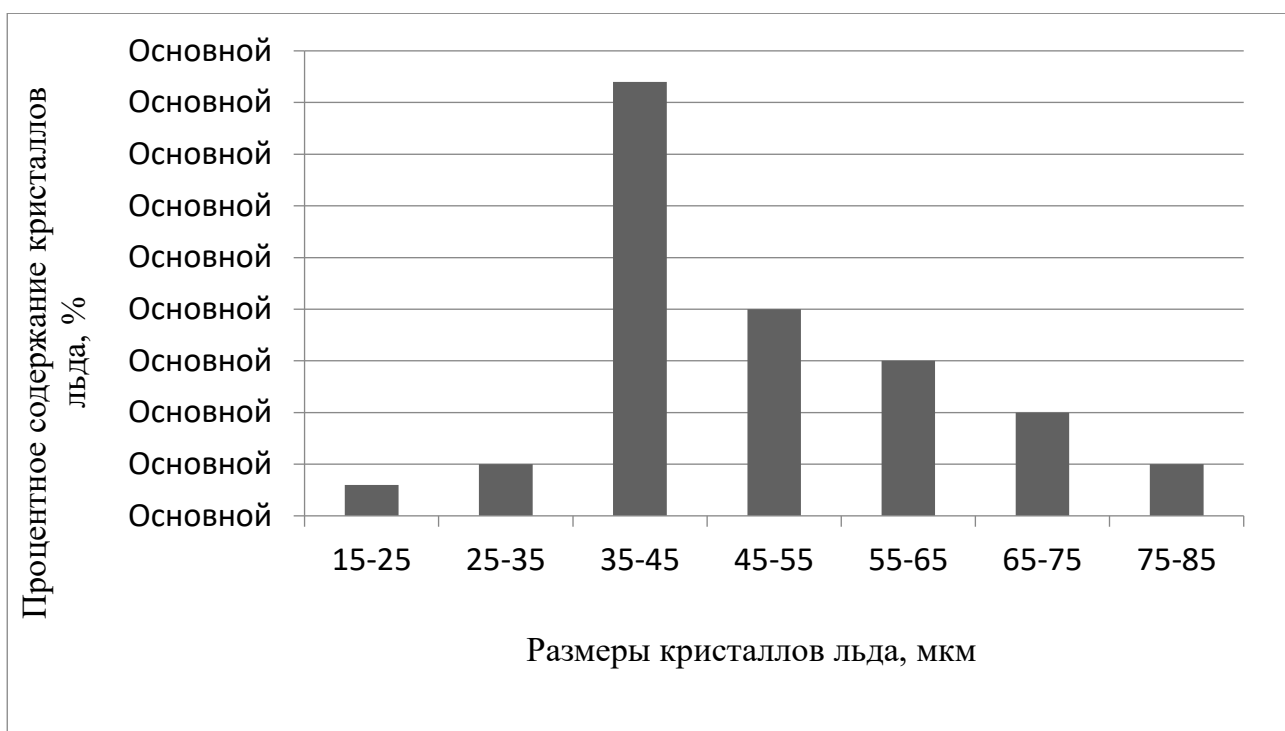


Рисунок 10. Распределение кристаллов льда в 30%-м растворе сахарозы (контрольный образец)

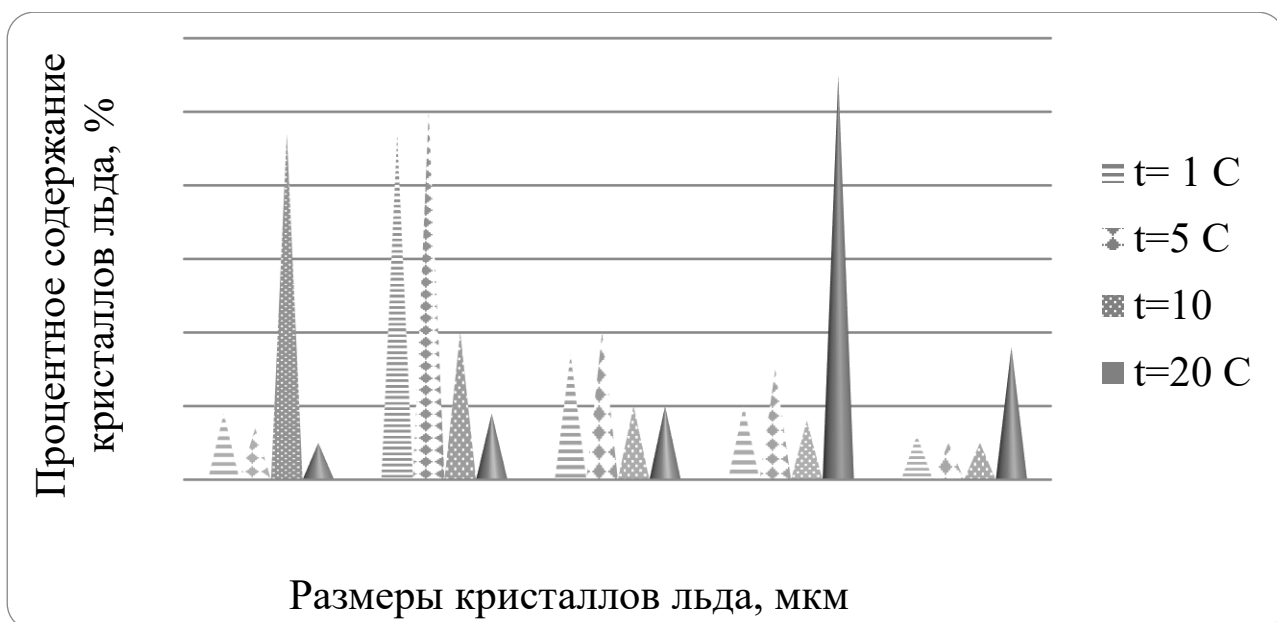


Рисунок 11. Распределение кристаллов льда по размерам в модельных образцах, содержащих белки, выделенные из клубней топинамбура при температурах 1; 5; 10 и 20 °C

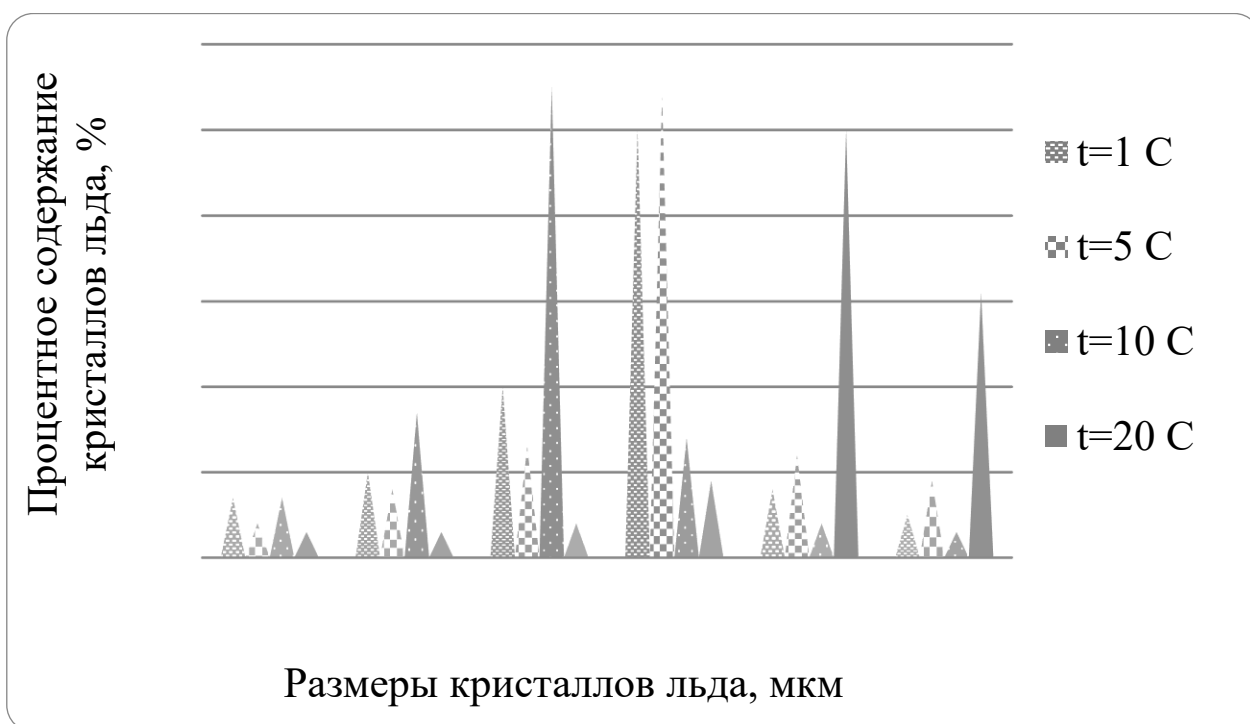


Рисунок 12. Распределение кристаллов льда по размерам в модельных образцах, содержащих белки, выделенные из листьев озимой ржи при температурах 1; 5; 10 и 20 °С

В образцах, содержащих белки, выделенные из клубней топинамбура при температурах 1 и 5 °С, отмечено образование кристаллов размерами 7-13 мкм при соответствующем процентном содержании $47 \pm 1,3\%$ и $50 \pm 0,7\%$.

Кристаллы льда размерами 14-20 мкм были образованы в модельных образцах, содержащих белки, экстрагированные из листьев озимой ржи при температурах 1 и 5 °С. Наименьшие размеры кристаллов льда 4-7 мкм при процентном содержании $47 \pm 2\%$ отмечены в модельных образцах, содержащих белки, полученные из клубней топинамбура при температуре 10 °С.

В образцах, содержащих белки, выделенные из листьев озимой ржи при температуре 10 °С, 55% кристаллов имели минимальные размеры 7-13 мкм. Микроструктура, полученных кристаллов льда представлена на рисунке 13.

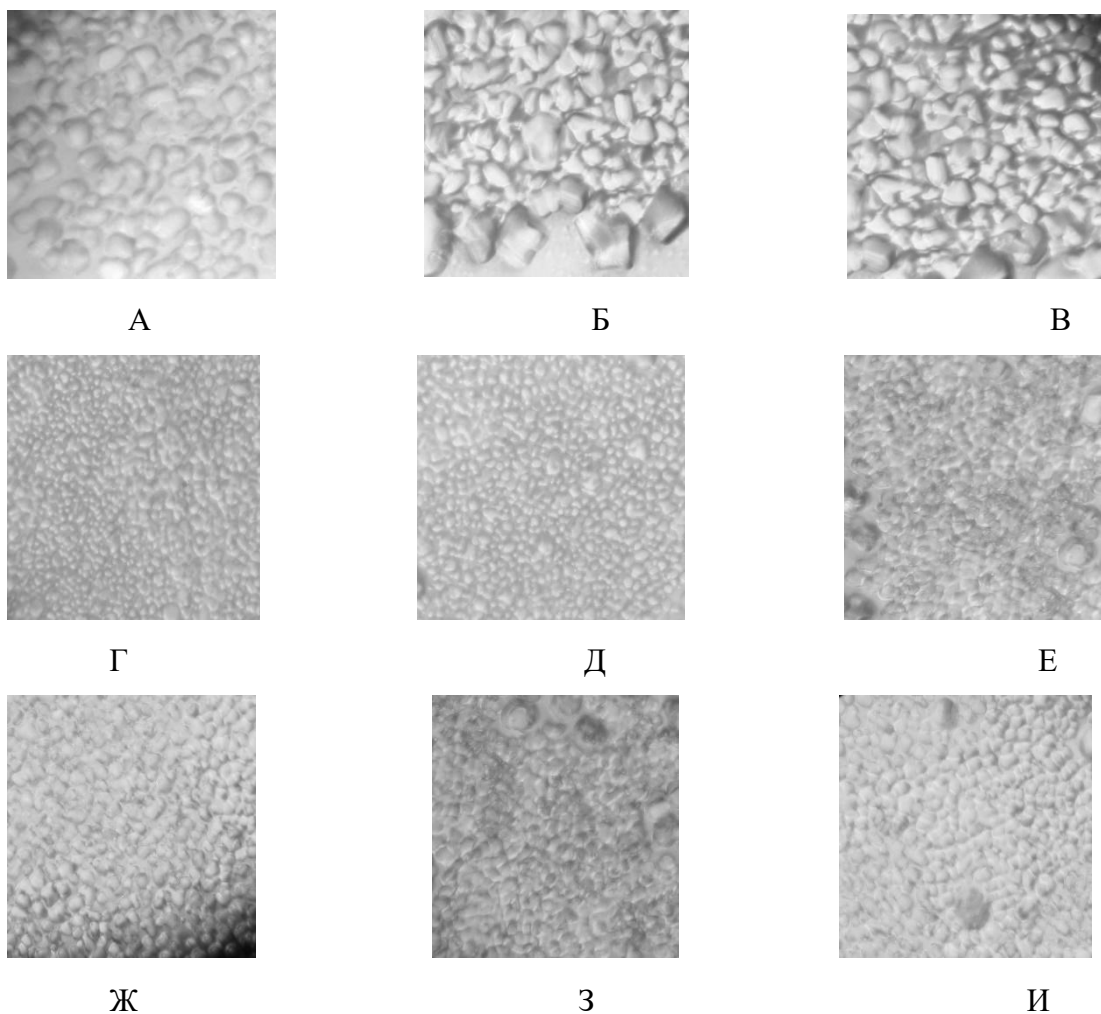


Рисунок 13. Микроструктура кристаллов льда при увеличении $\times 400$:

А – 30%-й раствор сахарозы; Б, Г, Е, З – 30%-й раствор сахарозы, содержащий белок, выделенный из клубней топинамбура при температурах соответственно 20; 10; 5; 1 °С; И, Ж, Д, В – 30%-й раствор сахарозы, содержащий белок, выделенный из листьев озимой ржи при температурах соответственно 1; 5; 10 и 20 °С.

Полученные результаты свидетельствуют о потере криопротекторной способности белков, выделенных из клубней топинамбура и листьев озимой ржи при температуре 20 °С. Установлено, что способность ингибировать рост кристаллов льда наблюдалась только в образцах белков, экстрагированных при температурах 1; 5 и 10 °С, причем наилучшие результаты получены при температуре 10 °С.

4.2. Определение режимов первичной обработки растительного сырья при создании замороженных молочных продуктов

Первая стадия подготовки сырья – это механическое измельчение сырья. Выбор режима измельчения зависит от требуемой степени измельчения, прочности, твердости и ультраструктуры сырья. Контроль степени измельчения растительного материала важен для обеспечения рациональных условий последующей экстракции. В результате чрезмерно тонкого помола возникают технологические проблемы как при хранении и транспортировке сырья, связанные с уплотнением и слеживанием, так и при отделении от экстрагирующих сред.

Влияние степени измельчения сырья на выход экстрактивных веществ, как правило, носит обратно пропорциональный характер: чем меньше степень измельчения, тем выше экстрактивность. Данный факт связан с увеличением поверхности контакта фаз сырья с растворителем [141].

Целью исследования являлось определение рациональной степени измельчения листьев озимой ржи и клубней топинамбура. Нами выбрана степень измельчения от 0,1 до 5,0 мм с шагом 0,5 мм.

Результаты исследования представлены в таблице 4.

Установлено, что при уменьшении степени измельчения листьев озимой ржи от 5,0 до 1,0 мм степень экстракции белка увеличивается соответственно от $1 \pm 0,2$ до $5,0 \pm 1,2$ %. Измельчение клубней топинамбура от 5,0 до 0,5 мм привело к увеличению степени экстракции белка от $2,5 \pm 0,4$ до $7,0 \pm 1,4$ %. При дальнейшем уменьшении степени измельчения клубней топинамбура и листьев озимой ржи степень экстракции белка не увеличилась.

Рациональная степень измельчения растительного сырья составила для листьев озимой ржи 1 мм, для клубней топинамбура – 0,5 мм.

Таблица 4. Влияние степени измельчения клубней топинамбура и листьев озимой ржи на степень экстракции белка из растительного сырья

Степень измельчения, мм	Степень экстракции белка, %	
	Листья озимой ржи	Клубни топинамбура
5,0	1,0±0,2	2,5±0,4
4,5	1,5±0,4	3,0±0,6
4,0	2,0±0,7	3,5±0,6
3,5	2,45±0,90	4,0±0,8
3,0	3,3±0,8	4,5±0,7
2,5	3,75±1,00	5,0±0,9
2,0	4,2±1,1	5,5±1,0
1,5	4,6±1,0	6,0±1,0
1,0	5,0±1,2	6,5±1,1
0,5	5,1±1,2	7,0±1,4
0,1	5,1±1,1	7,1±1,1

4.3. Исследование режимов подготовки растительного сырья при создании замороженных молочных продуктов

Основные задачи получения белков, структурирующих лед, из растительного сырья – это экстракция его из сырья с максимальным выходом при минимальных затратах, сохранение структуры белка, существующей в природных условиях и обеспечивающей его криопротекторную способность.

Согласно классификации белков по растворимости, предложенной Осборном, они подразделяются на альбумины (растворимы в дистиллированной воде), глобулины (растворимые в разбавленных водных растворах солей), глютелины (растворимые в разбавленных растворах щелочей) и проламины (растворимые в водно-спиртовых растворах). Практически все

виды сырья различаются по содержанию альбуминов, глобулинов, глютелинов и проламинов.

Требования к экстрагенту предъявляются следующие: он не должен существенно изменять химический состав белков; белки и другие вещества должны легко фракционироваться из него; простота его регенерации и селективность [141].

При щелочной обработке в белках происходят следующие изменения: гидролиз, разрушение боковых цепей аминокислот и образование новых аминокислот, рацемизация аминокислот, образование мостиковых связей, низкомолекулярных пептидов, амидорадикалов аспарагина и глутамина [61].

По мнению A. Charles и L. Guy, растворимость белка в растворах солей зависит от ионной силы и pH среды [142]. Увеличение ионной силы может уменьшить растворимость белковых фракций. Белки имеют минимальную растворимость в изоэлектрической точке.

O. O. Balogun и A. A. Odutuga доказали что растворимость белка семян рожкового дерева увеличивается с увеличением ионной силы [61].

D. M. Klockeman и др. установили такую же тенденцию для белка, полученного из семян рапса [137].

Целью исследования являлось изучение влияния концентрации экстрагента, температуры, гидромодуля и продолжительности экстракции на степень экстракции белка, структурирующего лед, из растительного сырья.

В качестве экстрагентов были выбраны дистиллированная вода; 3-, 5- и 7%-е растворы NaCl; 0,1; 0,5 и 1 М растворы NaOH. Время экстракции составило 0,5; 0,75; 1,0; 1,25; 1,5; 1,75 и 2,0 ч, температура экстракции белка - 1, 5 и 10 °C. Гидромодуль экстракции: 1:4; 1:7; 1:10; 1:13; 1:16 и 1:19.

Собранное сырье (листья ржи, клубни топинамбура) измельчали. Затем проводили процесс экстракции белка. Для отделения растворимой фракции белка применяли центрифугирование при 8000 об/мин в течение 20 мин и затем полученный супернатант сливали в емкость.

На рисунках 14-16 представлены зависимости степени экстракции водой белка из клубней топинамбура от гидромодуля и продолжительности экстракции при температурах 1, 5, 10 °С.



Рисунок 14. Зависимость степени экстракции водой белка из клубней топинамбура от гидромодуля и продолжительности экстракции при температуре 1 °С

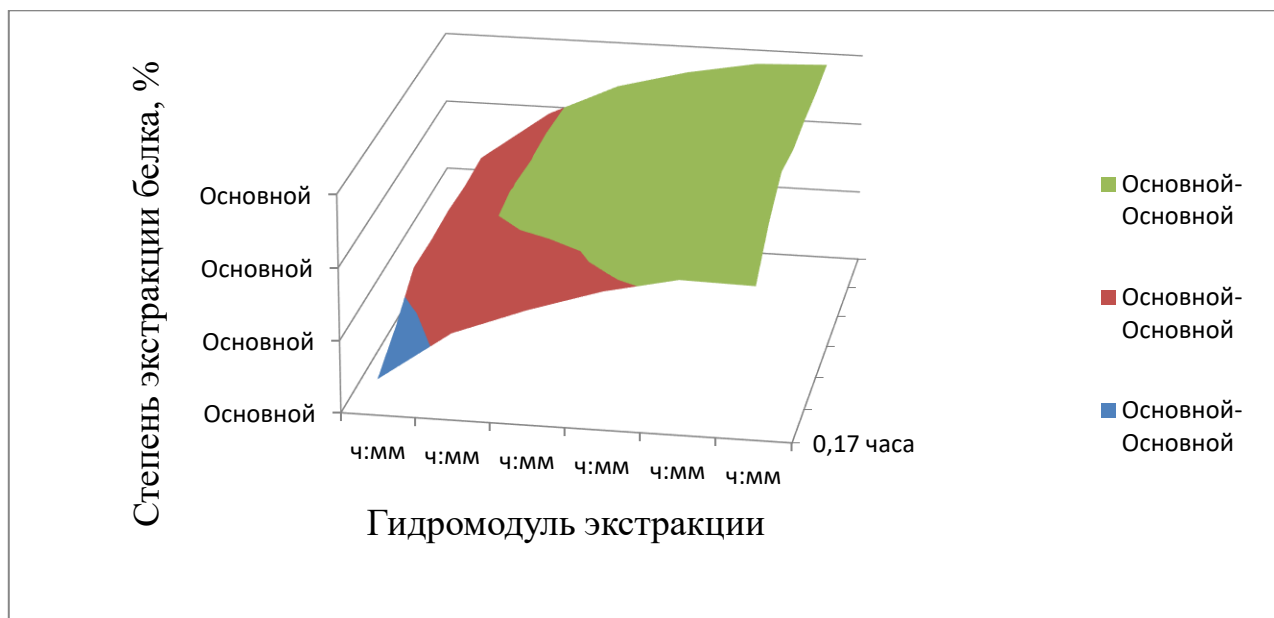


Рисунок 15. Зависимость степени экстракции водой белка из клубней топинамбура от гидромодуля и продолжительности экстракции при температуре 5 °С

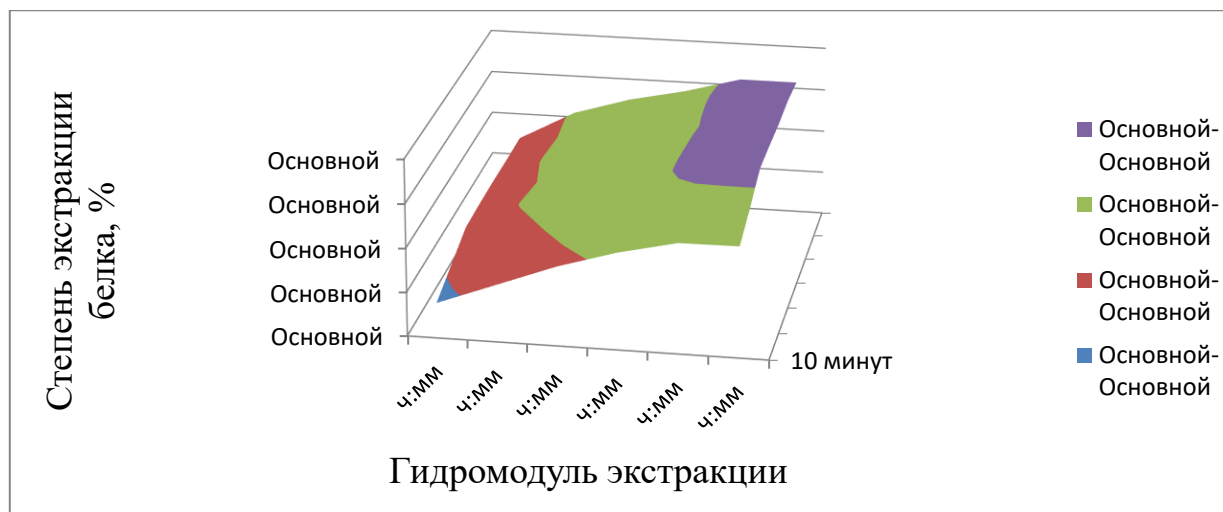


Рисунок 16. Зависимость степени экстракции водой белка из клубней топинамбура от гидромодуля и продолжительности экстракции при температуре 10 °С

При температуре 1 °С, продолжительности экстракции 0,5 ч и гидромодуле 1:16 максимальная степень экстракции равна $9,3 \pm 0,4$ % (рисунок 14). При температуре 5 °С наибольшая степень экстракции составила $14 \pm 0,3$ %-м при экстрагировании в течение 0,5 ч и гидромодуле 1:16 (рисунок 15). Максимальная степень экстракции составила $15,9 \pm 1,1$ % при гидромодуле экстракции 1:16, продолжительности экстракции 0,5 ч и температуре 10 °С (рисунок 16).

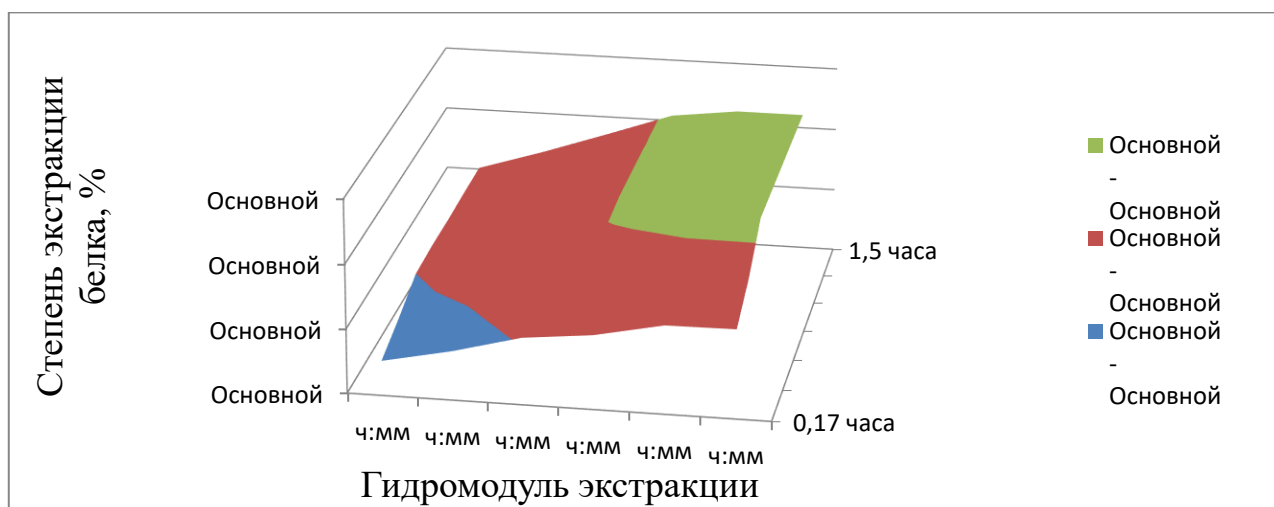


Рисунок 17. Зависимость степени экстракции водой белка из листьев ржи от гидромодуля и продолжительности экстракции при температуре 1 °С

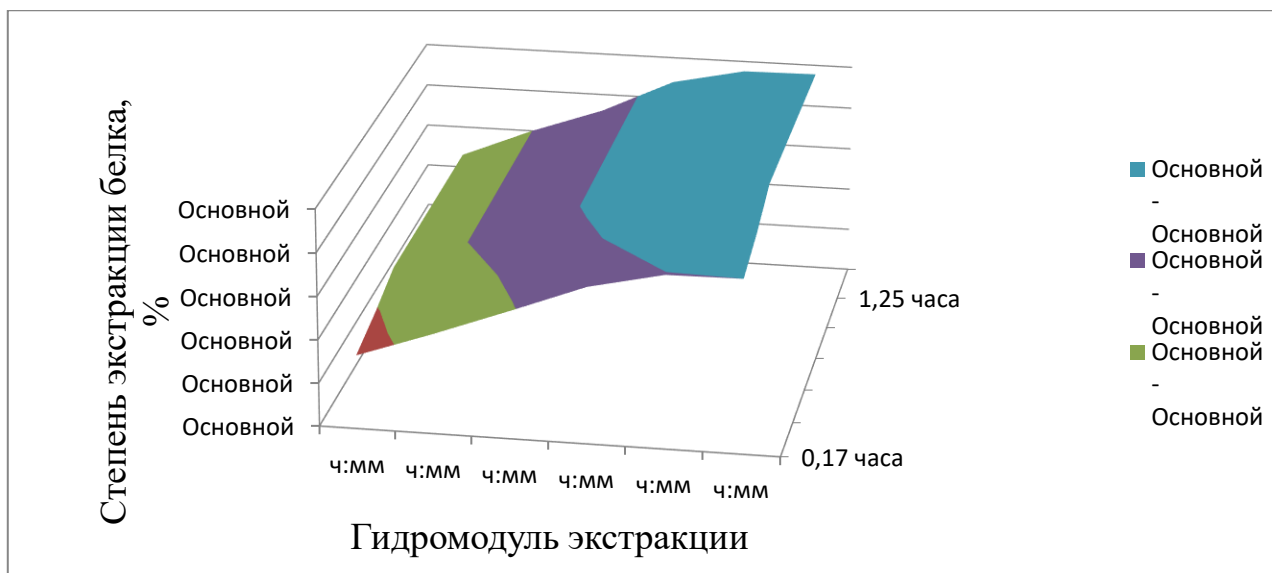


Рисунок 18. Зависимость степени экстракции водой белка из листьев ржи от гидромодуля и продолжительности экстракции при температуре 5 °С

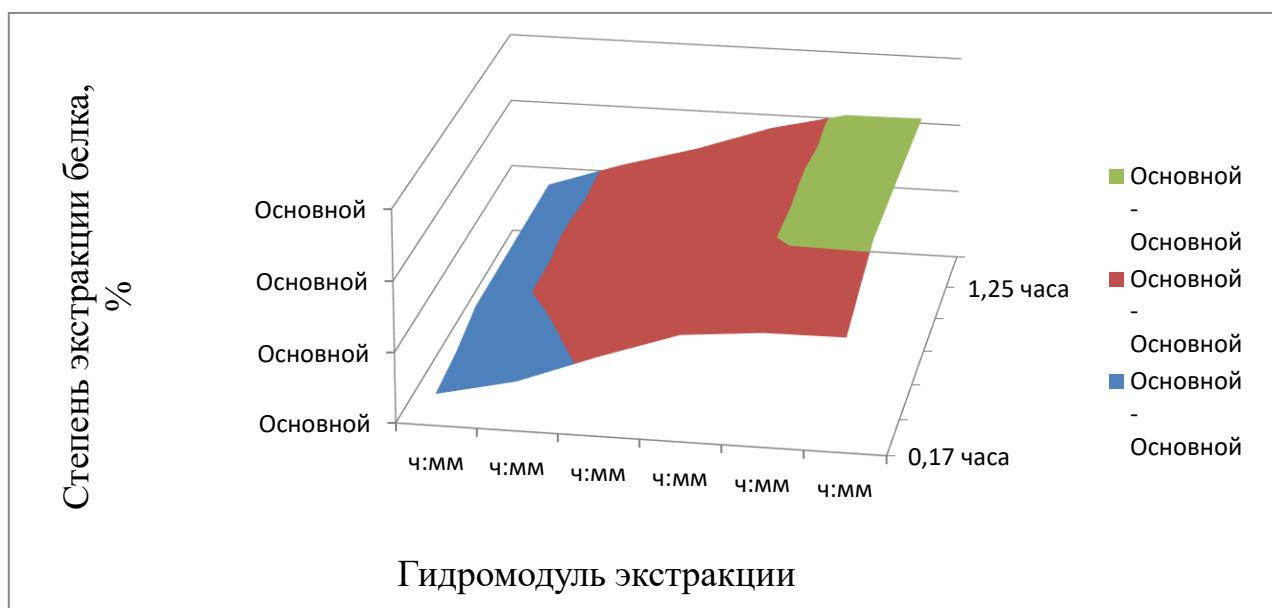


Рисунок 19. Зависимость степени экстракции водой белка из листьев ржи от гидромодуля и продолжительности экстракции при температуре 10 °С

При температуре 1 °С, продолжительности экстракции 0,5 ч и гидромодуле 1:16 максимальная степень экстракции равна $27,0 \pm 1,1$ % (рисунок 17). При температуре 5 °С наибольшая степень экстракции составила $28,8 \pm 0,7$ % при экстрагировании в течение 0,5 ч и гидромодуле 1:16 (рисунок 18). Максимальная степень экстракции белка из листьев ржи составила $30,5 \pm 1,4$ %

при гидромодуле экстракции 1:16, продолжительности экстракции 0,5 ч и температуре 10 °С (рисунок 19). Дальнейшее увеличение продолжительности экстракции до 2 ч привело к снижению степени экстракции белка из листьев ржи.

На рисунках 20-22 представлены зависимости степени экстракции белка из клубней топинамбура 3%-м раствором NaCl от гидромодуля и продолжительности экстракции при температурах 1, 5 и 10 °С.

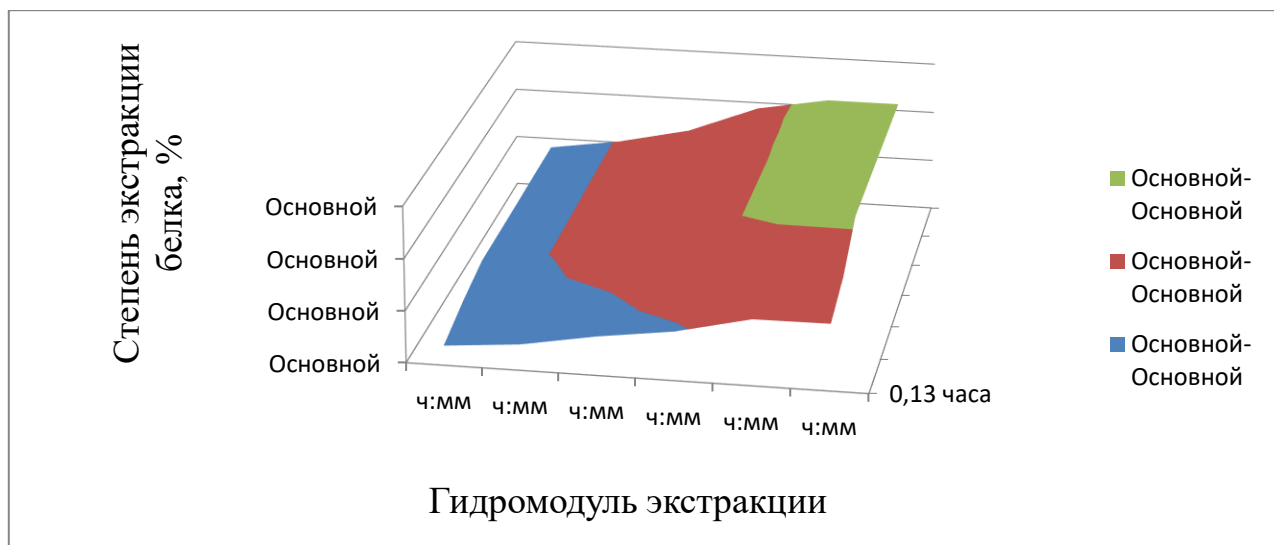


Рисунок 20. Зависимость степени экстракции белка из клубней топинамбура 3%-м раствором NaCl от гидромодуля и продолжительности экстракции при температуре 1 °С

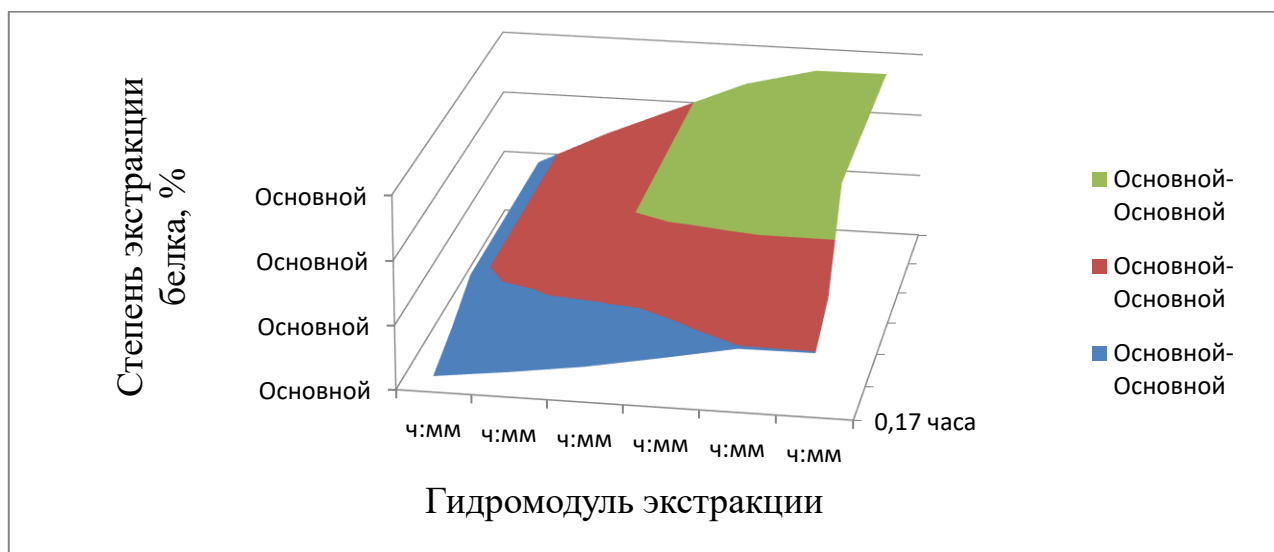


Рисунок 21. Зависимость степени экстракции белка из клубней топинамбура 3%-м раствором NaCl от гидромодуля и продолжительности экстракции при температуре 5 °С

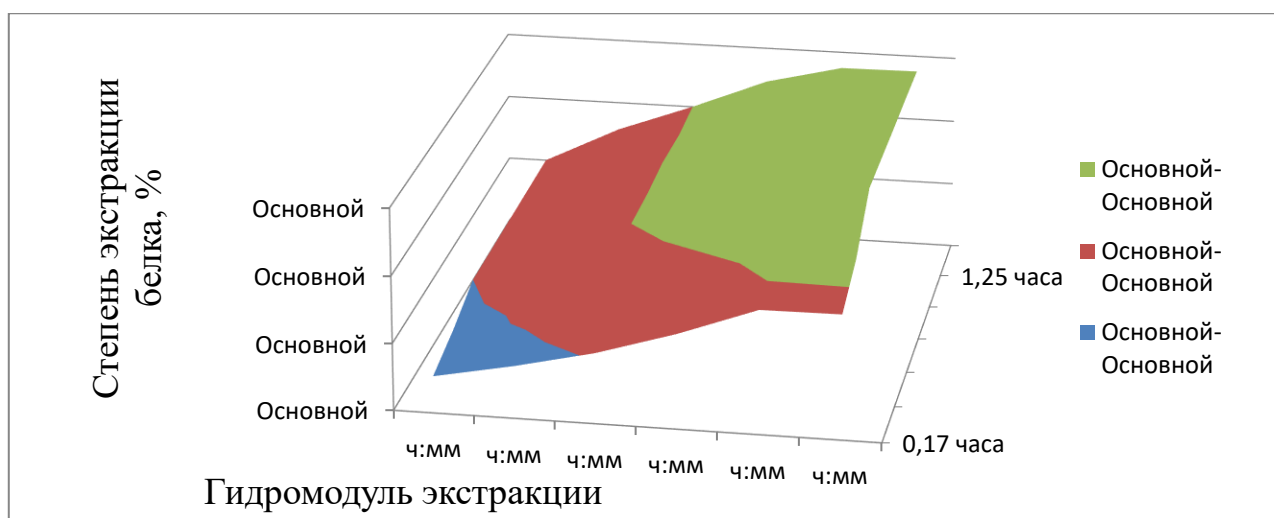


Рисунок 22. Зависимость степени экстракции белка из клубней топинамбура 3%-м раствором NaCl от гидро модуля и продолжительности экстракции при температуре 10 °С

Минимум экстракции $21,2 \pm 1,2$ % составил при температуре 1 °С, гидро модуле экстракции 1:16 и длительности экстракции 0,5 ч (рисунок 23). Экстракция при температуре 5 °С, гидро модуле 1:16 в течение 0,5 ч позволила выделить $26,4 \pm 0,7$ % белка из клубней топинамбура (рисунок 24). Установлено, что максимальная степень экстракции составила $27,4 \pm 0,5\%$ при следующих условиях: гидро модуль экстракции 1:16, продолжительность экстракции 10 °С (рисунок 35).

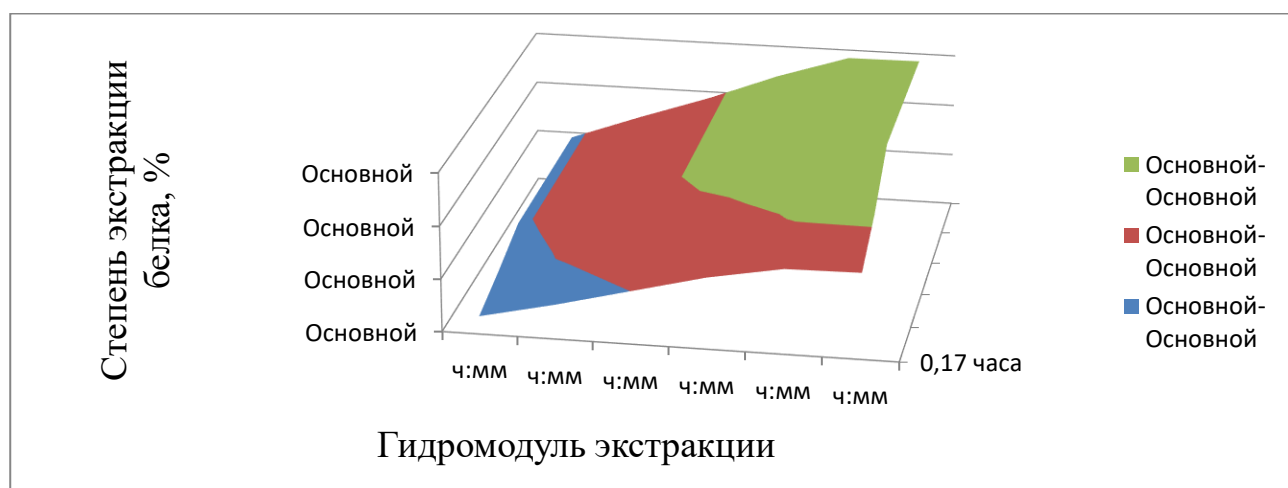


Рисунок 23. Зависимость степени экстракции белка из клубней топинамбура 5%-м раствором NaCl от гидро модуля и продолжительности экстракции при температуре 1 °С

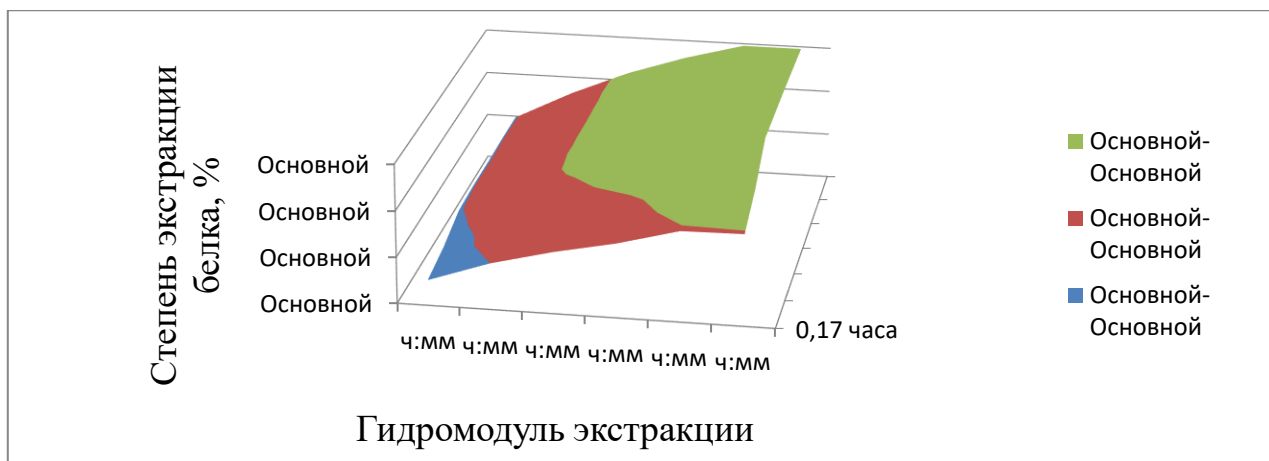


Рисунок 24. Зависимость степени экстракции белка из клубней топинамбура 5%-м раствором NaCl от гидромодуля и продолжительности экстракции при температуре 5 °С

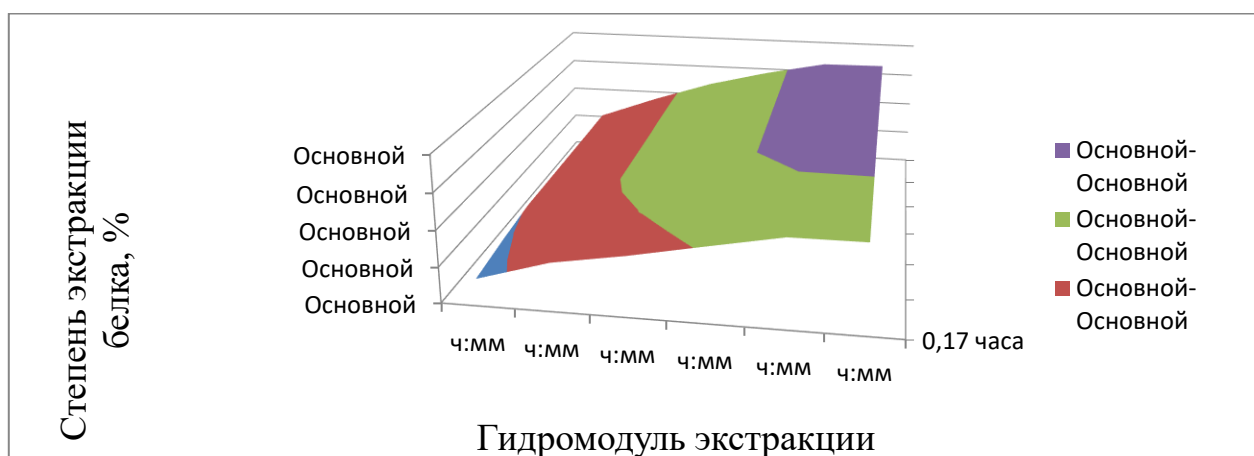


Рисунок 25. Зависимость степени экстракции белка из клубней топинамбура 5%-м раствором NaCl от гидромодуля и продолжительности экстракции при температуре 10 °С

На рисунках 21-25 изображены зависимости степени экстракции белка из клубней топинамбура 5%-м раствором NaCl от гидромодуля и продолжительности экстракции при температуре 1, 5 и 10 °С.

Степень экстракции была равна $28,4 \pm 0,8$ % при температуре экстрагирования 1 °С, продолжительности экстракции 0,5 ч и гидромодуле 1:16 (рисунок 23). Максимальная степень экстракции при температуре 5 °С, гидромодуле экстракции 1:16 и продолжительности экстракции 0,5 ч составила $29,4 \pm 1,0$ % (рисунок 24). Наибольшая степень экстракции составила $32,5 \pm 1,2$ %

при гидромодуле экстракции 1:16, температуре 10 °С и продолжительности экстракции 0,5 ч (рисунок 25).

На рисунках 26, 36 и 37 изображены зависимости степени экстракции белка из клубней топинамбура 7%-м раствором NaCl от гидромодуля и продолжительности экстракции при температурах 1; 5 и 10 °С.

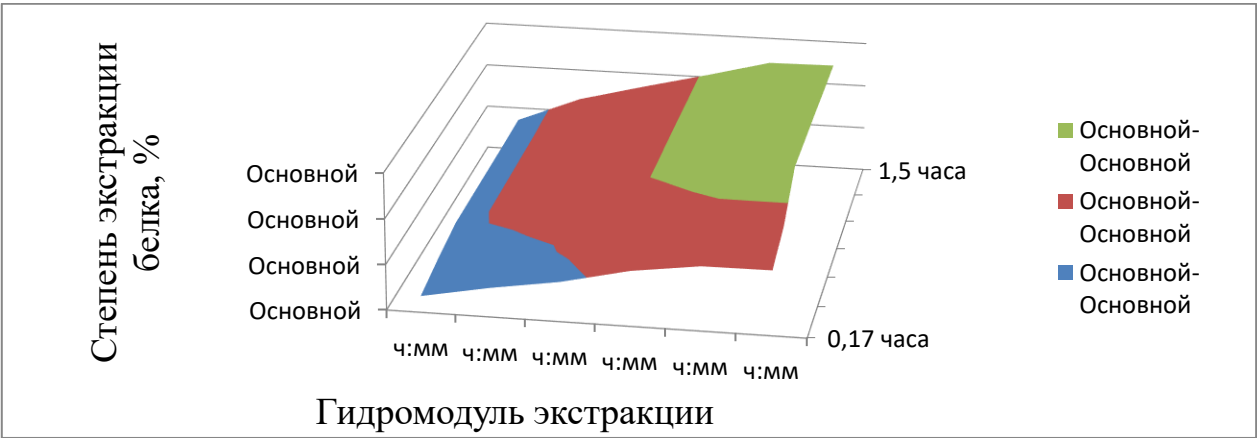


Рисунок 26. Зависимость степени экстракции белка из клубней топинамбура 7%-м раствором NaCl от гидромодуля и продолжительности экстракции при температуре 1 °С

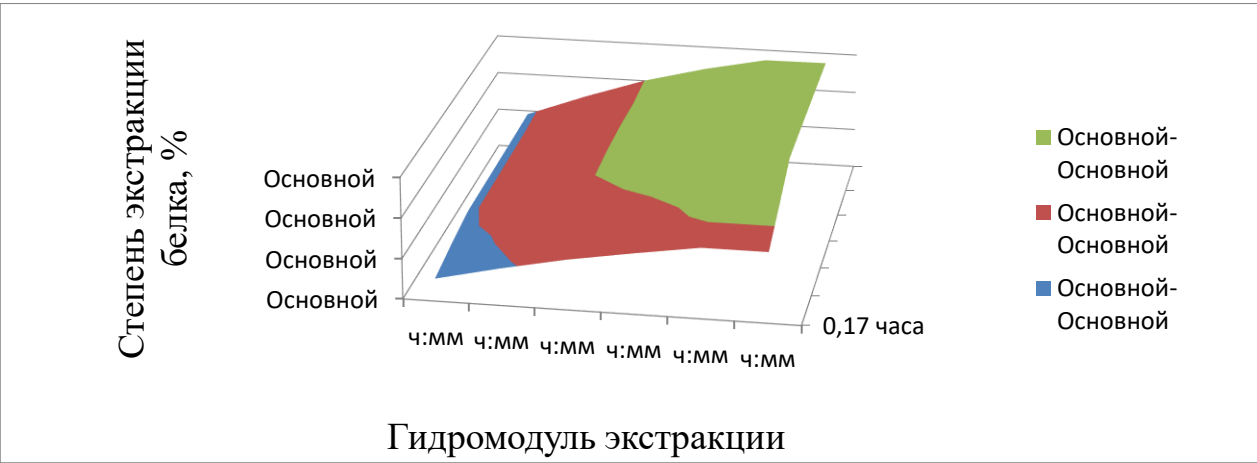


Рисунок 27. Зависимость степени экстракции белка из клубней топинамбура 7%-м раствором NaCl от гидромодуля и продолжительности экстракции при температуре 5 °С

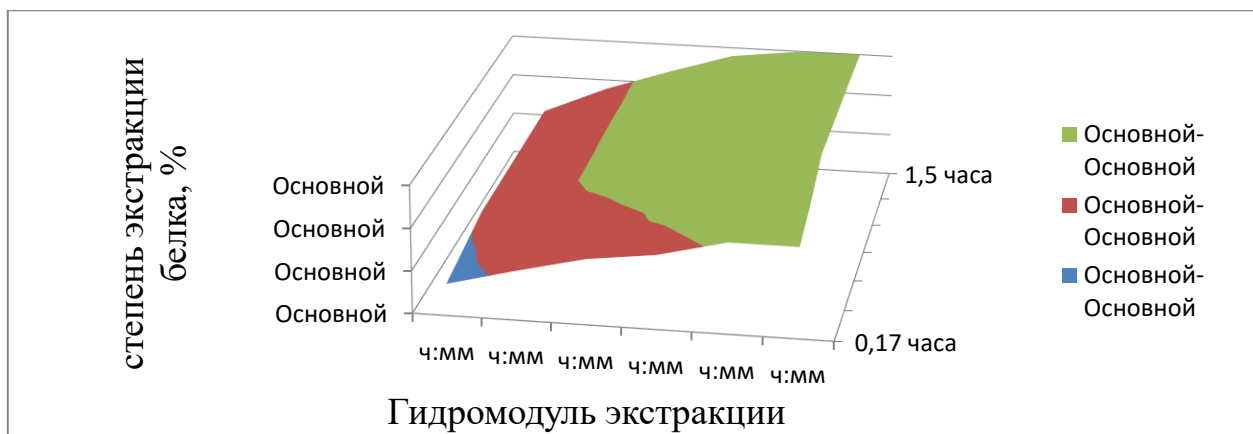


Рисунок 28. Зависимость степени экстракции белка из клубней топинамбура 7%-м раствором NaCl от гидро модуля и продолжительности экстракции при температуре 10 °С

Анализируя полученные данные, установили, что экстракция при температуре 1 °С, гидро модуле 1:16 в течение 0,5 ч позволила экстрагировать $24,2 \pm 0,7$ % белка из клубней топинамбура (рисунок 26). При температуре 5 °С, гидро модуле 1:16 и продолжительности экстракции 0,5 ч было экстрагировано $27,2 \pm 0,4$ % белка (рисунок 27). Максимальная степень экстракции $29,8 \pm 0,7\%$ составила при температуре 10 °С, гидро модуле 1:16 и продолжительности экстракции 0,5 ч (рисунок 28).

На рисунках 38, 39 и 40 изображены зависимости степени экстракции белка из листьев озимой ржи 3%-м раствором NaCl от гидро модуля и продолжительности экстракции при температурах 1, 5 и 10 °С.

Установлено, что максимальная степень экстракции $18,7 \pm 0,7\%$ была при температуре 1 °С, гидро модуле экстракции 1:16 и продолжительности экстракции 0,5 ч (рисунок 29). Наибольшая степень экстракции при температуре 5 °С гидро модуле 1:16 и продолжительности экстракции 0,5 ч составила $24 \pm 1,1$ % (рисунок 30). Максимум степени экстракции $26,3 \pm 0,7$ % составил при температуре 10 °С, гидро модуле 1:16 и продолжительности экстракции 0,5 ч (рисунок 31).

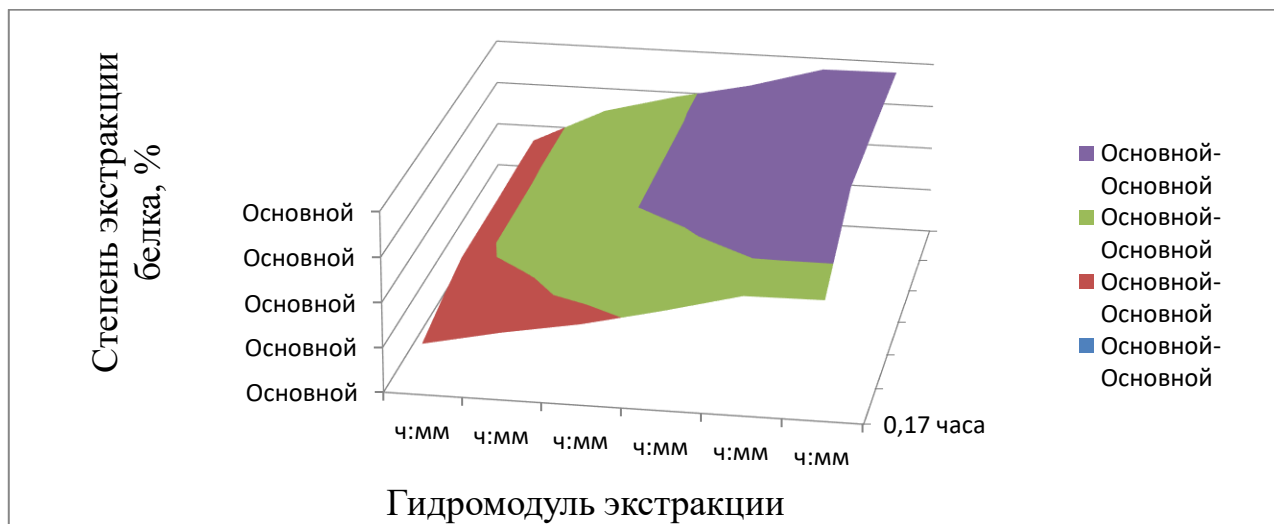


Рисунок 29. Зависимость степени экстракции белка из листьев озимой ржи 3%-м раствором NaCl от гидро модуля и продолжительности экстракции при температуре 1 °С

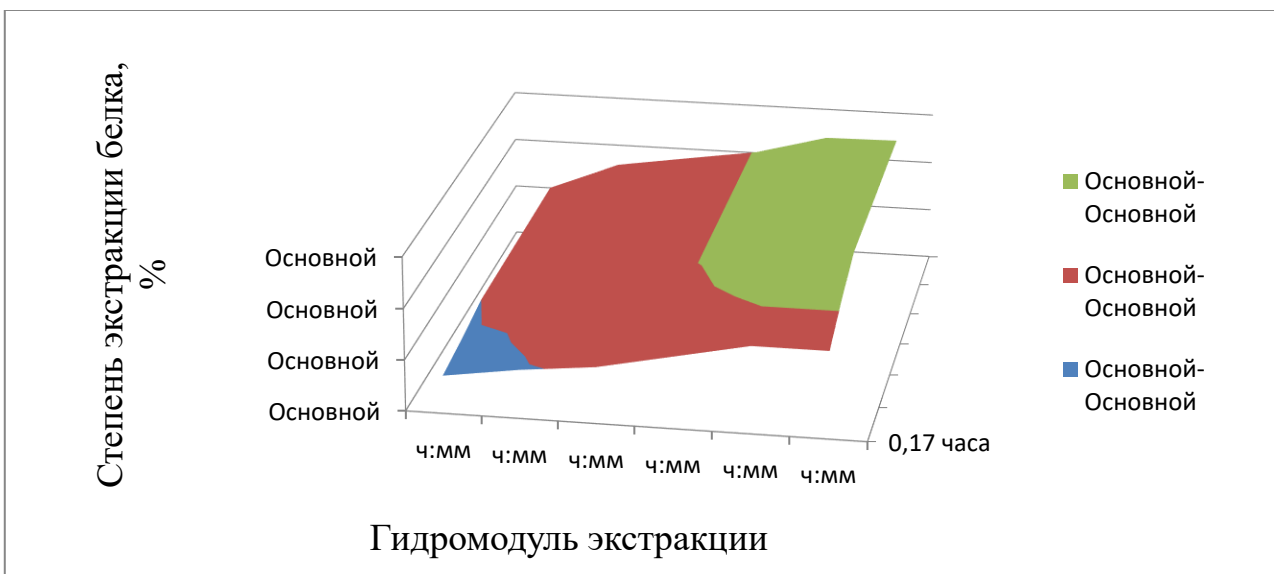


Рисунок 30. Зависимость степени экстракции белка из листьев озимой ржи 3%-м раствором NaCl от гидро модуля и продолжительности экстракции при температуре 5 °С

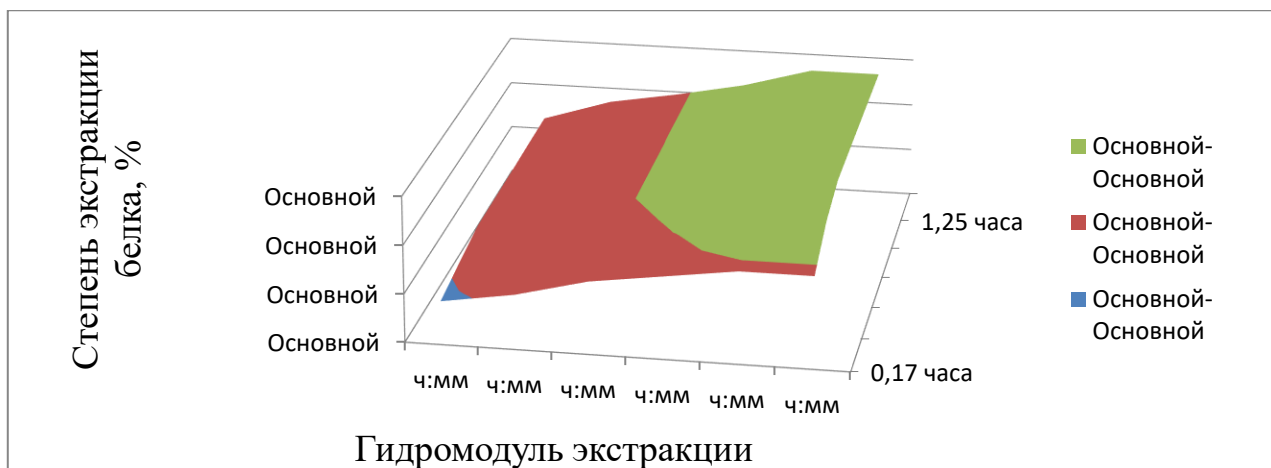


Рисунок 31. Зависимость степени экстракции белка из листьев озимой ржи 3%-м раствором NaCl от гидромодуля и продолжительности экстракции при температуре 10 °C

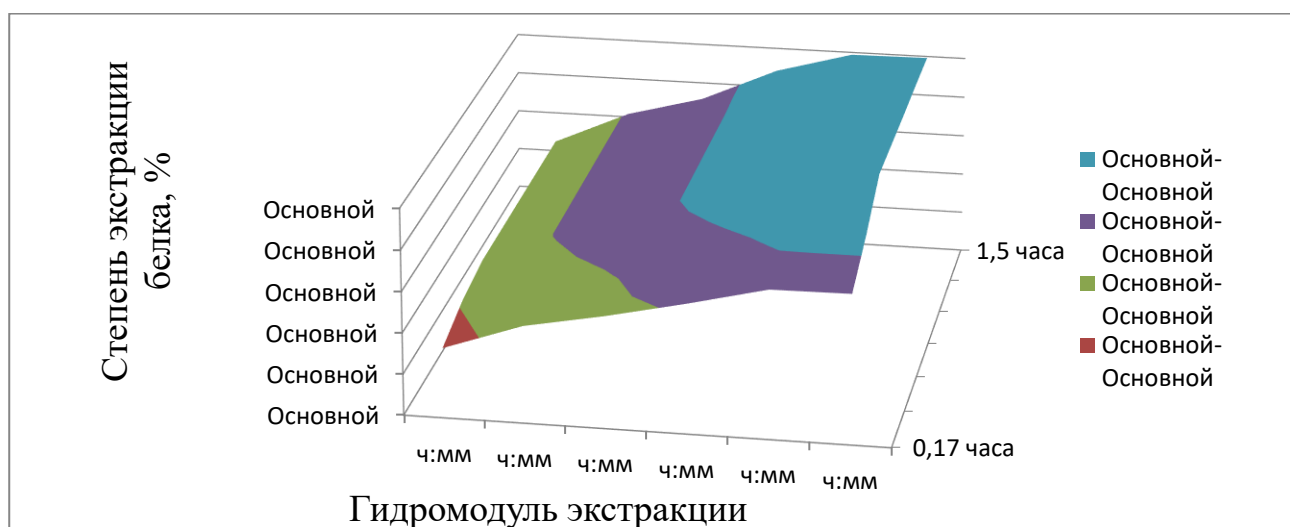


Рисунок 32. Зависимость степени экстракции белка из листьев озимой ржи 5%-м раствором NaCl от гидромодуля и продолжительности экстракции при температуре 1 °C

На рисунках 32-34 изображены зависимости степени экстракции белка из листьев озимой ржи 5%-м раствором NaCl от гидромодуля и продолжительности экстракции при температурах 1; 5 и 10 °C.

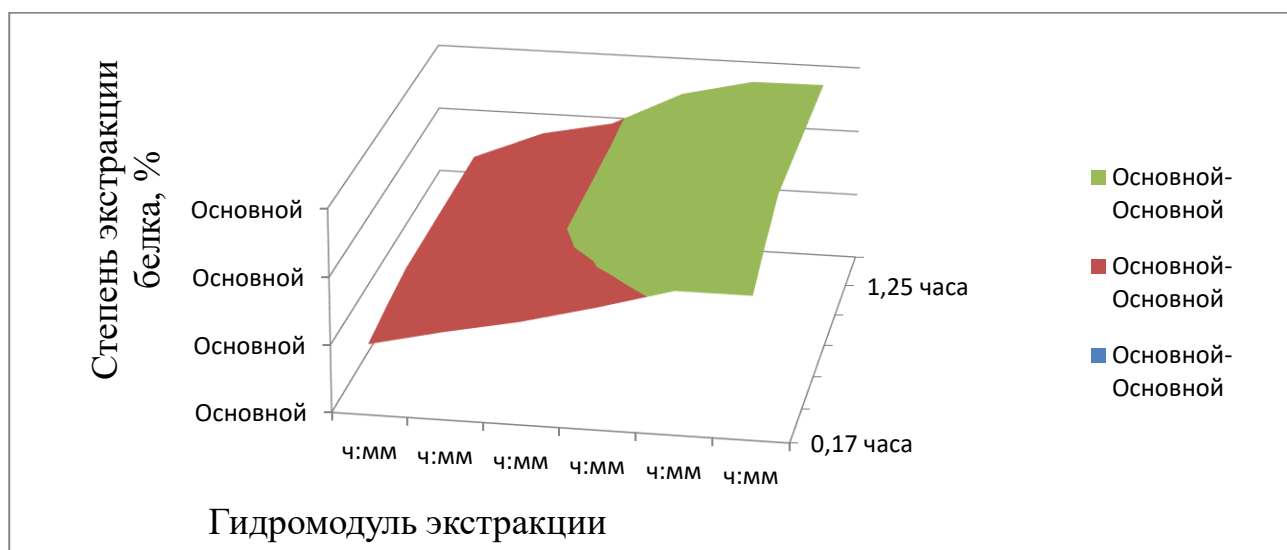


Рисунок 33. Зависимость степени экстракции белка из листьев озимой ржи 5%-м раствором NaCl от гидро модуля и продолжительности экстракции при температуре 5 °С

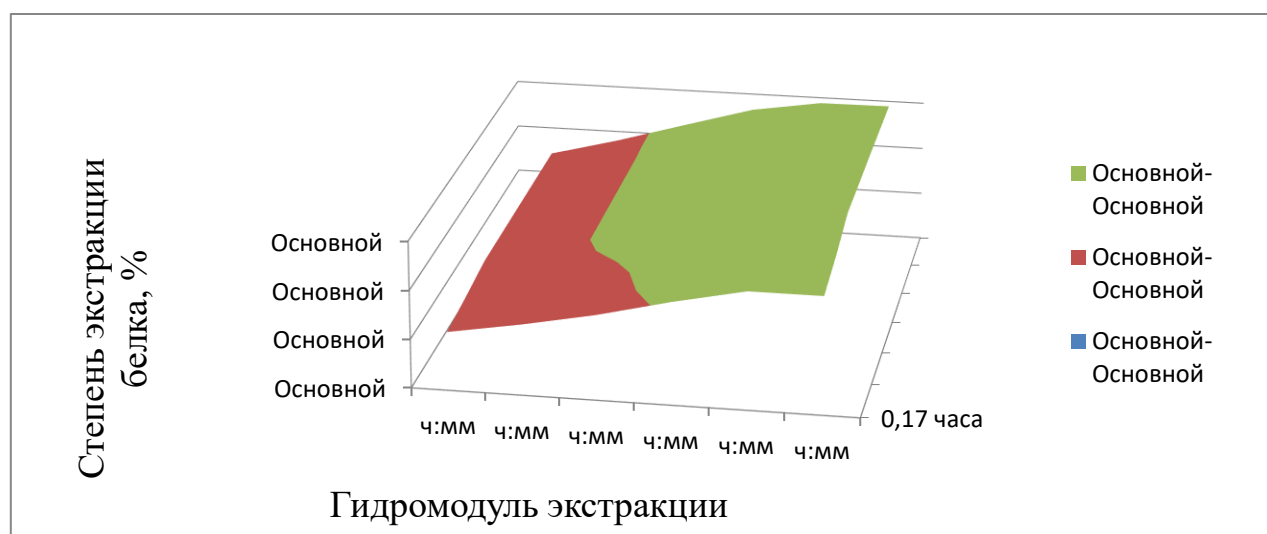


Рисунок 34. Зависимость степени экстракции белка из листьев озимой ржи 5%-м раствором NaCl от гидро модуля и продолжительности экстракции при температуре 10 °С

Анализ полученных данных установил, что при гидромодуле экстракции 1:16, продолжительности экстракции 0,5 ч и температурах 1; 5 °С и 10 °С степень экстракции составила соответственно $24,7 \pm 0,6$ %, $26,9 \pm 0,7$ % и $28,7 \pm 1,2$ % (рисунки 32-34).

На рисунках 35-37 изображены зависимости степени экстракции белка из листьев озимой ржи 7%-м раствором NaCl от гидромодуля и продолжительности экстракции при температурах 1; 5 и 10 °С.

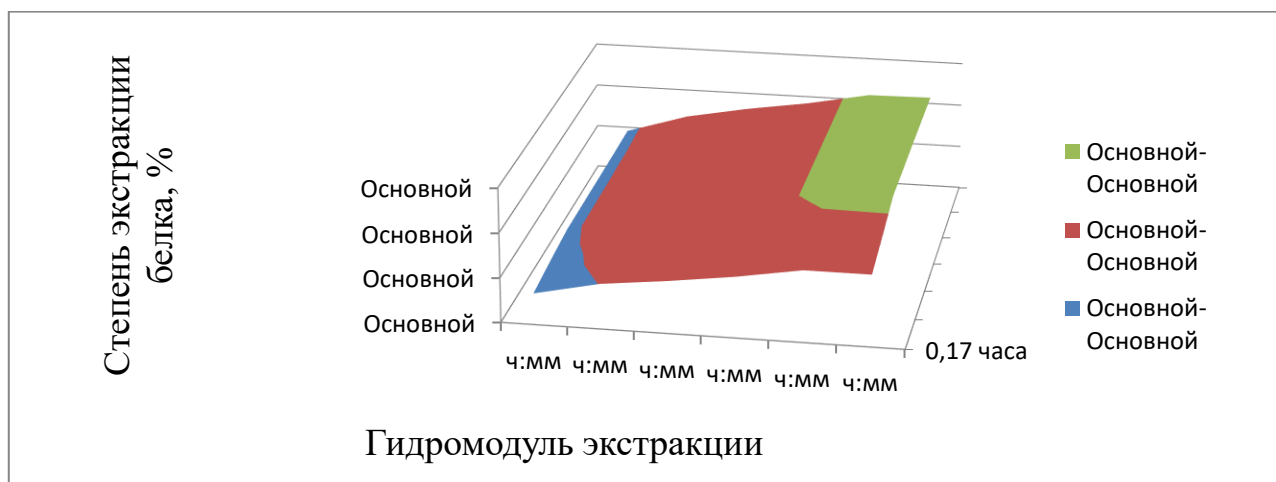


Рисунок 35. Зависимость степени экстракции белка из листьев озимой ржи 7%-м раствором NaCl от гидромодуля и продолжительности экстракции при температуре 1 °С

Максимальная степень экстракции $21,2 \pm 1,0$ % составила при температуре 1 °С, гидромодуле 1:16 и продолжительности экстракции 0,5 ч (рисунок 35). При температуре 5 °С наибольшая степень экстракции составила $24 \pm 1,3$ % при гидромодуле экстракции 1:16 и продолжительности экстракции 0,5 ч (рисунок 36). Максимальная степень экстракции $26,3 \pm 0,7$ % составила при следующих условиях экстракции: гидромодуль экстракции 1:16, продолжительность экстракции 0,5 ч и температура экстракции 10 °С (рисунок 37).

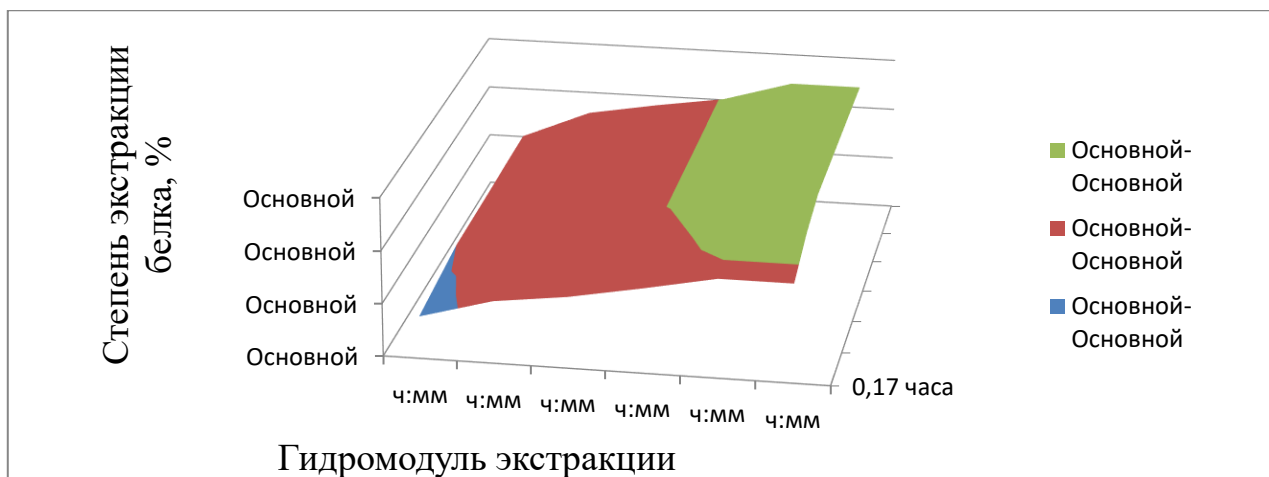


Рисунок 36. Зависимость степени экстракции белка из листьев озимой ржи 7%-м раствором NaCl от гидромодуля и продолжительности экстракции при температуре 5 °C

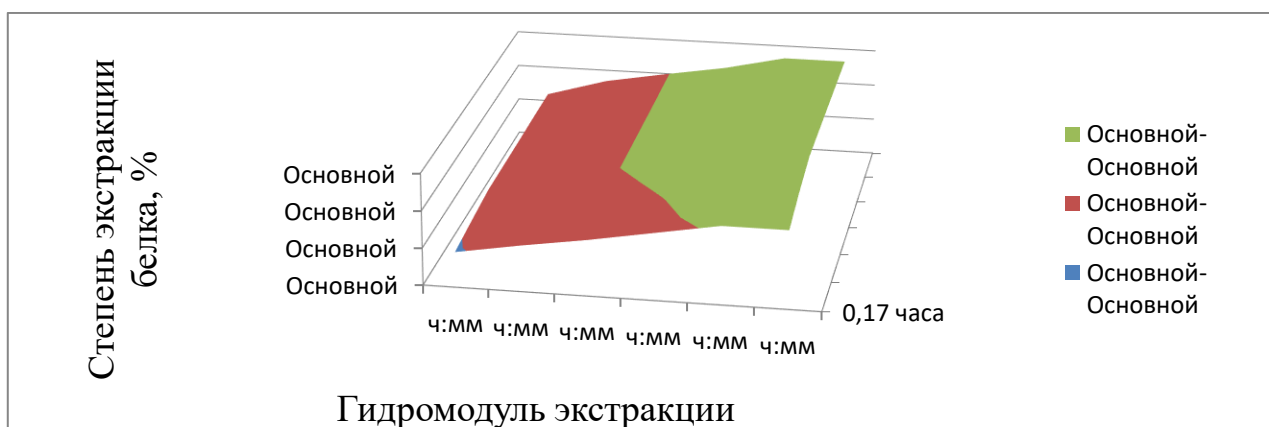


Рисунок 37. Зависимость степени экстракции белка из листьев озимой ржи 7%-м раствором NaCl от гидромодуля и продолжительности экстракции при температуре 10 °C

Таким образом, 3-, 5%-е растворы NaCl оказали на белки, выделенные из клубней топинамбура и озимой ржи, действие, способствующее их растворению в результате уменьшения электростатических взаимодействий между белками. 7%-й раствор способствовал высаливанию данных белков.

На рисунках 38-40 изображены зависимости степени экстракции белка из клубней топинамбура 0,1 М раствором NaOH от гидромодуля и продолжительности экстракции при температурах 1; 5 и 10 °C.

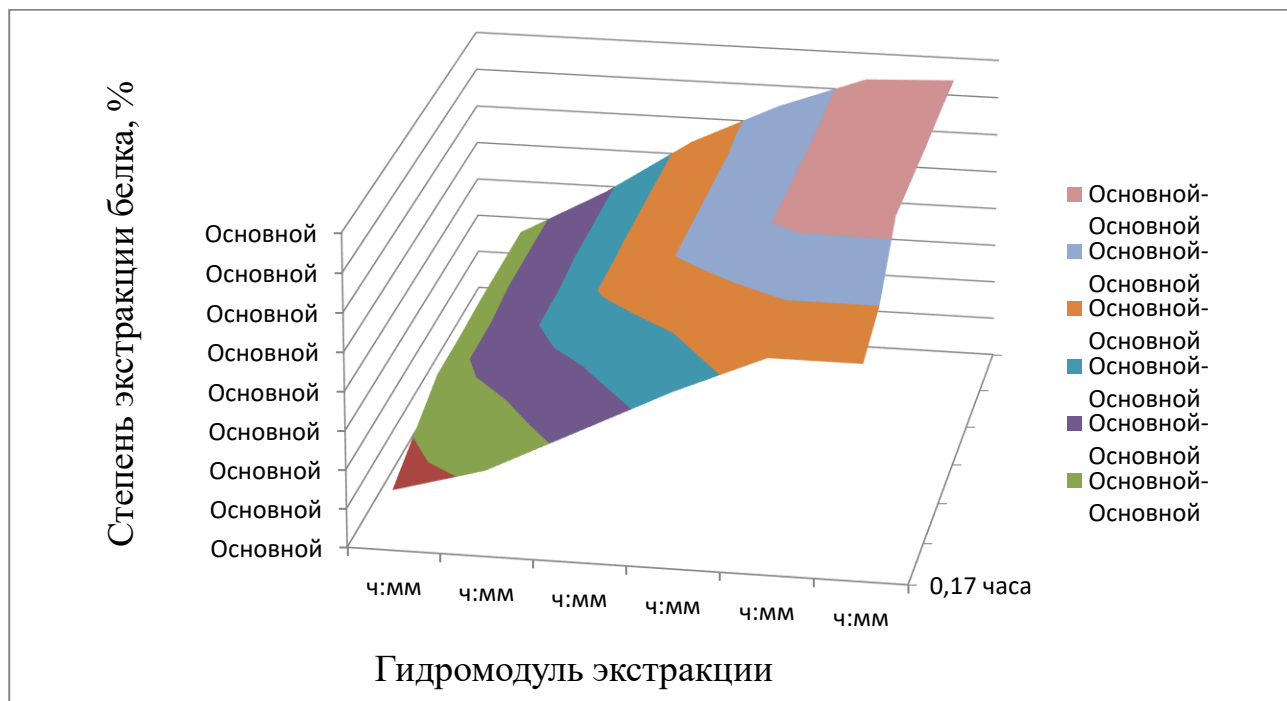


Рисунок 38. Зависимость степени экстракции белка из клубней топинамбура 0,1 М раствором NaOH от гидромодуля и продолжительности экстракции при температуре 1 °C

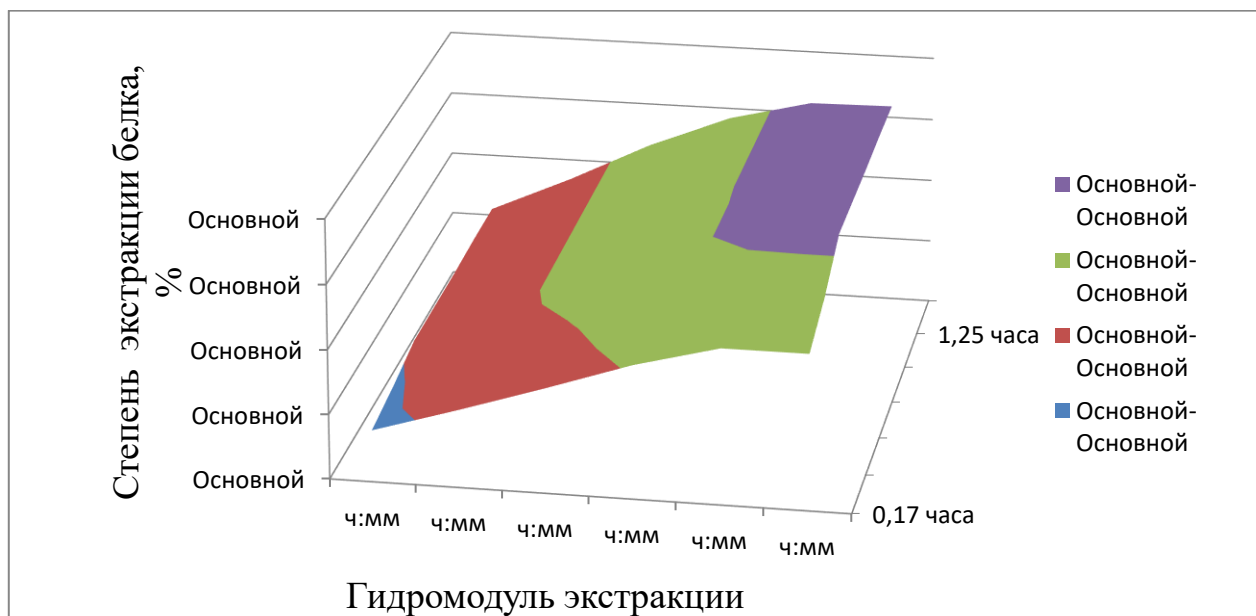


Рисунок 39. Зависимость степени экстракции белка из клубней топинамбура 0,1 М раствором NaOH от гидромодуля и продолжительности экстракции при температуре 5 °C

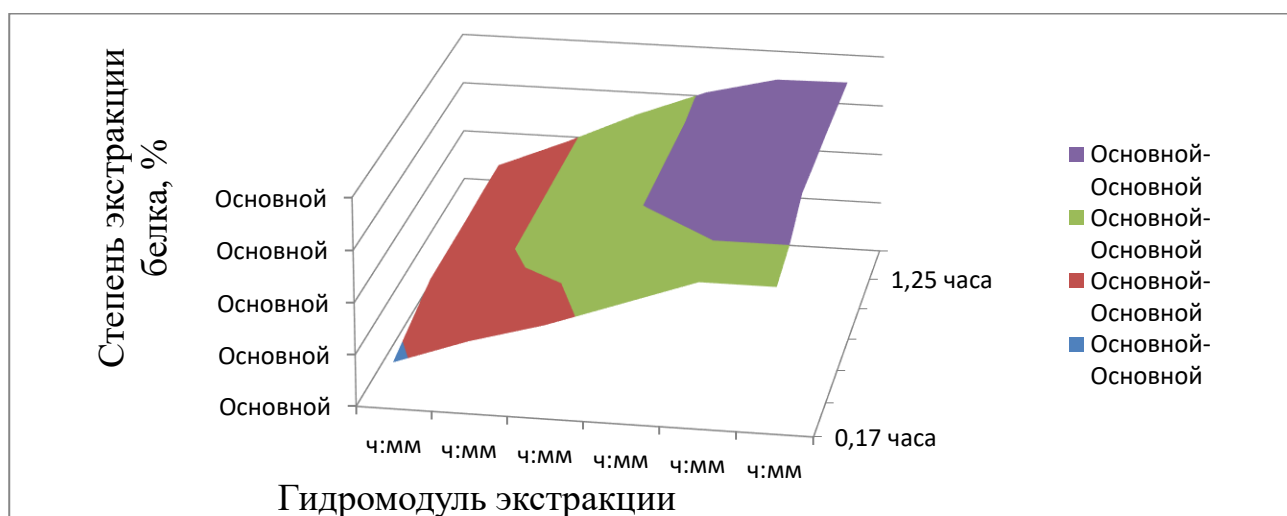


Рисунок 40. Зависимость степени экстракции белка из клубней топинамбура 0,1 М раствором NaOH от гидро модуля и продолжительности экстракции при температуре 10 °С

Максимальная степень экстракции 0,1 М раствором NaOH белка из клубней топинамбура составила $14,6 \pm 0,7\%$ при температуре 1 °С, гидро модуле экстракции 1:16 и экстракции в течение 0,5 ч (рисунок 38). При температуре экстракции 5 °С наибольшая степень экстракции составила $15,7 \pm 1,2 \%$ при следующих условиях выделения: гидро модуль экстракции 1:16 и продолжительность экстракции 0,5 ч (рисунок 39). Максимальная степень экстракции наблюдалась при температуре экстракции 10 °С, гидро модуле экстракции 1:16 и продолжительности экстракции 0,5 ч и составила $17,1 \pm 0,8 \%$ (рисунок 40).

На рисунках 41-43 изображены зависимости степени экстракции белка из клубней топинамбура 0,5 М раствором NaOH от гидро модуля и продолжительности экстракции при температурах 1; 5 и 10 °С.

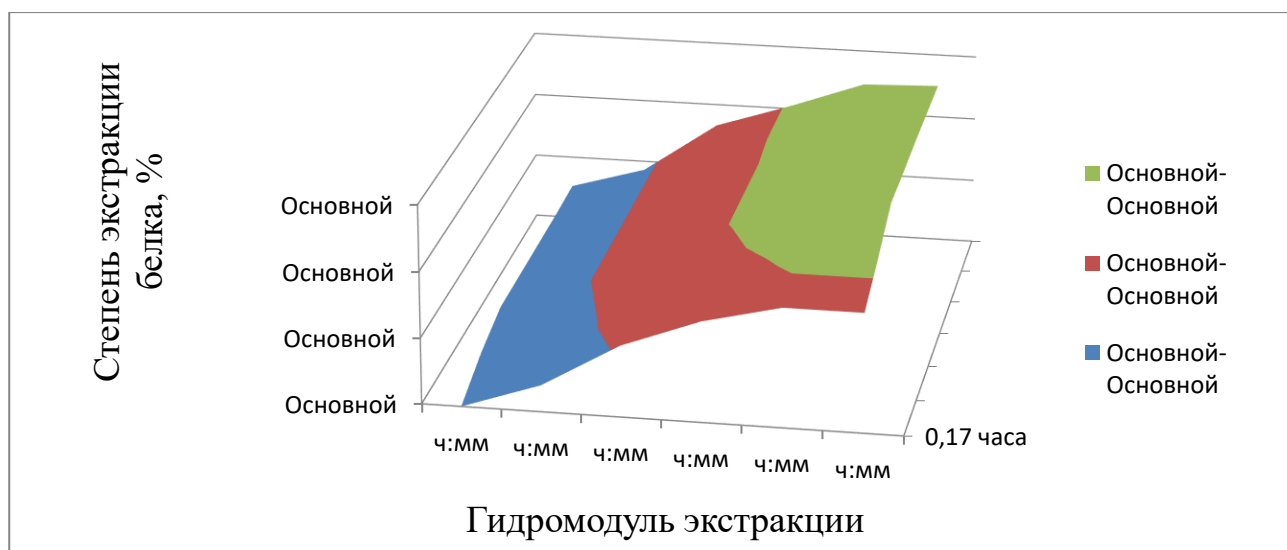


Рисунок 41. Зависимость степени экстракции белка из клубней топинамбура 0,5 М раствором NaOH от гидромодуля и продолжительности экстракции при температуре 1 °C

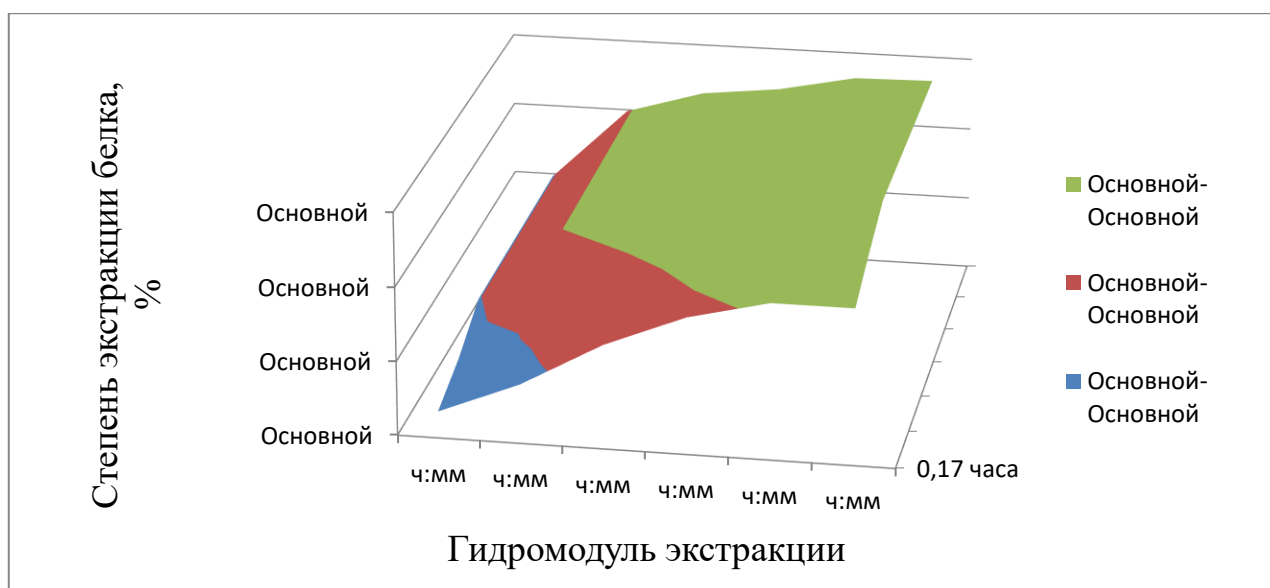


Рисунок 42. Зависимость степени экстракции белка из клубней топинамбура 0,5 М раствором NaOH от гидромодуля и продолжительности экстракции при температуре 5 °C

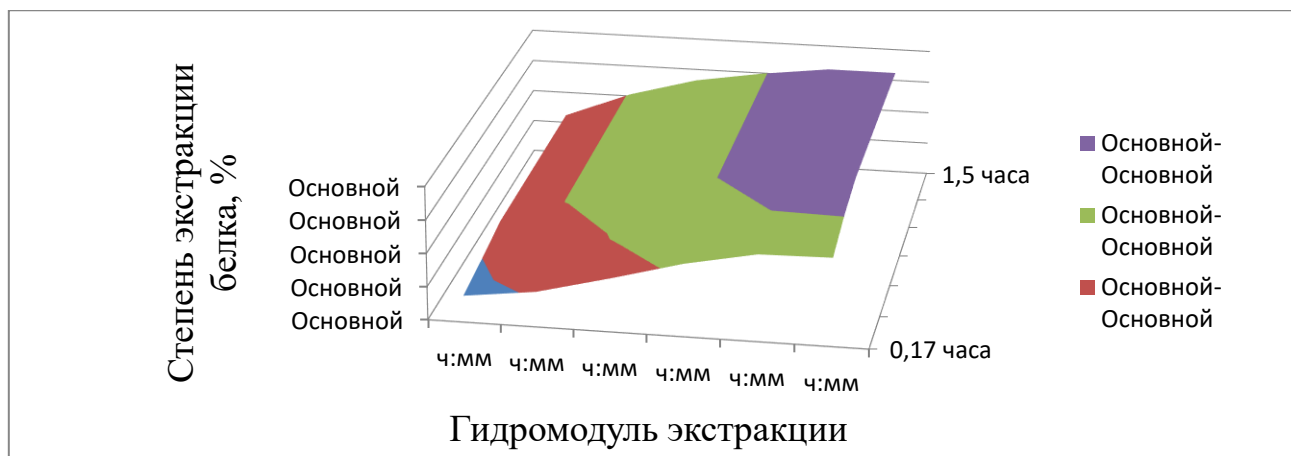


Рисунок 43. Зависимость степени экстракции белка из клубней топинамбура 0,5 М раствором NaOH от гидро модуля и продолжительности экстракции при температуре 10 °С

Установлено, что максимальная степень экстракции 0,5 М раствором NaOH составила $17,3 \pm 0,6$ % при температуре 1 °С, гидро модуле экстракции 1:16 и продолжительности экстракции 0,5 ч (рисунок 41). Наибольшая степень экстракции при температуре 5 °С наблюдалась при гидро модуле экстракции 1:16, продолжительности экстракции 0,5 ч и составила $18,2 \pm 0,3$ % (рисунок 42). Максимум степени экстракции $21,2 \pm 0,7$ % наблюдался при температуре 10 °С, гидро модуле 1:16 и продолжительности экстракции 0,5 ч (рисунок 43).

На рисунках 44-46 изображены зависимости степени экстракции белка из клубней топинамбура 1 М раствором NaOH от гидро модуля и продолжительности экстракции при температурах 1; 5 и 10 °С.

Максимальная степень экстракции $23,5 \pm 1,1$ % наблюдалась при температуре экстракции 10 °С, гидро модуле экстракции 1:16 и продолжительности экстракции 0,5 ч (рисунок 44). При понижении температуры экстракции наблюдалось понижение степени экстракции. При температуре 5 °С, гидро модуле экстракции 1:16 и продолжительности экстракции 0,5 ч наблюдалась максимальная степень экстракции $20,4 \pm 0,7$ % (рисунок 45), а при температуре 1 °С, гидро модуле экстракции 1:16 и продолжительности экстракции 0,5 ч – $19,1 \pm 0,6$ % (рисунок 46).

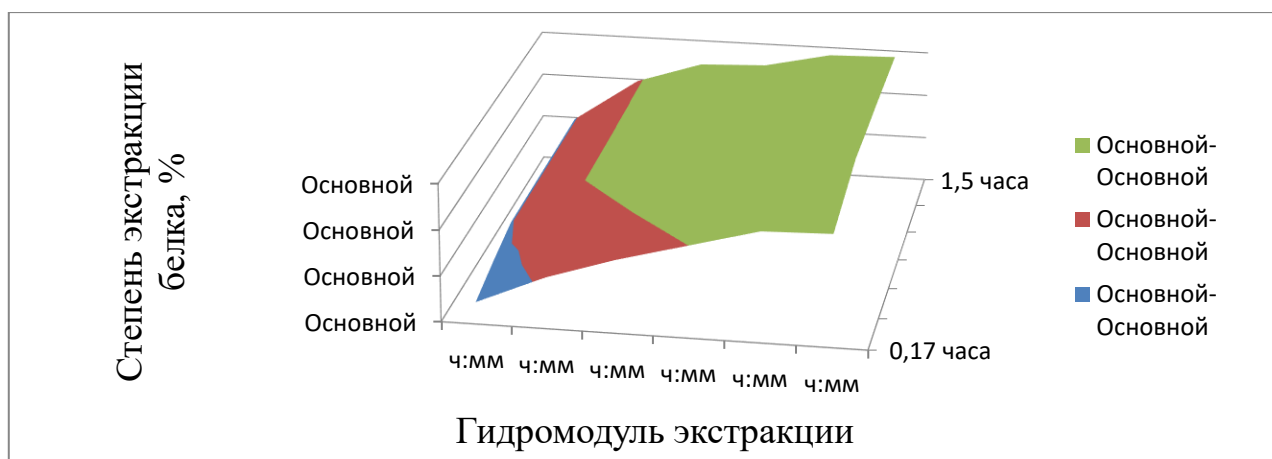


Рисунок 44. Зависимость степени экстракции белка из клубней топинамбура 1 М раствором NaOH от гидро модуля и продолжительности экстракции при температуре 1 °С

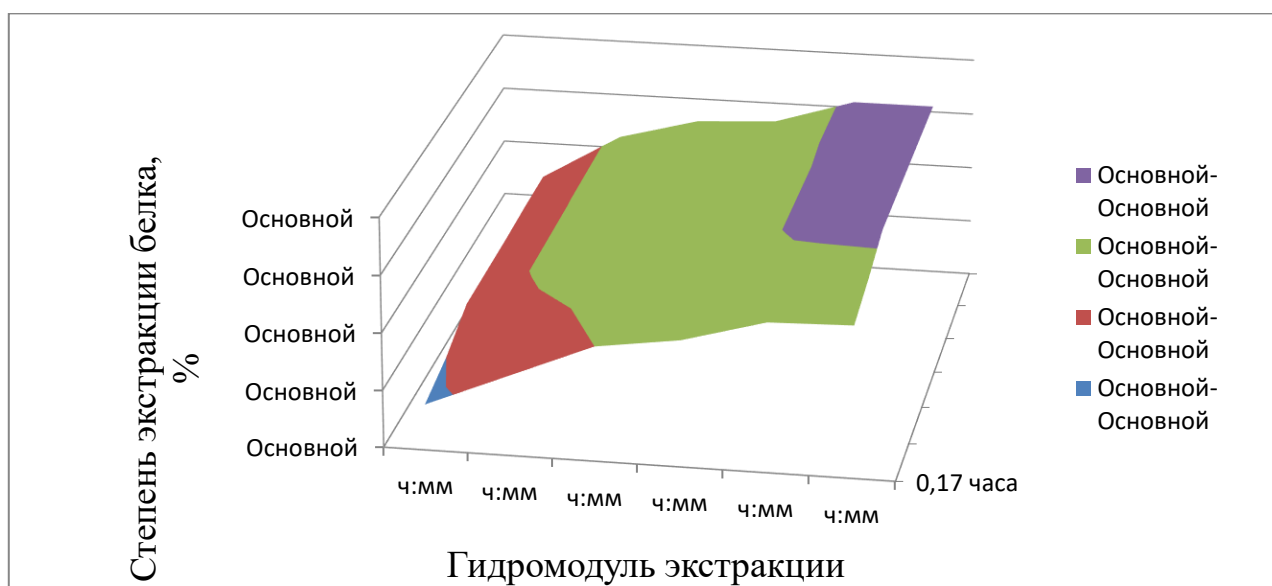


Рисунок 45. Зависимость степени экстракции белка из клубней топинамбура 1 М раствором NaOH от гидро модуля и продолжительности экстракции при температуре 5 °С

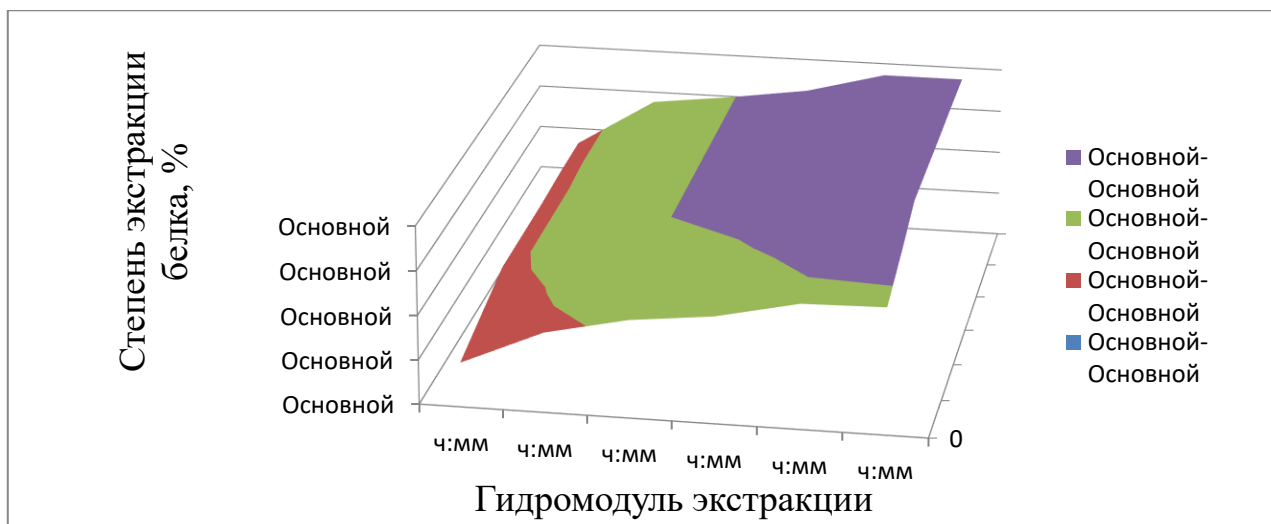


Рисунок 46. Зависимость степени экстракции белка из клубней топинамбура 1 М раствором NaOH от гидро модуля и продолжительности экстракции при температуре 10 °С

На рисунках 47-49 изображены зависимости степени экстракции белка из листьев озимой ржи 0,1 М раствором NaOH от гидро модуля и продолжительности экстракции при температурах 1, 5 и 10 °С.

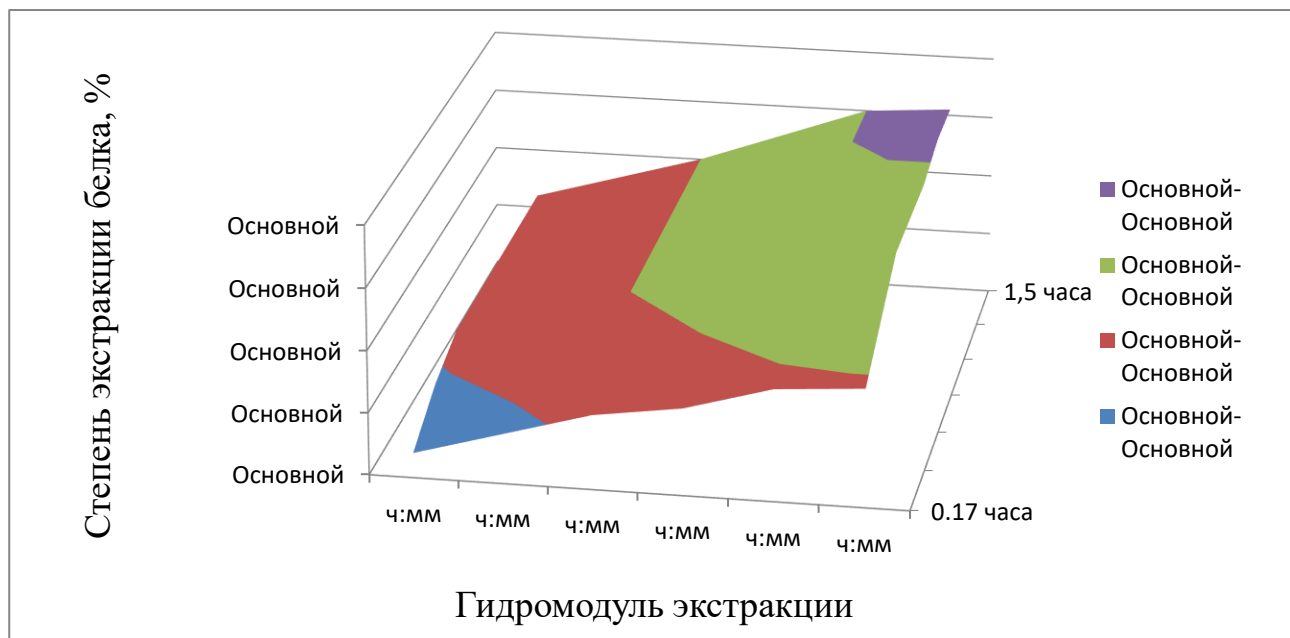


Рисунок 47. Зависимость степени экстракции белка из листьев озимой ржи 0,1 М раствором NaOH от гидро модуля и продолжительности экстракции при температуре 1 °С

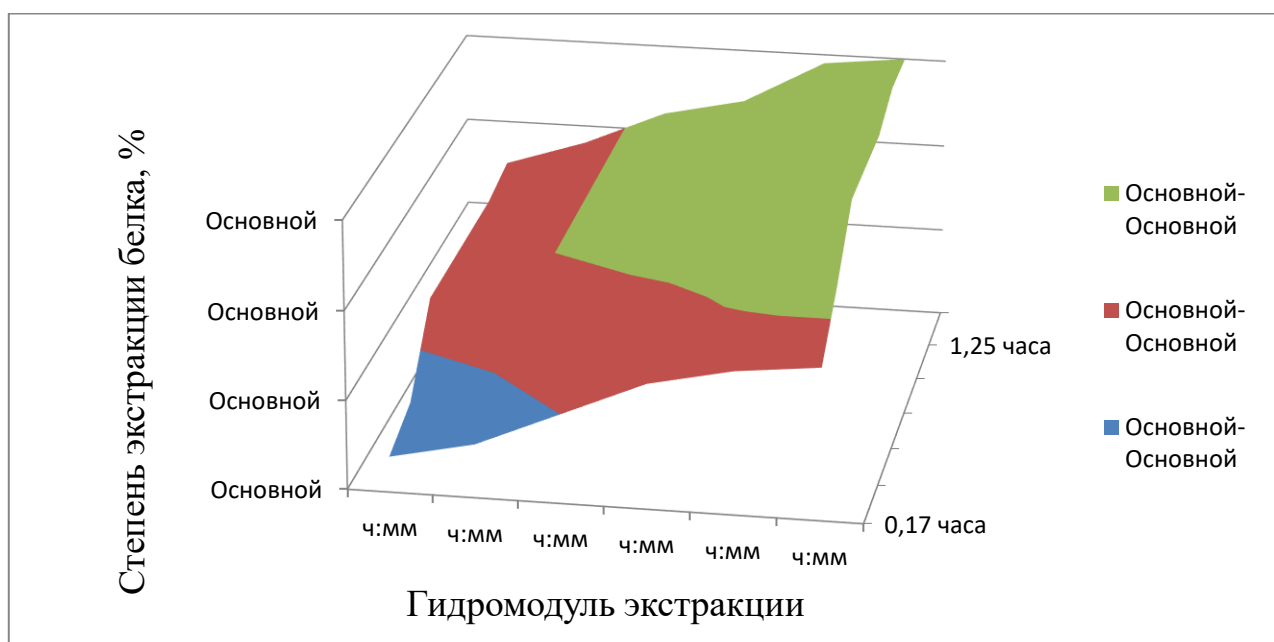


Рисунок 48. Зависимость степени экстракции белка из листьев озимой ржи 0,1 М раствором NaOH от гидро модуля и продолжительности экстракции при температуре 5 °С

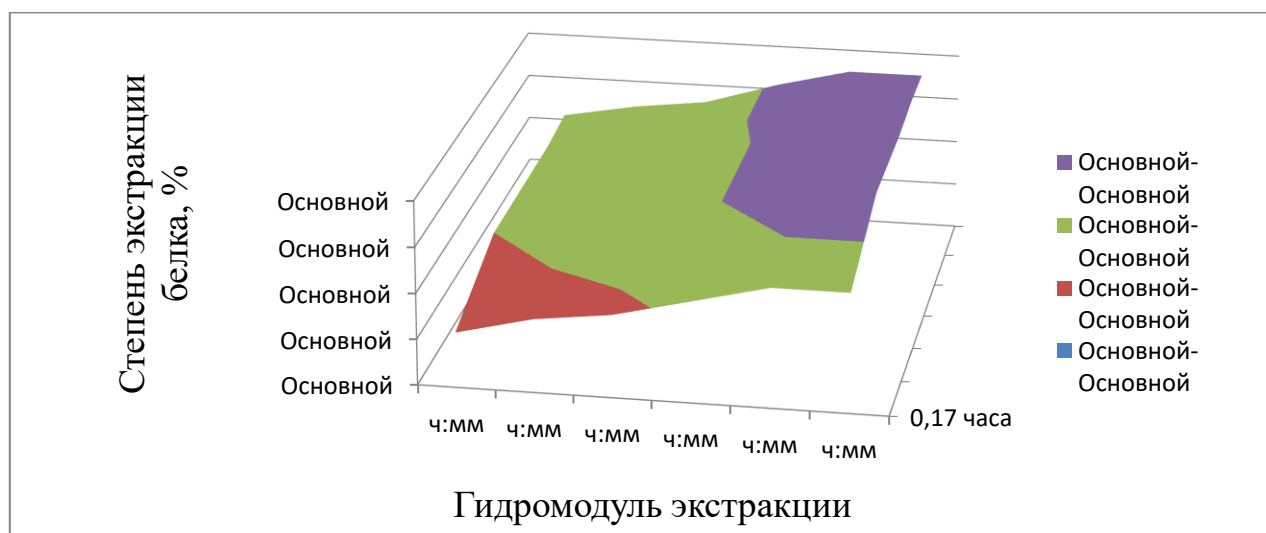


Рисунок 49. Зависимость степени экстракции белка из листьев озимой ржи 0,1 М раствором NaOH от гидро модуля и продолжительности экстракции при температуре 10 °С

Максимальная степень экстракции белка из листьев озимой ржи наблюдалась при температуре 10 °С, гидро модуле экстракции 1:16, продолжительности экстракции 0,5 ч и составила $27,0 \pm 1,1$ % (рисунок 49).

Минимальная степень экстракции составила $19,5 \pm 0,6$ % при температуре экстракции 1°C , гидромодуле 1:16 и времени 0,5 ч (рисунок 47).

На рисунках 50-52 изображены зависимости степени экстракции белка из листьев озимой ржи 0,5 М раствором NaOH от гидромодуля и продолжительности экстракции при температурах 1; 5 и 10°C .

При температуре 1°C , гидромодуле 1:16 и времени 0,5 ч наблюдалась максимальная степень экстракции $23 \pm 1,3\%$ (рисунок 50). При температуре экстракции 5°C наибольшая степень экстракции составила $27 \pm 1,1$ % при гидромодуле 1:16 и времени 0,5 ч (рисунок 51). Максимальная степень экстракции белка из листьев озимой ржи 0,5 М раствором NaOH составила $30 \pm 1,2$ % при температуре 10°C , гидромодуле 1:16 и продолжительности экстракции 0,5 ч (рисунок 52).

На рисунках 53-55 изображены зависимости степени экстракции белка из листьев озимой ржи 1 М раствором NaOH от гидромодуля и продолжительности экстракции при температурах 1; 5 и 10°C .

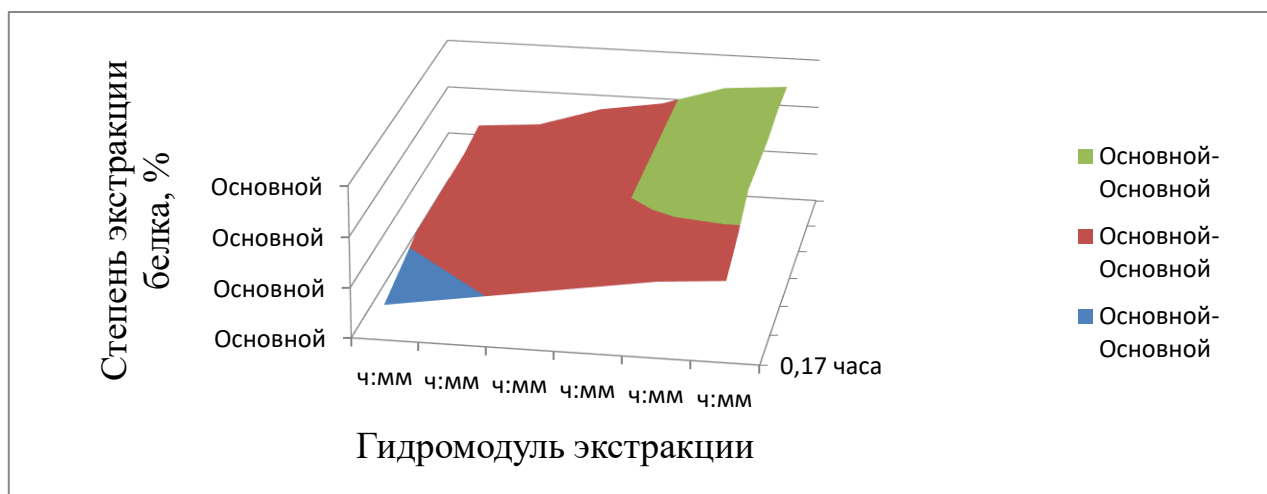


Рисунок 50. Зависимость степени экстракции белка из листьев озимой ржи 0,5 М раствором NaOH от гидромодуля и продолжительности экстракции при температуре 1°C

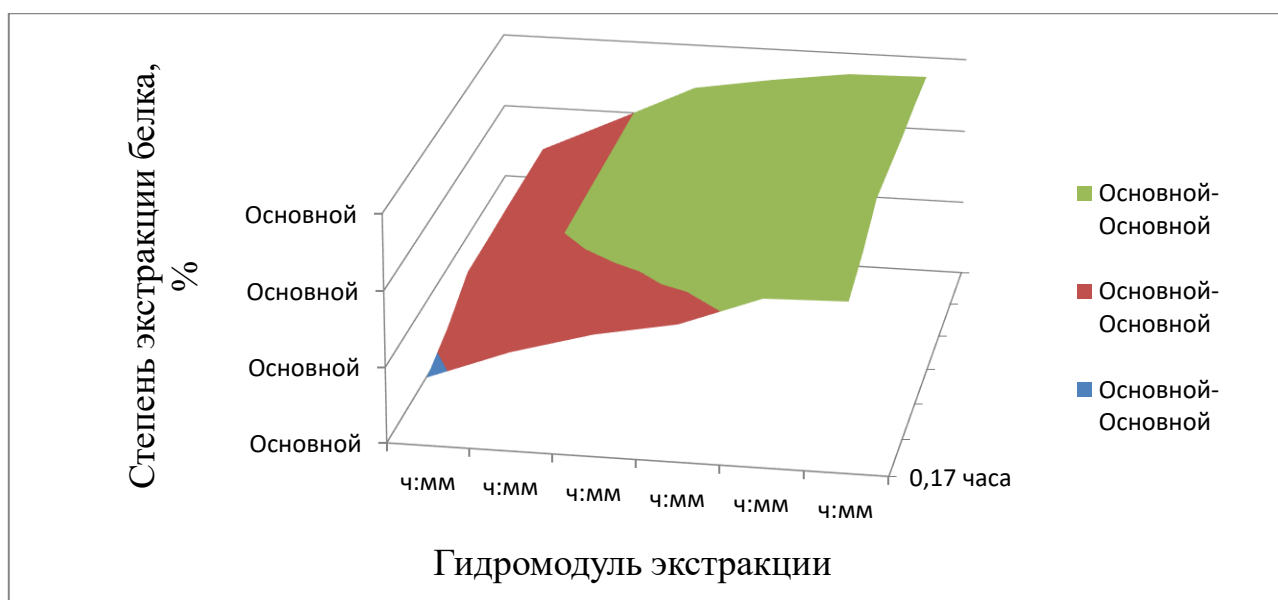


Рисунок 51. Зависимость степени экстракции белка из листьев озимой ржи 0,5 М раствором NaOH от гидромодуля и продолжительности экстракции при температуре 5 °С

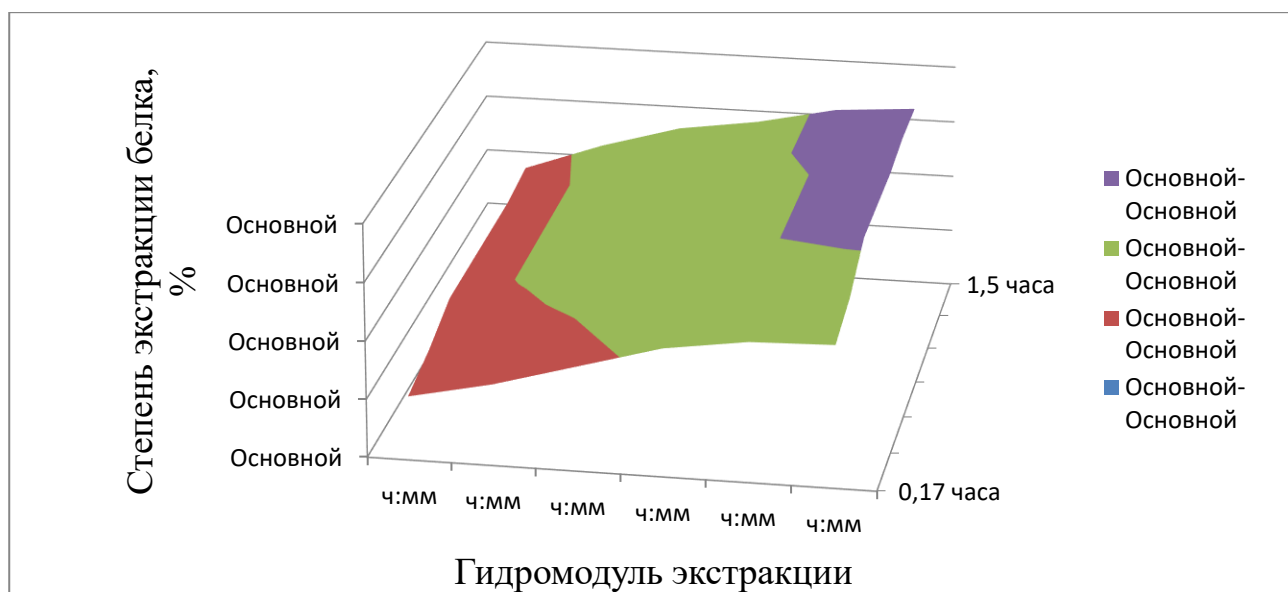


Рисунок 52. Зависимость степени экстракции белка из листьев озимой ржи 0,5 М раствором NaOH от гидромодуля и продолжительности экстракции при температуре 10 °С

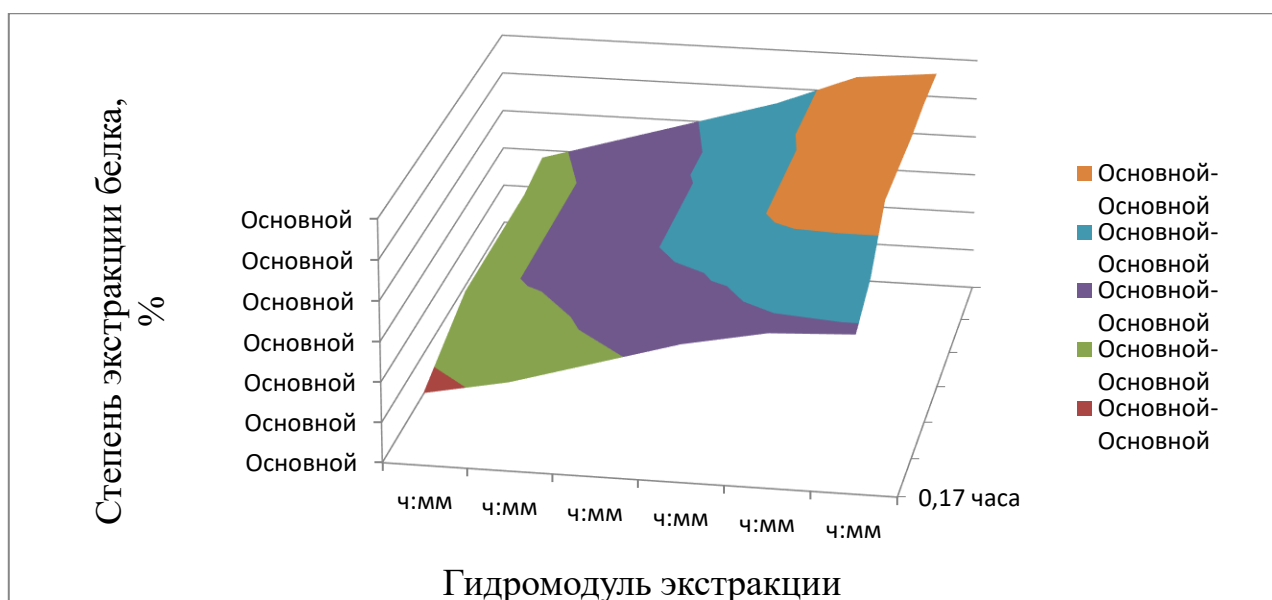


Рисунок 53. Зависимость степени экстракции белка из листьев озимой ржи 1 М раствором NaOH от гидро модуля и продолжительности экстракции при температуре 1 °С

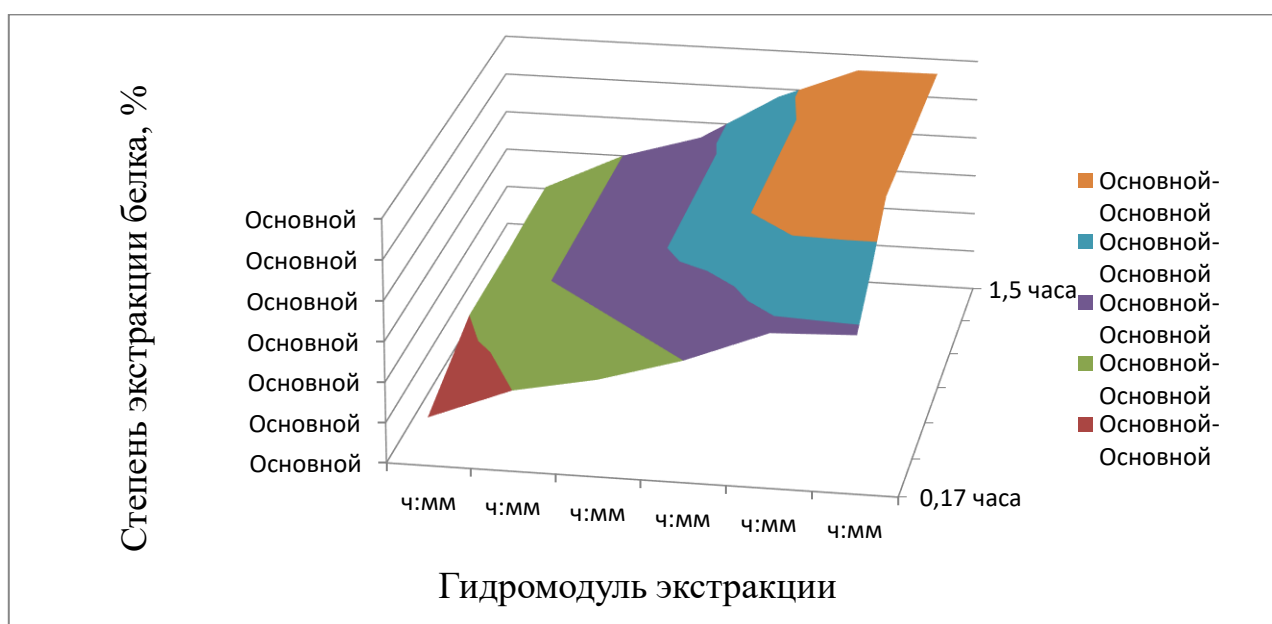


Рисунок 54. Зависимость степени экстракции белка из листьев озимой ржи 1 М раствором NaOH от гидро модуля и продолжительности экстракции при температуре 5 °С

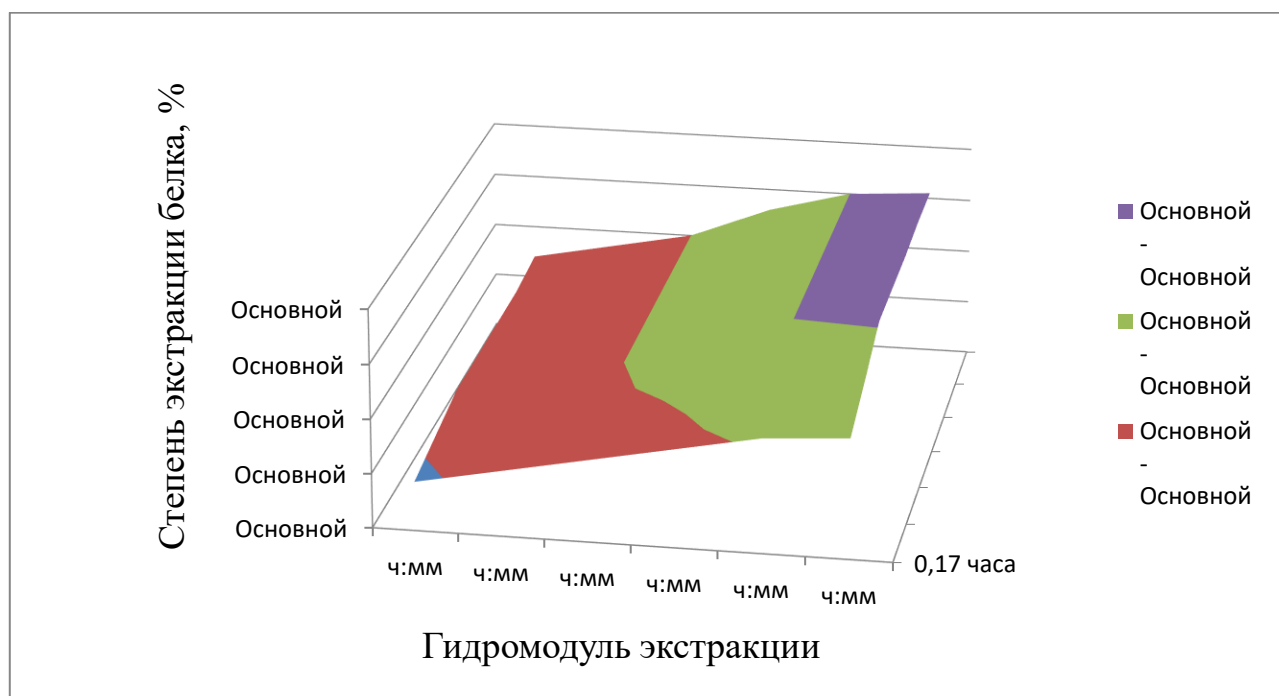


Рисунок 55. Зависимость степени экстракции белка из листьев озимой ржи 1 М раствором NaOH от гидромодуля и продолжительности экстракции при температуре 10 °С

Наибольшая степень экстракции белка из листьев озимой ржи 1 М раствором NaOH $40 \pm 0,8$ % наблюдается при температуре 10 °С, времени 0,5 ч и гидромодуле экстракции 1:16 (рисунок 54). При гидромодуле 1:16, времени 0,5 ч и температуре экстракции 5 °С максимальная степень экстракции составила $38 \pm 1,1$ % (рисунок 55). При тех же самых условиях, но температуре экстракции 1 °С наибольшая степень экстракции белка из листьев озимой ржи составила $32 \pm 0,7$ % (рисунок 53).

В результате проведенных исследований установлены основные рациональные режимы выделения белков, структурирующих лед, из клубней топинамбура и листьев озимой ржи, которые представлены в таблицах 5 и 6.

Были установлены режимы и условия экстракции белков, структурирующих лед, из клубней топинамбура: размер измельченных частиц 0,5 мм, гидромодуль 1:16 температура 10 °С, экстракция 5%-м раствором NaCl в течение 0,5 ч при периодическом перемешивании. Для листьев озимой ржи

режимы и условия экстракции белков, структурирующих лед, составили: размер измельченных частиц 1 мм, гидромодуль 1:16, температура 10 °С, экстракция дистиллированной водой в течение 0,5 ч при периодическом перемешивании.

Степень экстракции белка из клубней топинамбура 5%-м раствором NaCl составила $32,5 \pm 1,2$ %. Степень экстракции белка из листьев озимой ржи водой и 1 М раствором NaOH составила соответственно $30,5 \pm 1,4$ и $40 \pm 0,8$ %.

При экстракции белка из листьев озимой ржи и клубней топинамбура наблюдаются потери белка в связи с тем, что часть белка остается во влажном осадке, выпадающем после центрифугирования. Для предотвращения этого нами проведены исследования трехкратной экстракции белка из растительного сырья. Вторая экстракция заключалась в том, что после первой экстракции и отделения экстракта белка к влажному сырью добавлялся свежий раствор экстрагента объемом, равным количеству удаленного экстракта. Аналогично проводили третью экстракцию.

Экстракцию белков из клубней топинамбура проводили 5%-м раствором NaCl, из листьев озимой ржи – дистиллированной водой и 1 М раствором NaOH. Условия экстракции были следующие: температура экстракции 10 °С, продолжительность экстракции 0,5 ч и гидромодуль 1:16.

На рисунке 56 видно, что вторая экстракция позволила выделить из клубней топинамбура 5%-м раствором NaCl $13,0 \pm 0,8$ % белка, а третья – $6,0 \pm 0,6$ %. Из листьев озимой ржи дистиллированной водой при второй экстракции выделилось $11,0 \pm 0,3$ %-м белка, при третьей – $4,0 \pm 0,5$ %-м. Вторая экстракция белка из листьев озимой ржи 1 М раствором NaOH выделила $16,0 \pm 1,2$ % белка и третья – $9,0 \pm 0,7$ %.

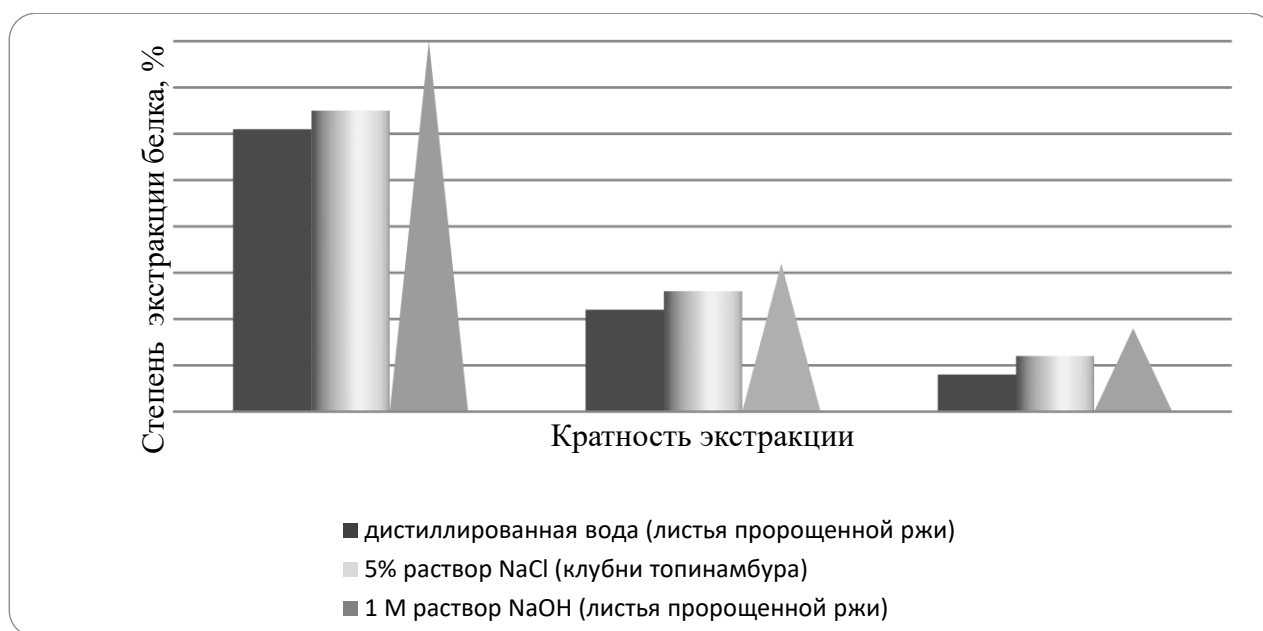


Рисунок 56. Влияние трехкратной экстракции на степень экстракции белка из клубней топинамбура и листьев озимой ржи различными экстрагентами

Установлено, что целесообразно проводить двукратную экстракцию белка из растительного сырья. В результате двукратной экстракции из клубней топинамбура 5%-м раствором NaCl экстрагируется $47,5 \pm 1,5$ белка, а из листьев озимой ржи водой и 1 М раствором NaOH – $49,5 \pm 0,7$ и $65 \pm 1,1$ % белка.

Следующим этапом работы являлось изучение влияния экстрагентов на криопротекторную способность белков, выделенных из клубней топинамбура 5%-м раствором NaCl и озимой ржи дистиллированной водой и 1 М раствором NaOH, микроскопическим методом изучения морфологии кристаллов льда.

Белковые экстракты концентрировали с помощью центрифужного фильтрационного устройства Vivaspin 2. Образцы концентрировались центрифугированием при 8000 об/мин в течение 0,5 ч, проходя через полиэфирсульфоновую мембрану пористостью 0,2 мкм.

В экстрактах изучали процентные распределения кристаллов льда методом микроскопического исследования кристаллов льда. Для исследования готовились модельные образцы и базовые образцы. Модельные образцы

представляли собой раствор выделенного белка, содержащий 30%-й раствор сахарозы. Базовые образцы содержали 30%-й раствор сахарозы. Образцы замораживали до температуры минус 70 °С со скоростью замораживания 30 °С/мин, затем нагревали до температуры минус 6 °С со скоростью нагревания 2 °С/мин. При достижении температуры минус 6 °С проводили микроскопическое исследование размеров сформированных кристаллов льда.

На рисунках 57-59 представлены распределения диаметров кристаллов льда в модельных образцах, содержащих белки, выделенные 5%-м раствором NaCl из клубней топинамбура и дистиллированной водой и 1 М раствором NaOH из листьев озимой ржи.

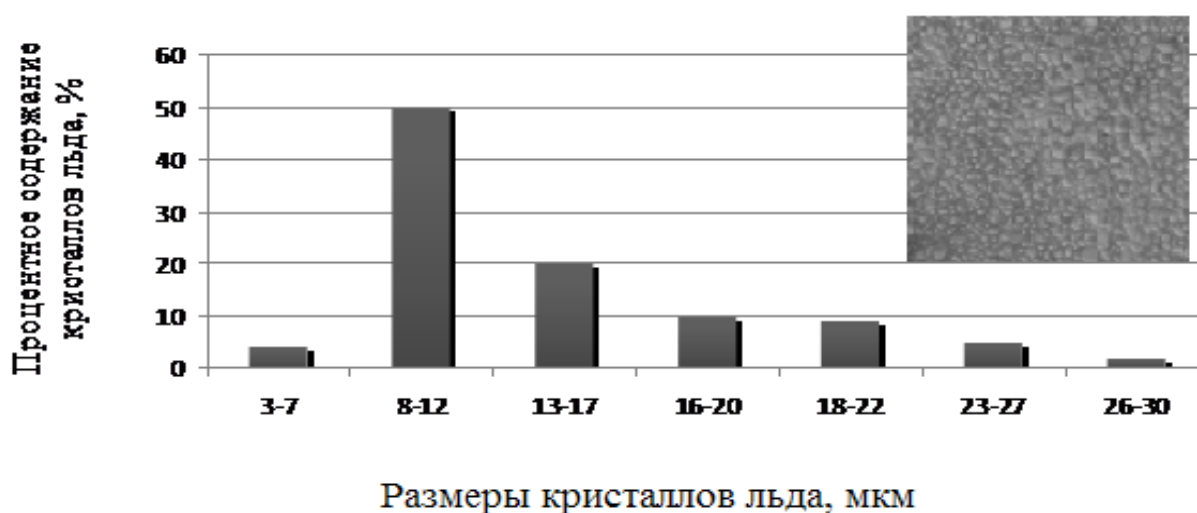


Рисунок 57. Распределение диаметров кристаллов льда в модельном образце, содержащем белки, выделенные 5%-м раствором NaCl из клубней топинамбура

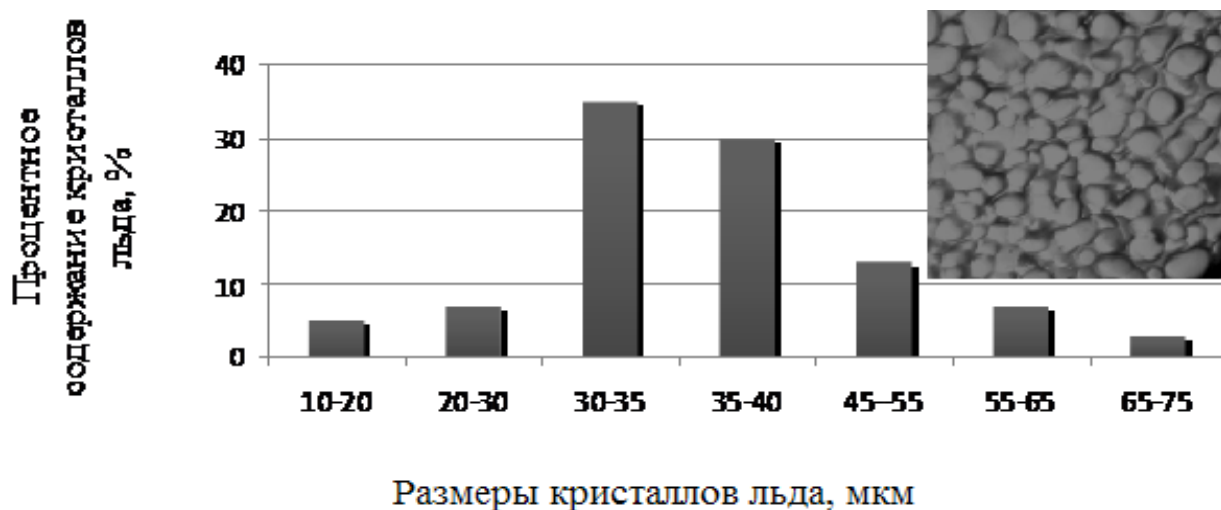


Рисунок 58. Распределение диаметров кристаллов льда в модельном образце, содержащем белки, выделенные 1 М раствором NaOH из листьев озимой ржи

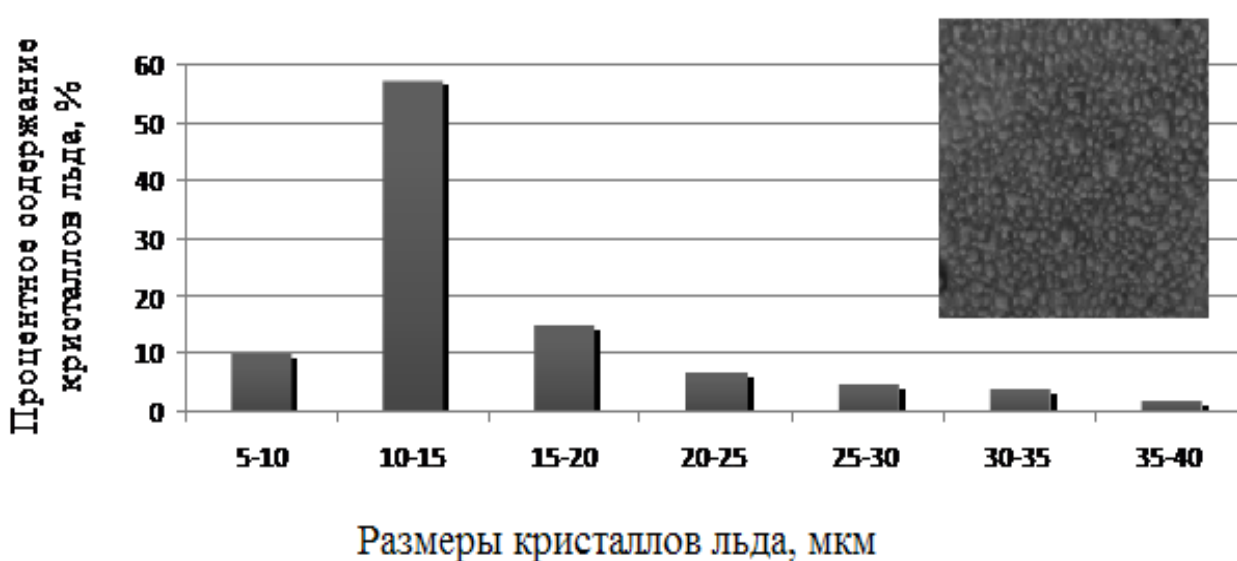


Рисунок 59. Распределение диаметров кристаллов льда в модельном образце, содержащем белки, выделенные дистиллированной водой из листьев озимой ржи

Установлено, что $42 \pm 1,3\%$ кристаллов льда, образованных в 30%-м растворе сахарозы, имели средние размеры 35-45 мкм и $3,0 \pm 0,5$ имели средние минимальные размеры, равные 15-25 мкм (рисунок 56). В модельных образцах, содержащих белки, выделенные 5%-м раствором NaCl из клубней топинамбура,

50,0±0,7 % кристаллов льда имели размеры 8-12 мкм, 2,0±0,4 % – не превышали 26-30 мкм (рисунок 57). В результате сравнения контрольных и модельных образцов, можно сделать вывод, что белки, выделенные из клубней топинамбура 5%-м раствором NaCl, обладают криопротекторной способностью.

На рисунке 58 видно, что 35,0±1,7 % кристаллов льда, образованных в модельных образцах, содержащих белки, выделенные 1 М раствором NaOH из листьев озимой ржи, имели средние размеры 30-35 мкм, что позволяет сделать вывод о потере криопротекторной способности. Тогда как в модельных образцах, содержащих белки, выделенные дистиллированной водой из листьев озимой ржи, средние минимальные размеры кристаллов льда составили 10-15 мкм при максимальном процентном содержании – 57,0±1,4 % (рисунок 59). Полученные данные свидетельствовали о сохранении криопротекторной способности.

Таким образом, криопротекторной способностью обладали белки, выделенные из клубней топинамбура 5%-м раствором NaCl, и белки, выделенные из листьев озимой ржи дистиллированной водой. Белок, выделенный из листьев озимой ржи 1 М раствором NaOH, криопротекторной способностью не обладал предположительно из-за химической деструкции белка, обусловленной воздействием щелочи.

На основании проведенных исследований был разработан способ выделения белков, структурирующих лед, из клубней топинамбура и листьев озимой ржи.

На рисунках 60 и 61 представлены способ выделения белков, структурирующих лед, из клубней топинамбура и листьев озимой ржи.

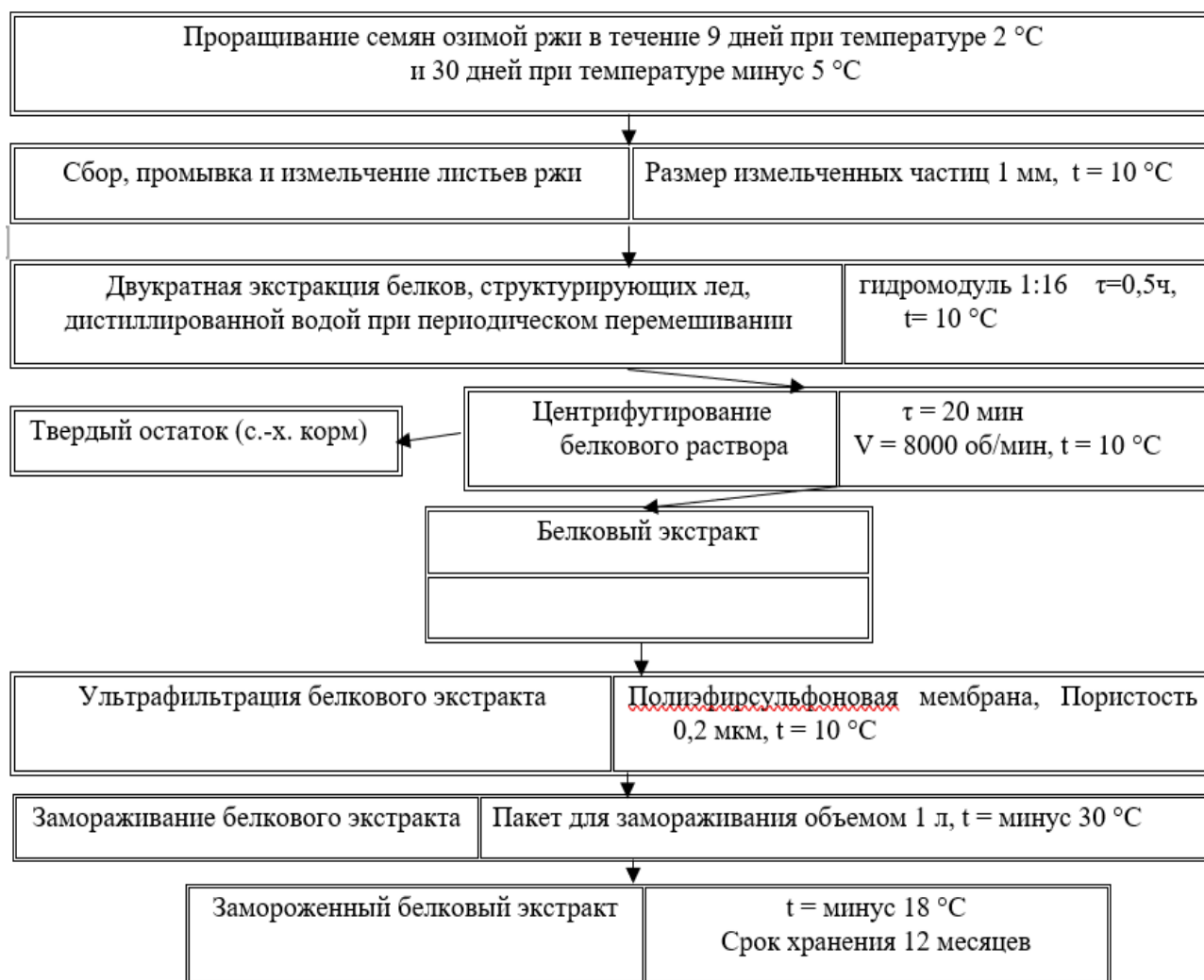


Рисунок 60. Способ выделения белков из листьев озимой ржи

Озимую рожь проращивали в течение 9 дней при температуре 2 °C и 30 дней при температуре минус 5 °C. Затем листья ржи собирали, промывали и измельчали до получения частиц размером 1 мм, двукратно экстрагировали дистиллированной водой при гидромодуле 1:16, температуре 10 °C в течение 0,5 ч при периодическом перемешивании. Полученный белковый раствор центрифугировали при 8000 об/мин в течение 0,33 ч. Затем супернатант подвергали ультрафильтрации при температуре 10 °C через полиэфирсульфоновую мембрану пористостью 0,2 мкм и замораживанию при температуре минус 30 °C.

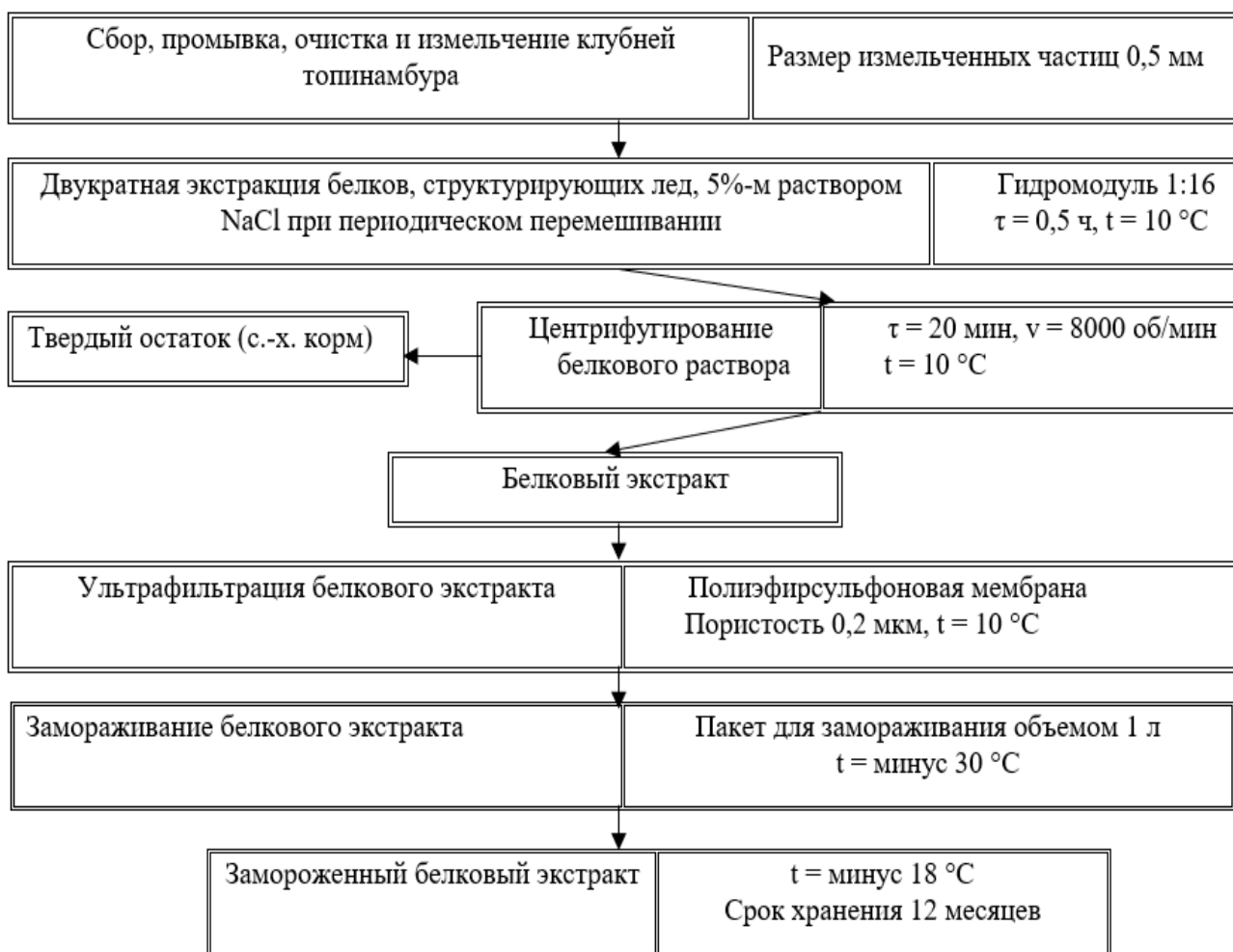


Рисунок 61. Способ выделения белков из клубней топинамбура

Выращенный топинамбур в полевых условиях собирали в период с октября по апрель в бумажные мешки. Далее клубни подвергали очистке и измельчению до получения частиц размером 0,5 мм, двукратно экстрагировали 5%-м раствором NaCl при гидромодуле 1:16, температуре 10 °C в течение 0,5 ч при периодическом перемешивании. Полученный белковый раствор центрифугировали при 8000 об/мин в течение 0,33 ч. Затем супернатант подвергали ультрафильтрации при температуре 10 ± 1 °C через полиэфирсульфоновую мембрану пористостью 0,2 мкм и замораживанию при температуре минус 30 °C.

В таблице 5 представлены показатели качества белковых экстрактов, полученных из клубней топинамбура и листьев озимой ржи

Полученные лабораторные образцы белковых препаратов представляли собой жидкие белковые экстракты без запаха с нейтральным вкусом.

Таблица 5. Показатели качества белковых экстрактов, выделенных из растительного сырья

<i>Показатели качества</i>	<i>Значение показателя в экстрактах:</i>	
	из клубней топинамбура	из листьев озимой ржи
Массовая доля белка, % на с.в. сырья	30,0±0,9	26,6±0,5
Массовая доля жира, % на с.в. сырья	0,50±0,03	0,70±0,04
С.в. экстракта, %	3,0±0,2	2,6±0,1
рН	6,0±0,5	6,1±1,2
Плотность, кг/м ³	1,015±0,050	1,005±0,060
Вязкость, мПа·с	1,21±0,15	1,17±0,10

В таблица 6 представлены микробиологические показатели безопасности белковых экстрактов, выделенных из листьев озимой ржи и клубней топинамбура.

Таблица 6. Микробиологические показатели белковых экстрактов, выделенных из листьев озимой ржи и клубней топинамбура

<i>Наименование показателя</i>		<i>Значение</i>
Количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ), КОЕ/см ³ , г, не		5·10 ⁴ ±1,6
Масса продукта, г, в которой не обнаруживались	БГКП (коли-формы)	0,10±0,02
	<i>S. aureus</i>	0,10±0,01
	Сульфитредуцирующие клостридии	0,10±0,02
	Патогенные, в том числе сальмонеллы	25,0±0,7

В таблице 7 представлены показатели химической и радиологической безопасности (токсичных элементов, микотоксинов, пестицидов и радионуклидов) белковых экстрактов, выделенных из листьев озимой ржи и клубней топинамбура.

Таблица 7. Показатели химической и радиологической безопасности белковых экстрактов, выделенных из листьев озимой ржи и клубней топинамбура

<i>Наименование вещества (элемента)</i>		<i>Значение</i>
Токсичные элементы	Свинец, мг/кг, не более	1,00±0,03
	Мышьяк, мг/кг, не более	1,00±0,01
	Кадмий, мг/кг, не более	0,20±0,05
	Ртуть, мг/кг, не более	0,030±0,001
Микотоксины (афлатоксин В ₁) , мг/кг, не более		0,0050±0,0001
Пестициды	ДДТ и его метаболиты, мг/кг, не более	0,020±0,002
Радионуклиды	Цезий-137, Бк/кг	80,0± 1,5
	Стронций-90, Бк/кг	100,0±1,3

Производство белков, структурирующих лед, из растительного сырья необходимо проводить в условиях биотехнологического завода, так как необходимо наличие специализированной технологической линии в изолированном помещении для предотвращения загрязнения посторонней микрофлорой и улучшения микробиологических показателей.

ГЛАВА 5. НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЕЦЕПТУР И ТЕХНОЛОГИИ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ МОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ

5.1 Исследование совместного влияния структурообразователя и функциональных ингредиентов на структурно-механические свойства молочных систем

Мороженое обладает сложной коллоидной структурой, которая включает пузырьки воздуха, кристаллы льда, кристаллизованные жировые шарики и растворенные в водной среде белки и углеводы. Комбинация, состоящая из воздушных пузырьков, стабилизированных белками, и кристаллизованных жировых шариков, обеспечивает плотную консистенцию и однородную структуру мороженому.

Формирование структуры мороженого начинается уже при изготовлении смеси. В этот период очень важно подобрать структурообразующие компоненты для мороженого [143]. В технологии мороженого применяются следующие гидроколлоиды: камедь рожкового дерева, гуаровая камедь, альгинаты, каррагинан, натрий карбоксиметилцеллюлоза, микрокристаллическая целлюлоза. Каждый из них оказывает специфическое воздействие на консистенцию, структуру, таяние и стабильность мороженого при хранении. Совместное использование гидроколлоидов с взаимно дополняющими свойствами позволяет произвести мороженое высокого качества.

Использование в технологии мороженого эмульгаторов способствует дестабилизации жира и стабилизации структуры мороженого, за счет

образования жировых агломератов, перекрывающих слой между соседними пузырьками воздуха [73].

Основываясь на опыте специалистов ООО «Озерский молочный комбинат» для проведения исследований были выбраны комплексные пищевые добавки Cremodan SE 40 (моно- и диглицериды жирных кислот E471, полиоксиэтилен сорбитан моноолеат, гуаровая камедь E412, каррагинан E407 и альгинат натрия E401) и Денайс 805R (моно- и диглицериды жирных кислот E471, гуаровая камедь E412, камедь рожкового дерева E410, каррагинан E407, камедь тары E417).

Доза внесения добавок в молочное мороженое с содержанием жира менее 4 % составляет 0,055 %, согласно рекомендациям фирмы-изготовителя. Продукт, полученный с применением этого стабилизатора, обладал высокими органолептическими показателями.

Для придания молочному мороженому лечебно-профилактических свойств, повышения пищевой и биологической ценности продукта и регулирования процесса структурообразования мороженого было решено использовать препараты пищевых волокон Vitacel WF 200, WF 400, WF 600, WF 1000, WF 200 G, HF 200.

На первом этапе были исследованы ФТС пищевых волокон. Полученные результаты представлены в таблице 8.

Таблица 8. Основные характеристики препаратов пищевых волокон

Наименование препарата	ВУС, %	pH
Vitacel WF 200	91,0±2,1	6,0±0,2
Vitacel HF 401	89,0±2,0	6,1±0,3
Vitacel WF 600	87,0±1,8	6,2±0,2
Vitacel WF 1000	85,0±2,0	6,3±0,2
Vitacel WF 200 G	88,0±1,9	6,3±0,1
Vitacel HF 200	92,0±2,1	6,3±0,1

Из таблице 8 видно, что наименьшее значение ВУС составило $85,0 \pm 2,0$ % для препарата Vitacel WF 1000, а наибольшие – $92,0 \pm 2,1$ % для препарата Vitacel HF 200 и $91,0 \pm 2,1$ % для препарата Vitacel WF 200.

Значения pH пищевых волокон позволяет использовать их в молочных смесях мороженого.

Можно предположить, что препараты пищевых волокон Vitacel HF 200 и Vitacel WF 200 окажут значительное влияние на вязкость смеси молочного мороженого и взбитость при наличии высоких значений ВУС. Таким образом, необходимо исследовать возможность частичной замены стабилизаторов Cremodan SE 40 и Денайс 805R препаратами пищевых волокон Vitacel HF 200 и Vitacel WF 200.

Определяющими факторами выбора дозы стабилизатора и его частичной замены препаратами пищевых волокон являлись структурно-механические показатели мороженого.

В связи с этим были проведены исследования влияния различных доз стабилизаторов Cremodan SE 40 и Денайс 805R на динамическую вязкость смеси молочного мороженого и взбитость. В качестве исследуемых доз структурообразователя Cremodan SE 40 взяты дозы в интервале от 0,02 до 0,055 с шагом 0,05 %.

Результаты исследований изменения динамической вязкости и взбитости смеси молочного мороженого с использованием стабилизаторов Cremodan SE 40 и Денайс 805R представлены в таблице 9. Выбранные температуры исследования вязкости 40, 65, 85 °C соответствовали температурам смешивания, перевода стабилизационных систем в активное состояние и пастеризации.

Анализ данных таблице 9 показал, что динамическая вязкость увеличивается пропорционально дозам стабилизаторов Cremodan SE 40 и Денайс 805R и уменьшается при повышении температуры.

Таблица 9. Изменение динамической вязкости смеси мороженого при различных температурных режимах технологической обработки и взбитости смеси мороженого от дозы стабилизатора

Доза стабилизатора, %	Стабилизатор Cremodan SE 40				Стабилизатор Денайс 805R			
	Динамическая вязкость, мПа·с, при температуре			Взбитость, %	Динамическая вязкость, мПа·с, при температуре			Взбитость, %
	40 °С	65 °С	85 °С		40 °С	65 °С	85 °С	
0,02	20,8±1,5	15,9±1,4	13,1±1,2	54,0±1,3	18,0±0,6	14,0±0,9	12,0±0,7	50,0±0,5
0,025	22,1±1,2	16,6±1,6	15,1±1,6	60,0±1,2	18,7±0,8	14,9±1,0	13,0±0,8	55,0±0,7
0,03	24,3±1,7	17,8±1,3	16,8±1,3	63,0±1,5	19,7±0,5	15,5±0,8	14,5±0,9	59,0±0,9
0,035	25,1±1,2	18,9±1,7	17,5±2,0	65,0±1,2	21,0±0,7	16,3±0,9	15,7±0,6	62,0±0,6
0,04	26,2±1,4	20,1±1,2	18,9±1,5	69,0±1,7	23,0±0,9	18,0±0,7	16,9±0,8	65,0±0,7
0,045	27,1±1,6	21,3±1,5	20,1±1,3	73,0±1,5	25,0±1,0	19,0±0,8	18,0±0,9	69,0±0,5
0,05	28,8±1,1	22,9±1,2	21,0±1,4	76,0±1,3	26,7±0,6	20,0±0,7	19,0±0,6	72,0±0,9
0,055	30,1±2	23,8±1,3	21,9±1,1	80,0±1,4	28,0±0,8	21,5±0,6	20,7±0,7	75,0±1,0

Взбитость мороженого при увеличении дозы стабилизатора увеличивается. Наилучшими результатами обладал стабилизатор Cremodan SE 40. Дальнейшее исследование проводилось с данным стабилизатором.

Следующим этапом исследований явилось определение дозы и стадии введения препаратов пищевых волокон в молочную смесь мороженого.

За основу была взята рецептура молочного мороженого, которая содержала молоко коровье цельное (жира 3,2 %; СОМО 8,1 %) – 625 кг, молоко коровье сухое обезжиренное (СОМО 95 %) – 45,7 кг, сахар – песок – 160 кг, стабилизатор Cremodan SE 40 – 0,055 кг, ванилин – 0,1 кг и воду – 168,6 кг. По химическому составу молочное мороженое имело следующие показатели: содержание жира не менее 2 %, содержание сахарозы не менее 16 % и общее содержание сухих веществ не менее 30 %.

Процесс составления смеси был следующим. Смесь воды и цельного коровьего молока подогревали до температуры 40...45 °С. Сухое обезжиренное молоко, пищевые волокна и стабилизатор для более полного и быстрого

растворения тщательно перемешивали с предварительно просеянным сахаром-песком (на две части сухого молока бралась одна часть сахарного песка). Затем эту смесь сыпучих компонентов вводили в смесь воды и цельного коровьего молока. Далее для обеспечения необходимого санитарного состояния продукта и хорошего растворения компонентов смесь пастеризовали при температуре 85 °С с выдержкой 50 ± 5 с. Затем смесь гомогенизировали, охлаждали до температуры 4 °С, фризеровали.

Дозы пищевых волокон, вносимых в смесь мороженого, были выбраны от 0,5 до 3,0 % с шагом 0,5 %. Доза стабилизатора – от 0,035 до 0,055 % с шагом 0,1 %. В качестве контролируемых реологических параметров использовали динамическую вязкость и взбитость.

На рисунках 62 и 63 представлены зависимости взбитости молочной смеси от дозы пищевого волокна Vitacel WF 200, HF 200 и стабилизатора Cremodan SE 40.

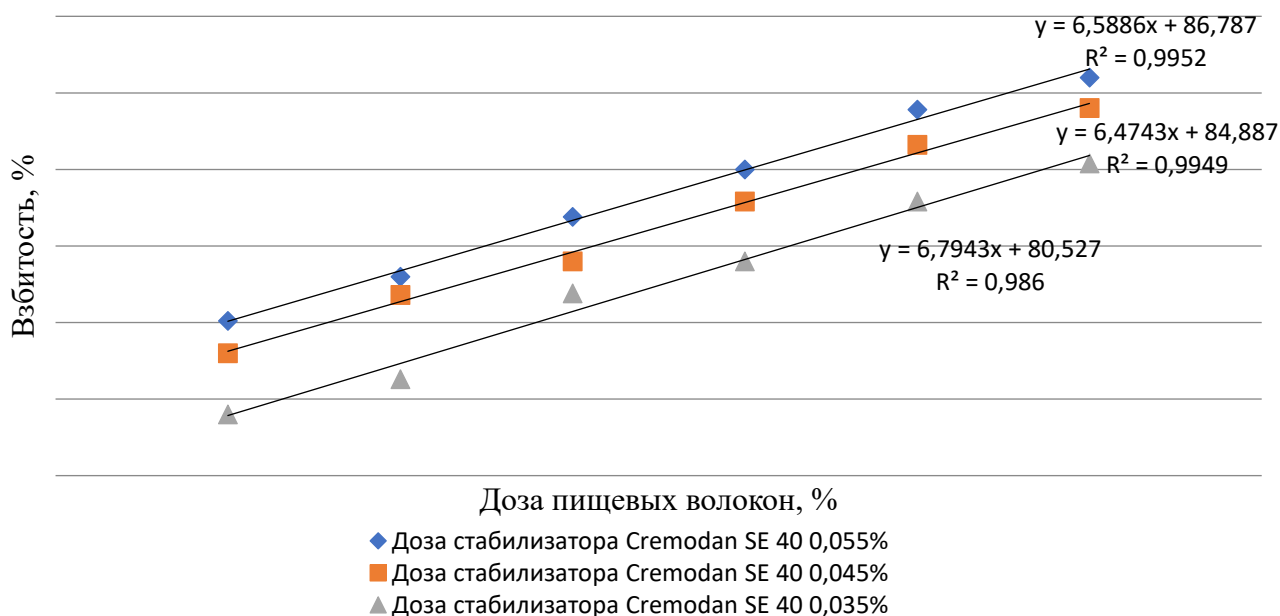


Рисунок 62. Изменение взбитости молочной смеси мороженого от дозы пищевого волокна Vitacel WF 200 и стабилизатора Cremodan SE 40

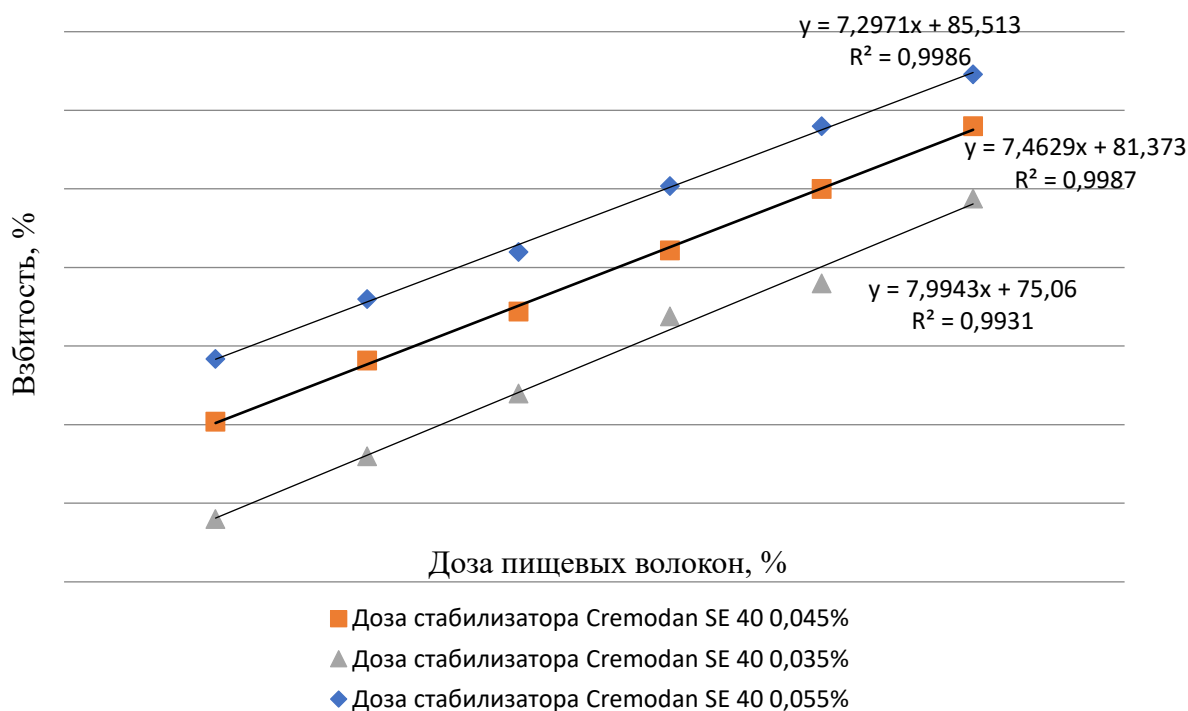


Рисунок 63. Изменение показателя взбитости молочного мороженого от дозы пищевого волокна Vitacel HF 200 и стабилизатора Cremodan SE 40

Из полученных результатов можно сделать вывод, что пищевые волокна при добавлении в молочную смесь в процессе фризирования увеличивают взбитость мороженого. Согласно ГОСТ Р 52175-2003 «Мороженое молочное, сливочное и пломбир. Технические условия», взбитость мороженого на молочной основе должна находиться в пределах 80 ± 5 . В результате проведенных исследований этому граничному показателю соответствовала доза пищевых волокон Vitacel WF 200 от 0,5 до 1 % и доза пищевых волокон Vitacel HF 200 от 0,5 до 1,5 % при содержании стабилизатора Cremodan SE 40 0,035 % соответственно (рисунки 62 и 63).

Далее были проведены исследования динамической вязкости молочной смеси мороженого с содержанием пищевых волокон Vitacel WF 200 от 0,5 до 1,5 % и Vitacel HF 200 от 0,5 до 1,5 %. Результаты представлены на рисунке 64.

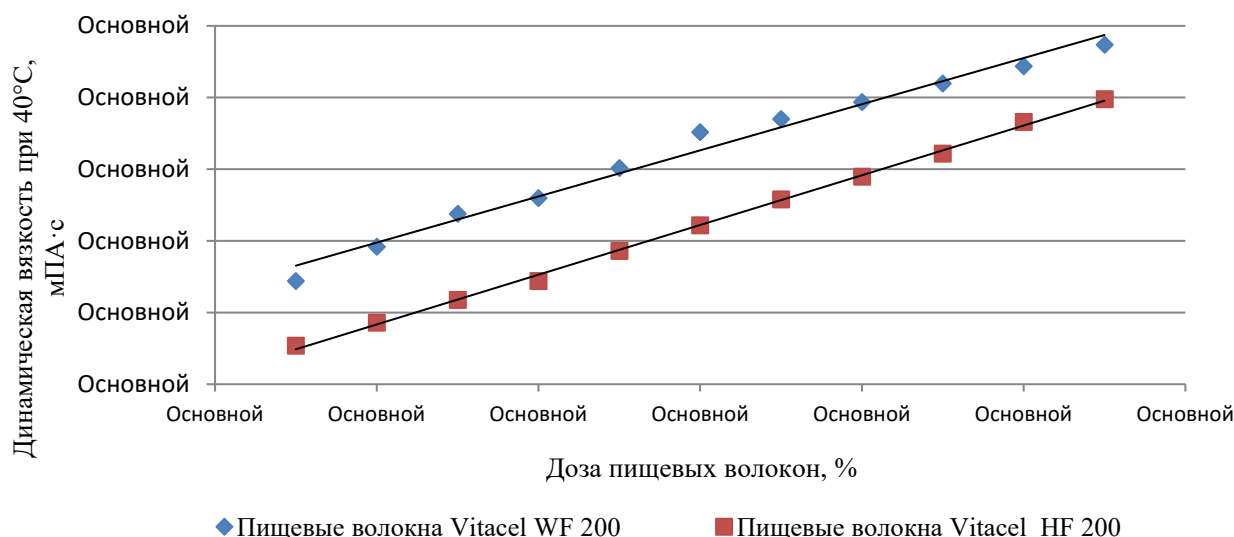


Рисунок 64. Изменение динамической вязкости смеси мороженого от доз внесения пищевых волокон Vitacel WF 200 и Vitacel HF 200

Динамическая вязкость при 40 °С для молочного мороженого должна составлять 30 ± 5 мПа·с [145]. На рисунке 64 видно, что динамическая вязкость увеличивается пропорционально дозе пищевых волокон. Граничным условиям вязкости смеси молочного мороженого соответствуют диапазоны доз внесения пищевых волокон Vitacel WF 200 от 0,7 до 0,9 % и Vitacel HF 200 – от 1 до 1,3 %.

В результате органолептической оценки образцов установлено, что молочная смесь, содержащая пищевое волокно Vitacel HF 200, обладала наилучшими свойствами: вкус и запах чистые, структура однородная и цвет, характерный для молочного вида мороженого.

В результате обработки данных полного факторного эксперимента получено уравнение регрессии (7), адекватно описывающее зависимость изменения взбитости мороженого от дозы стабилизатора и дозы пищевого волокна Vitacel HF 200:

$$Z = 29,8 + 10,62x + 1753,1y - 0,2x^2 - 67,5xy - 13222,2y^2, \quad (7)$$

где Z – взбитость мороженого, %;

x – доза ПВ, %;

y – доза стабилизатора, %.

С целью получения закономерностей структурообразования и возможных сочетаний в рецептуре продукта стабилизатора и пищевого волокна Vitacel HF 200 были построены графики поверхности отклика выходных параметров (рисунки 65, 66), обозначена область возможных сочетаний и граничные условия показателя желаемой взбитости.

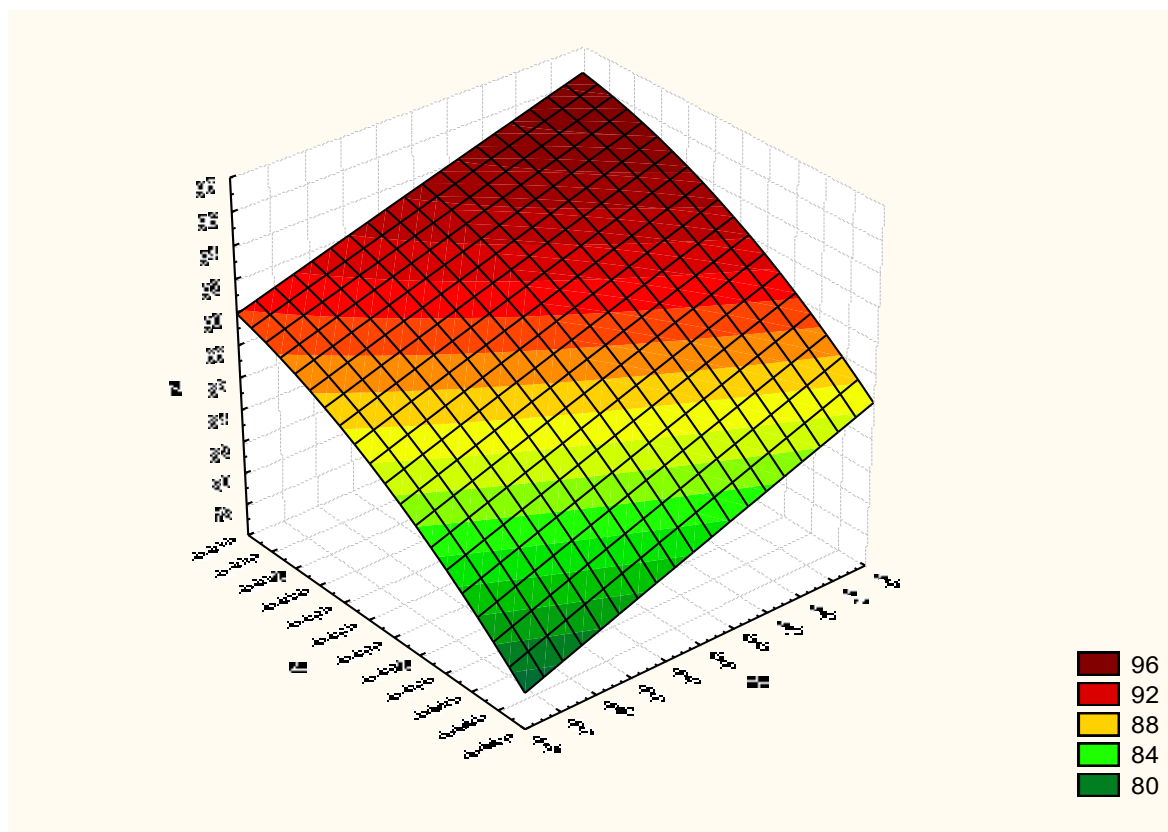


Рисунок 65. Поверхность отклика влияния доз стабилизатора Cremodan SE 40 и пищевых волокон Vitacel HF 200 на взбитость мороженого

Анализ полученной математической модели процесса образования структуры в мороженом показывает, что значительным фактором, влияющим на выходные данные, является доза пищевых волокон. Квадратичные эффекты и межфакторные взаимодействия обусловлены влиянием как дозы пищевого волокна Vitacel HF 200, так и дозы стабилизатора. Полученные изолинии сечений поверхности отклика позволили определить при наличии граничных условий сочетание доз стабилизатора и пищевого волокна.

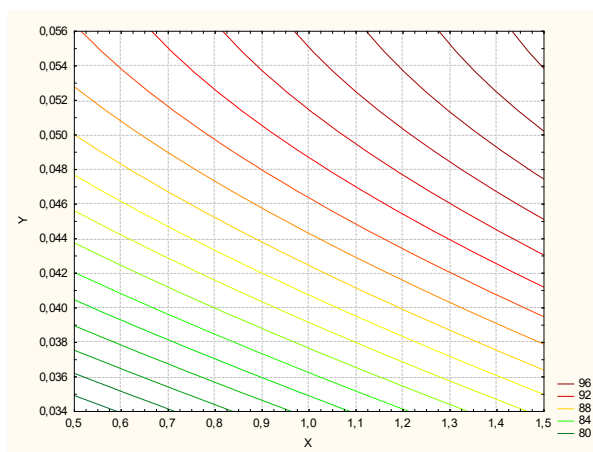


Рисунок 66. Изолинии сечений поверхностей отклика влияния доз стабилизатора Cremodan SE 40 и пищевых волокон Vitacel HF 200 на взбитость мороженого

Нормируемый показатель взбитости мороженого 84 % обеспечивался сочетанием дозы стабилизатора Cremodan SE 40 равной 0,034 % и дозы пищевого волокна Vitacel HF 200 – 1,2 %.

На молочное мороженое с пищевыми волокнами Vitacel HF 200 (далее мороженое) разработана и утверждена техническая документация (ТУ 9228–059–02068640, ТИ ТУ 9228-001-02068640).

5.2 Научное обоснование рациональной дозы и этапа внесения функциональных компонентов в молочные системы

Цель данного этапа работы заключалась в определении дозы и стадии введения экстрактов белков, структурирующих лед, выделенных из клубней топинамбура и листьев озимой ржи в мороженое с целью повышения органолептических показателей.

Мороженое содержало следующие ингредиенты: молоко коровье цельное (жира – 3,2 %; СОМО – 8,1 %), молоко коровье сухое обезжиренное (СОМО – 95 %), сахар-песок, комплексную пищевую добавку Cremodan SE 40, пищевые волокна Vitacel HF 200, ванилин и воду.

Согласно ТИ 9228-059-02068640 «Технологическая инструкция по производству молочного мороженого» процесс производства мороженого включал: приемку, хранение и подготовку сырья, приготовление смеси при температуре 35...40 °С, фильтрование смеси при температуре 60 °С, пастеризацию смеси при температуре 80...85 °С в течение 15...20 с, гомогенизацию смеси при температуре 65 °С при давлении гомогенизации 12,5...15 МПа, охлаждение смеси до температуры 4±2 °С, созревание и хранение смеси при температуре 4±2 °С не менее 4 ч, фризирование смеси при температуре минус 4 °С, фасование мороженого, упаковку, маркировку и закаливание мороженого при температуре минус 40...45 °С в морозильных туннелях непрерывного действия.

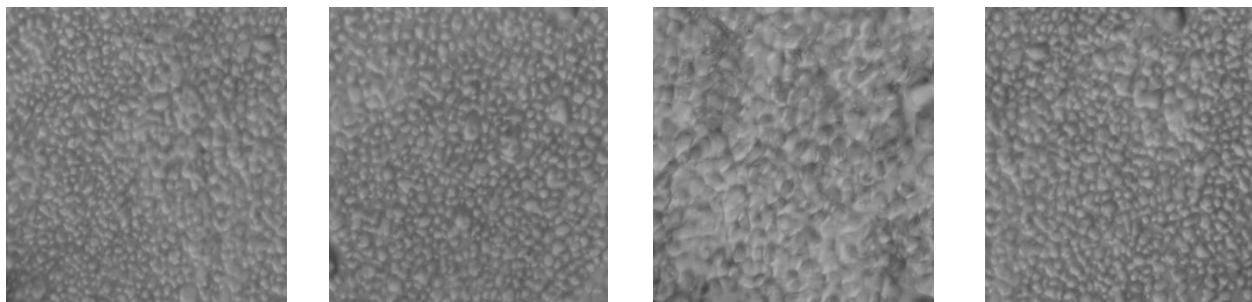
Задачей исследования являлось определение стадии введения экстрактов белков, структурирующих лед, в мороженое.

Проведено исследование влияния температуры пастеризации на криопротекторную способность экстрактов белков, структурирующих лед, выделенных из клубней топинамбура и листьев озимой ржи. Модельные образцы, содержащие экстракты белков, структурирующих лед, выделенных из клубней топинамбура и листьев озимой ржи подвергали нагреванию до температуры 80 °С и выдержке в течение 20 с (рисунок 67).

Установлено, что пастеризация при указанных условиях не снижает криопротекторной способности экстрактов белков, выделенных из клубней топинамбура и листьев озимой ржи (рисунок 67).

Таким образом, введение экстрактов белков, структурирующих лед, в молочное мороженое целесообразно проводить на стадии составления смеси.

При производстве мороженого процессом замораживания необходимо управлять, чтобы получить кристаллы льда с необходимой дисперсностью. Мороженое обладает однородной консистенцией, если основная масса кристаллов имеет размер менее 50 мкм. Если кристаллы льда будут очень крупными (более 100 мкм), мороженое будет обладать грубой и льдистой структурой [71].



А

Б

В

Г

Рисунок 67. Микроструктура кристаллов льда при увеличении $\times 400$:

А и В - модельные образцы, содержащие экстракты белков, структурирующих лед, выделенных из клубней топинамбура, не подвергнутые и подвергнутые пастеризации соответственно; Б и Г – модельные образцы, содержащие экстракты белков, структурирующих лед, выделенных из листьев озимой ржи, не подвергнутые и подвергнутые пастеризации соответственно.

Следующей задачей исследования являлось изучение распределения кристаллов льда в мороженом и мороженом с экстрактами белков, структурирующих лед.

На основе данных немногочисленных исследований в этой области и собственных предположений диапазон внесения белков, структурирующих лед, в мороженое составляет от 0,00005 до 0,3 %. Наиболее предпочтительным является диапазон от 0,0001 до 0,2 % [146].

Нами был выбран диапазон внесения белков от 0,01 до 0,11 с шагом 0,02 %. На рисунках 68-70 представлены процентные распределения диаметров кристаллов льда в мороженом и мороженом с экстрактами белков, структурирующих лед, выделенными из листьев озимой ржи и клубней топинамбура.

На основании полученных данных были определены рациональные дозы внесения экстрактов белков, структурирующих лед, выделенных из растительного сырья, в мороженое, обеспечивающие получение органолептически неощутимых кристаллов льда (рисунки 69, 70).

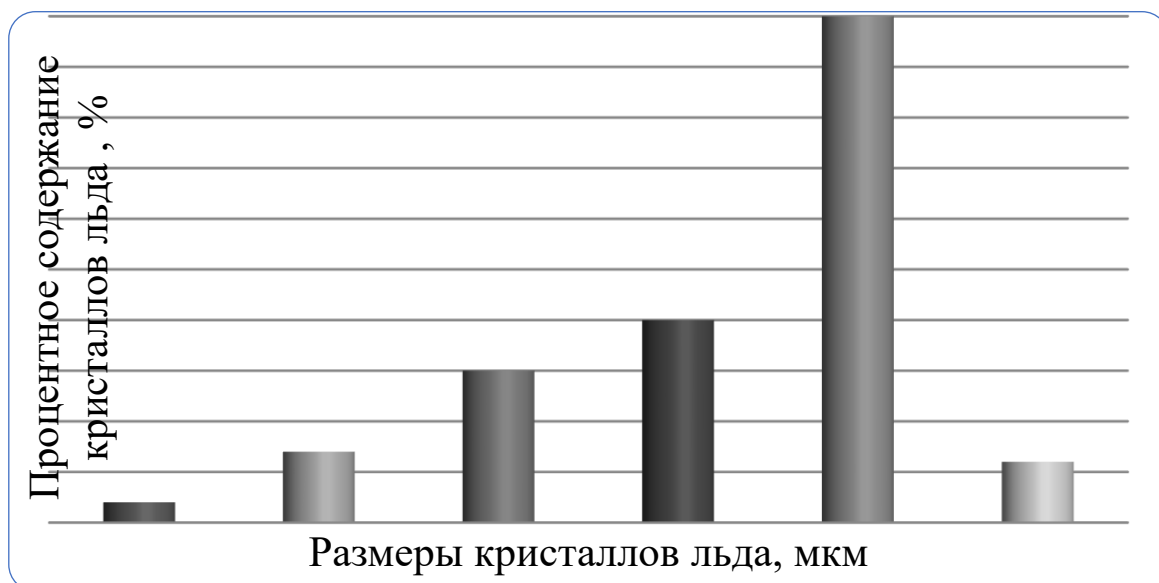


Рисунок 68. Распределение диаметров кристаллов льда в молочном мороженом с пищевыми волокнами Vitacel HF 200

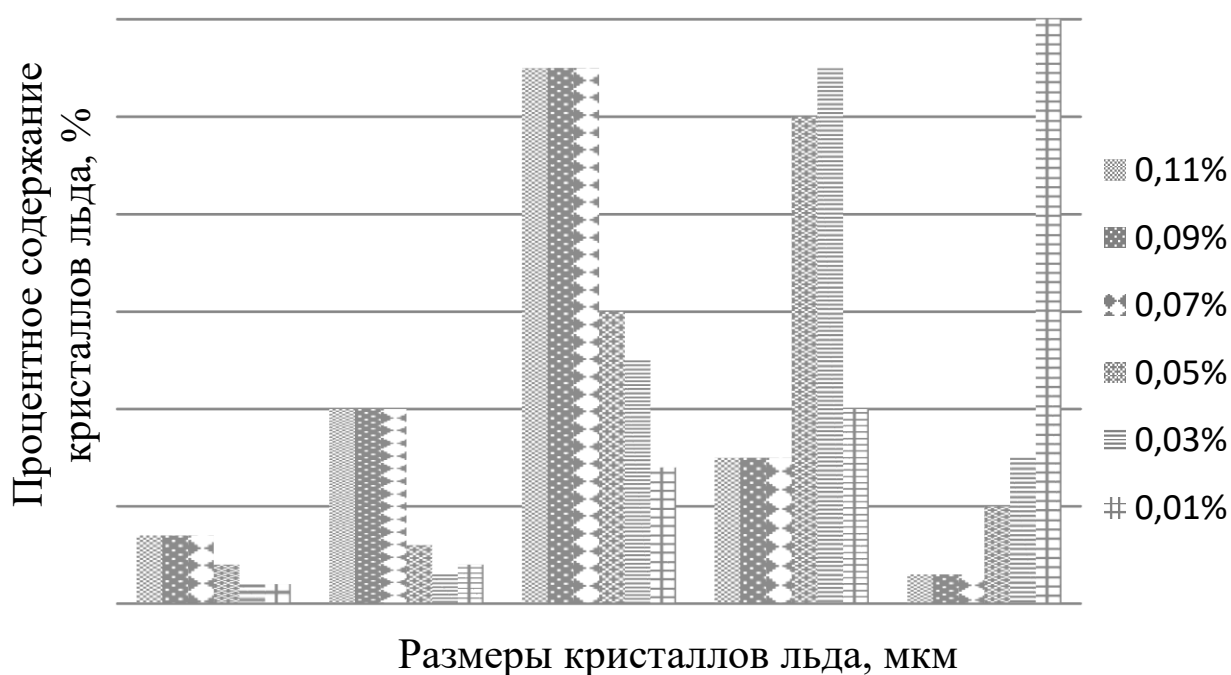


Рисунок 69. Распределение размеров кристаллов льда в мороженом с экстрактом белков, структурирующих лед, выделенных из клубней топинамбура

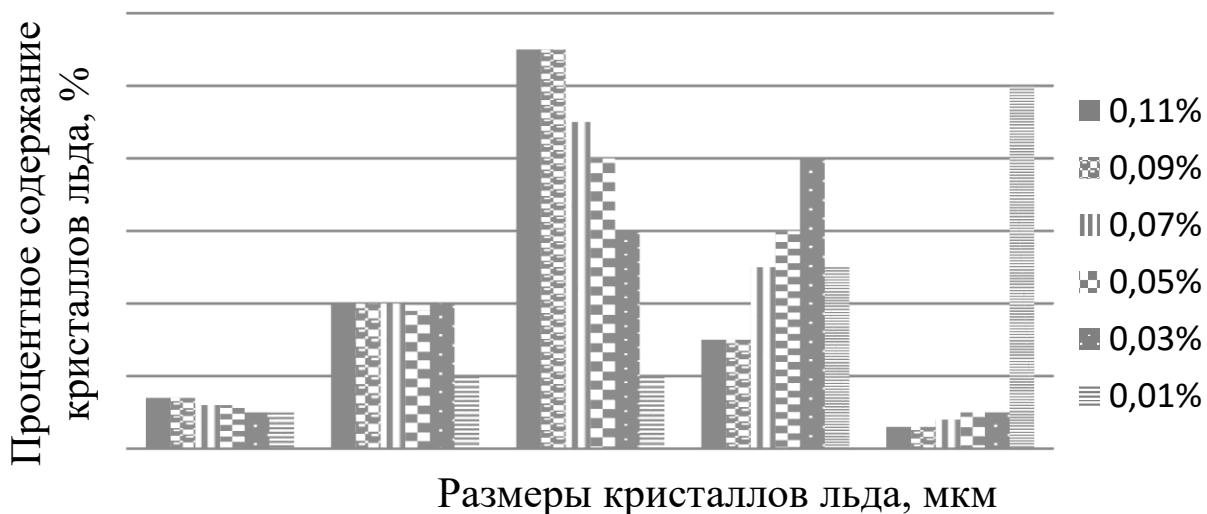
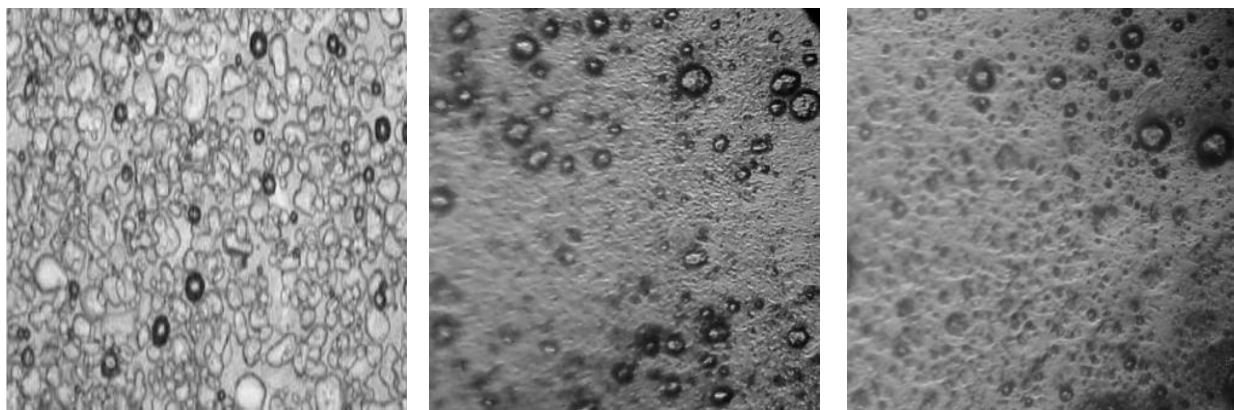


Рисунок 70. Распределение размеров кристаллов льда в мороженом с экстрактом белков, структурирующих лед, выделенных из листьев озимой ржи

Доза внесения экстракта белков, структурирующих лед, полученных из клубней топинамбура, составила 0,07 %. Данная доза обеспечивала получение кристаллов льда после закаливания мороженого размерами 16-20 мкм при процентном содержании $60 \pm 0,8$ % (рисунок 69). Рациональная доза внесения экстракта белков, выделенных из листьев озимой ржи, составила 0,09 %. Данная доза обеспечивала получение в мороженом после закаливания кристаллов размерами 18-25 мкм при процентном содержании $55,0 \pm 1,4$ % (рисунок 70). Тогда как в контрольном образце после закаливания $50,0 \pm 1,6$ % кристаллов льда имели размеры 35-40 мкм (рисунок 68).

На рисунке 80 представлена микроструктура кристаллов льда, образованных в мороженом, мороженом с экстрактами белков, структурирующих лед, выделенными из листьев озимой ржи, дозой 0,09 % и мороженом с экстрактом белков, структурирующих лед, выделенными из клубней топинамбура, дозой 0,07 %.



А

Б

В

Рисунок 71. Микроструктура кристаллов льда при увеличении $\times 400$:

А – контрольный образец, Б - мороженое с экстрактом белков структурирующих лед, выделенными из клубней топинамбура, дозой 0,07 %, В - мороженое с экстрактом белков, структурирующих лед, выделенными из листьев озимой ржи, дозой 0,09 %

На рисунке 71 видно, что кристаллы льда, образованные в образцах мороженого с экстрактами белков, структурирующих лед, выделенными из клубней топинамбура и листьев озимой ржи, имеют меньшие размеры по сравнению с контрольным образцом.

Срок годности мороженого, согласно ГОСТ Р 52175-2003 «Мороженое молочное, сливочное и пломбир. Технические условия», составляет 6 месяцев при температуре минус 18 °С. Проведены исследования распределения размеров кристаллов льда в контрольном образце и мороженом с рациональными дозами экстрактов белков, структурирующих лед, в конце срока годности.

На рисунках 72-74 представлены процентные распределения диаметров кристаллов льда в мороженом и мороженом с экстрактами белков, структурирующих лед, выделенных из листьев озимой ржи и клубней топинамбура, на конец срока годности.

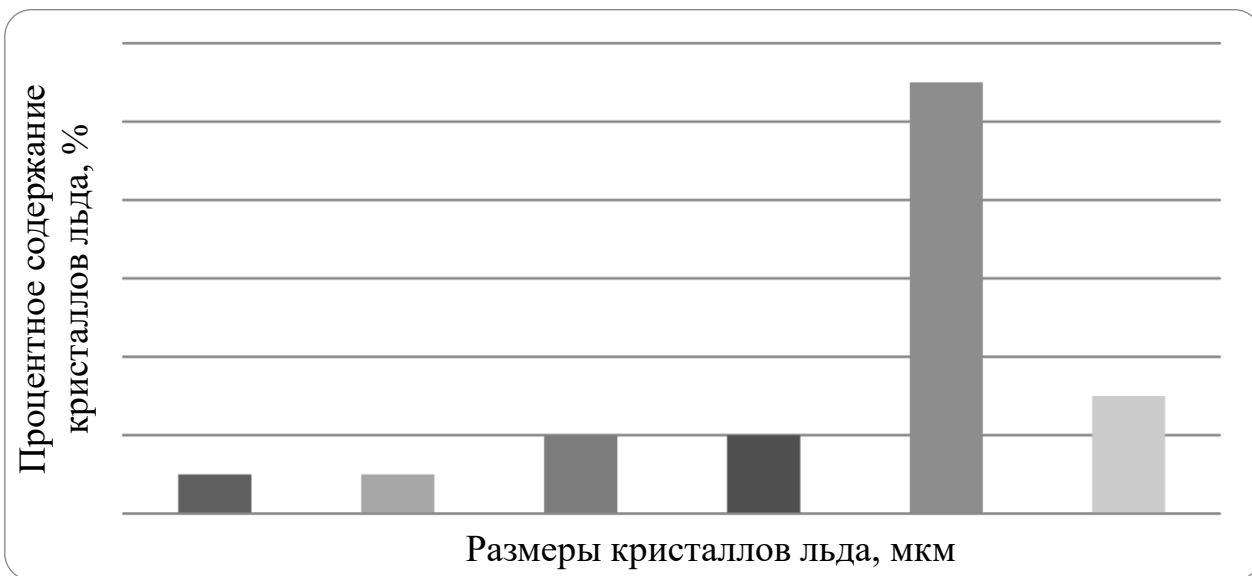


Рисунок 72. Распределение диаметров кристаллов льда в контрольном образце на конец срока годности

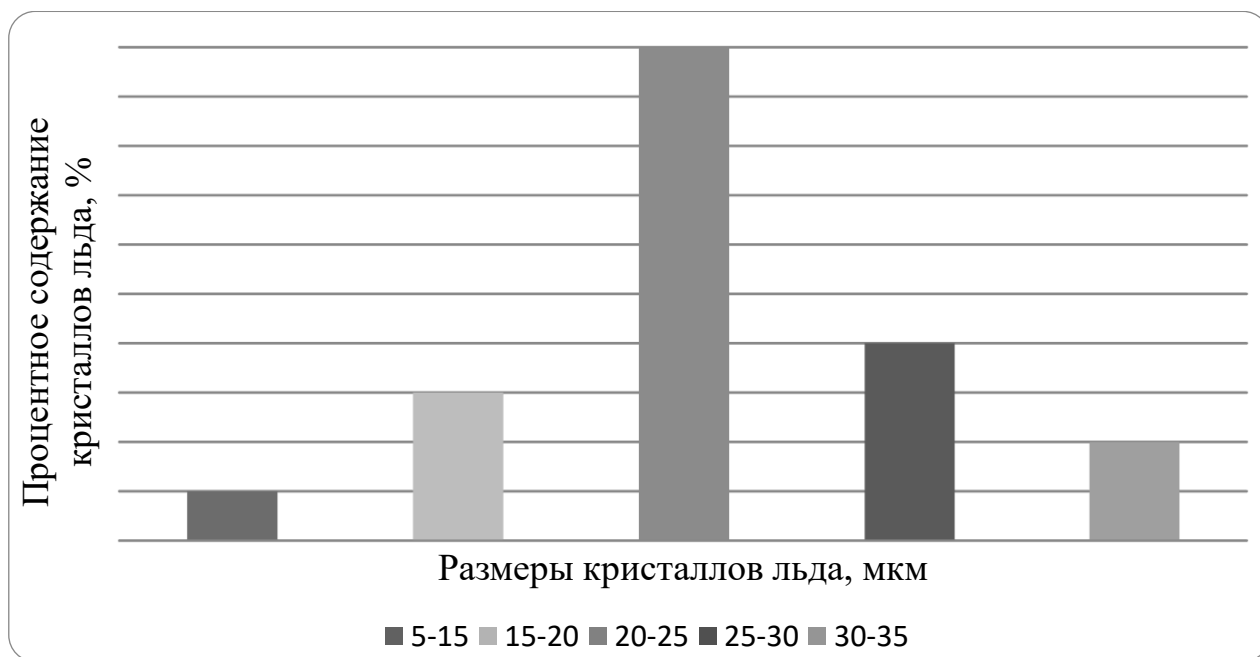


Рисунок 73. Распределение размеров кристаллов льда в мороженом с экстрактом белков, полученных из клубней топинамбура, на конец срока годности

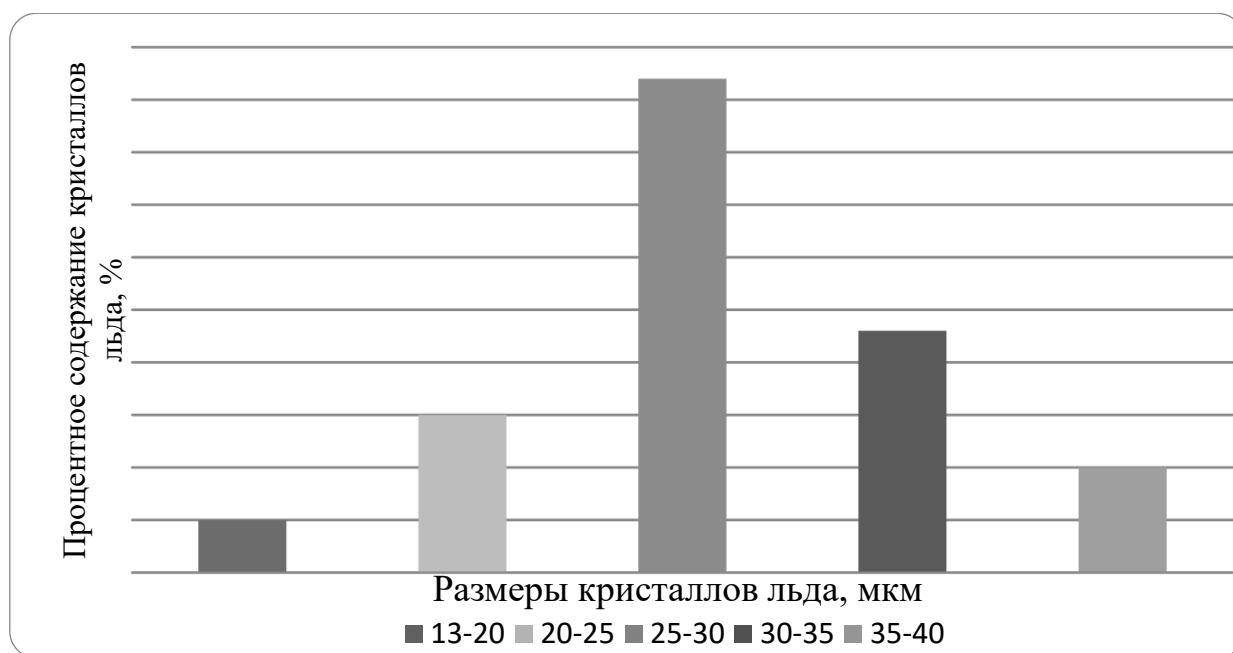


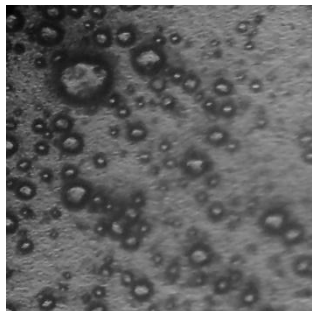
Рисунок 74. Распределение размеров кристаллов льда в мороженом с экстрактом белков, полученных из листьев озимой ржи на конец срока годности

Размеры кристаллов льда в контроле в конце срока годности составили 45-50 мкм при процентном содержании $55 \pm 1,2$ %.

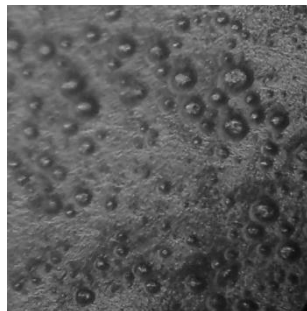
Тогда как в мороженом с экстрактом белков, выделенных из клубней топинамбура, $50 \pm 0,7$ % кристаллов льда имели размеры 20-25 мкм, а в мороженом с экстрактом белков, выделенных из листьев озимой ржи, $47 \pm 1,6$ % кристаллов льда обладали размерами 25-30 мкм.

На рисунке 75 представлены фотографии кристаллов льда, образованных в конце срока годности контрольного образца, мороженого с экстрактом белков, структурирующих лед, выделенными из листьев озимой ржи, дозой 0,09 % и мороженого с экстрактом белков, структурирующих лед, выделенных из клубней топинамбура, дозой 0,07 %.

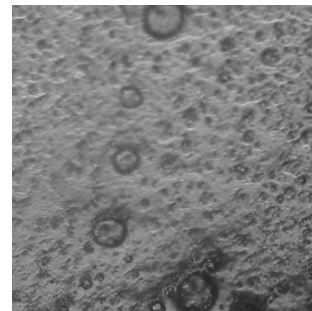
На рисунке 84 видно, что кристаллы льда, образованные в контрольном образце имеют большие размеры по сравнению с образцами мороженого с экстрактами белков, структурирующих лед, выделенных из клубней топинамбура и листьев озимой ржи.



А



Б



В

Рисунок 75. Микроструктура кристаллов льда при увеличении x400:

А – контрольный образец; Б - мороженое с экстрактом белков структурирующих лед, выделенных из клубней топинамбура, дозой 0,07 %; (В) - мороженое с экстрактом белков, структурирующих лед, выделенных из листьев озимой ржи, дозой 0,09 %.

Таким образом, рациональные дозы внесения в мороженое экстрактов белков, структурирующих лед, выделенных из клубней топинамбура и листьев озимой ржи, составили соответственно 0,07 и 0,09 %. Внесение белка проводится при составлении смеси мороженого.

5.3. Исследование влияние функциональных компонентов на органолептические показатели качества замороженных молочных продуктов

Согласно ГОСТ Р 52175-2003 «Мороженое молочное, сливочное и пломбир. Технические условия» молочное мороженое по органолептическим показателям должно обладать чистым вкусом и запахом, характерным для данного вида мороженого, без посторонних привкусов и запахов; однородной, без ощутимых комочков жира, стабилизатора и эмульгатора, кристаллов льда, частичек белка и лактозы структурой и плотной консистенцией [147]. При производстве мороженого рецептура продукта, технологический процесс изготовления, условия хранения и реализации должны минимизировать

размеры кристаллов льда и их дальнейший рост, для того чтобы препятствовать развитию порока слабоснежистая структура. Введение белков, структурирующих лед, в рецептуру мороженого с целью снижения размеров кристаллов льда и их дальнейшего роста позволяет произвести изделие более высокого качества для потребителей [71].

Целью исследования являлось изучение органолептических показателей мороженого с экстрактами белков, структурирующих лед, выделенных из клубней топинамбура и листьев озимой ржи.

Диапазон внесения экстрактов белков составил от 0,01 до 0,11 % с шагом 0,02 %.

Дегустационная оценка молочного мороженого, содержащего белки, структурирующие лед, проводилась профессиональной производственной экспертной группой, состоящей из 5 человек согласно ГОСТ Р 52175-2003.

Среди основных составляющих качества молочного мороженого с белками, структурирующими лед, были выбраны следующие показатели:

- характеризующие вкус и запах: чистый, характерный для данного вида мороженого, без посторонних привкусов и запахов; растительный привкус; молочный;

- характеризующие консистенцию и структуру: плотная, однородная, не снежистая, без ощутимых кристаллов льда, резиноподобная.

Все составляющие качества оценивались по пятибалльной шкале.

На рисунках 76 и 77 представлены профилограммы мороженого с экстрактами белков, структурирующих лед, полученными из листьев озимой ржи и клубней топинамбура.

По органолептическим показателям наивысшими оценками обладало мороженое с экстрактом белков, структурирующих лед, полученных из клубней топинамбура, дозой 0,07 % и экстрактом белков, структурирующих лед, выделенных из листьев озимой ржи, дозой 0,09 %.

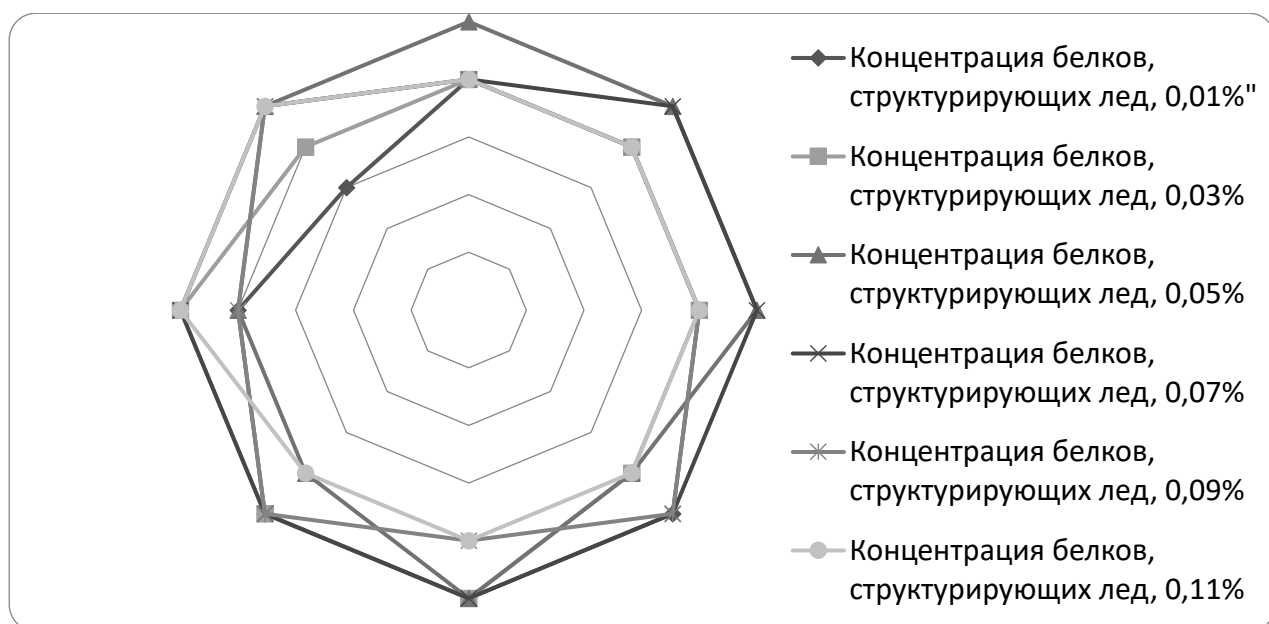


Рисунок 76. Профилограмма мороженого с экстрактом белков, структурирующих лед, полученных из клубней топинамбура

1 - плотная,

2 - резиноподобная,

3 - рыхлая,

4 - молочный вкус,

5 - растительный привкус,

6 - молочный запах

7 - ароматическая нота

8 - наличие кристаллов льда



Рисунок 77. Профилограмма мороженого с экстрактом белков, структурирующих лед, полученных из листьев озимой ржи

5.4. Исследование влияние функциональных компонентов на реологические показатели качества замороженных молочных продуктов

Мороженое обладает сложной коллоидной структурой, которая включает пузырьки воздуха, кристаллы льда, кристаллизованные жировые шарики и растворенные в водной среде белки, и углеводы. Комбинация, состоящая из воздушных пузырьков, стабилизированных белками, и кристаллизованных жировых шариков, обеспечивает плотную консистенцию и однородную структуру мороженому. Также существенное влияние на структуру мороженого оказывают размеры кристаллов льда. Гладкая консистенция мороженого может быть достигнута равномерно распределенными мелкими кристаллами льда. Для объективной оценки консистенции мороженого использовали инструментальный метод, основанный на измерении предельного напряжения сдвига с помощью пенетрометра.

Целью исследования являлось изучение влияния дозы экстракта белков, структурирующих лед, выделенных из клубней топинамбура и листьев озимой ржи, на предельное напряжение сдвига (ПНС) мороженого. ПНС определяли с помощью динамического пенетрометра в пробах мороженого отобранных каждый месяц в течение срока годности. Взбитость мороженого составила 84 % и срок годности 6 месяцев при температуре минус 18 °С.

Диапазон внесения экстракта белков, структурирующих лед, составил от 0,01 до 0,11 % с шагом 0,02 %.

Реологические характеристики мороженого с экстрактами белков, структурирующих, приведены в таблицах 10 и 11.

В таблицах 10 и 11 видно, что ПНС контрольного образца после закаливания составило $33,5 \pm 0,8$ кПа, а на конец срока годности $44,6 \pm 1,2$ кПа, что свидетельствует о росте кристаллов льда в процессе хранения и уплотнении консистенции продукта.

Таблица 10. Изменение ПНС мороженого от дозы экстракта белков, структурирующих лед, выделенных из клубней топинамбура, и срока годности

Срок годности	Доза экстракта белков, структурирующих лед, выделенных из клубней топинамбура, %						
	0	0,01	0,03	0,05	0,07	0,09	0,11
	ПНС, кПа						
После заливания	33,5±0,8	33±1,2	32,7±0,6	32,5±0,9	32,0±0,5	31,9±0,6	31,9±0,5
1 месяц	34,5±0,9	34,1±1,1	33,8±0,9	33±1	32,5±0,7	32,4±1,0	32,4±0,7
2 месяц	36,4±1,0	35,9±1,0	34,3±1,0	33,5±1,3	32,7±0,9	32,6±1,1	32,7±0,8
3 месяц	38,7±0,7	37,2±0,6	34,7±1,2	33,9±1,1	32,7±1,0	32,7±0,8	32,7±0,4
4 месяц	40,1±0,6	38,9±0,7	35,0±0,6	34,3±0,6	32,7±0,4	32,7±0,7	32,8±0,9
5 месяц	42,2±1,1	41,5±0,7	35,4±0,8	34,8±0,8	32,7±0,8	32,8±0,8	32,8±0,7
6 месяц	44,6±1,2	43,2±0,8	35,9±1,1	35,0±0,9	32,8±0,7	32,8±0,5	32,8±0,6

Таблица 11. Изменение ПНС мороженого от дозы экстракта белков, структурирующих лед, выделенных из листьев озимой ржи, и срока годности

Срок годности	Доза экстракта белков, структурирующих лед, выделенных из листьев озимой ржи, %						
	0	0,01	0,03	0,05	0,07	0,09	0,11
	ПНС, кПа						
После заливания	33,5±0,8	32±1,2	31,7±0,6	31,3±0,9	31,2±0,5	31,2±0,6	31,2±0,6
1 месяц	34,5±0,9	33±0,7	31,8±1,1	31,7±1,2	32,0±0,9	31,2±1,2	31,2±1,2
2 месяц	36,4±1,0	34±1	32,4±1,2	32,3±1,0	32,3±0,6	31,1±1,3	31,1±1,4
3 месяц	38,7±0,7	36,0±0,9	33,2±1,1	33,0±1,4	32,7±1,1	31,2±0,7	31,2±0,9
4 месяц	40,1±0,6	37,2±0,4	33,9±0,8	33,7±0,7	33,0±0,7	31,1±0,9	31,2±0,4
5 месяц	42,2±1,1	39,4±0,8	34,5±0,8	34,0±0,4	33,7±0,4	31,2±0,6	31,2±0,6
6 месяц	44,6±1,2	41,2±0,7	35,0±1,4	34,7±1,0	34,0±0,8	31,1±0,7	31,2±0,8

При внесении 0,07 % экстракта белков, структурирующих лед, выделенных из клубней топинамбура, в молочное мороженое ПНС после закаливания продукта составило $32 \pm 0,5$ кПа и на конец срока годности $32,8 \pm 0,7$ кПа. При внесении 0,09 % экстракта белков, структурирующих лед, выделенных из листьев озимой ржи, ПНС составило после закаливания $31 \pm 0,6$ кПа и на конец срока годности $31,1 \pm 0,7$ кПа. Данный факт позволил сделать вывод, что доза экстракта белков, структурирующих лед, выделенных из клубней топинамбура, 0,07 % и доза экстракта белков, выделенных из листьев озимой ржи, 0,09 % способствуют снижению роста кристаллов льда в молочном мороженом в процессе хранения. Дальнейшее увеличение вносимой дозы экстракта белков, структурирующих лед, выделенных из клубней топинамбура и листьев озимой ржи, не привело к снижению ПНС.

Таким образом, можно сделать вывод, что внесение экстрактов белков, структурирующих лед, выделенных из клубней топинамбура и листьев озимой ржи, способствует образованию мелкокристаллической структуры в мороженом и препятствует уплотнению продукта в процессе хранения.

5.5. Исследование показателей качества разработанных молочных продуктов с функциональными компонентами

Был проведен анализ физико-химических, микробиологических показателей и показателей химической и радиологической безопасности в мороженом, мороженом с экстрактом белков, структурирующих лед, выделенных из клубней топинамбура, дозой 0,07 %, и мороженом с экстрактом белков, структурирующих лед, выделенных из листьев озимой ржи, дозой 0,09 % после закаливания.

Микробиологические показатели, показатели химической и радиологической безопасности (токсичных элементов, микотоксинов, антибиотиков, пестицидов и радионуклидов) в мороженом не должны

превышать допустимые уровни, установленные в ТР ТС 033-2013 «О безопасности молочка и молочной продукции».

По физико-химическим показателям продукт должен соответствовать требованиям, прописанным в технических условиях.

Результаты исследования представлены в таблицах 12, 13 и 14.

Таблица 12. Физико-химические показатели мороженого

Показатель	Норма	Фактические значения	
		Мороженое с экстрактом белков, структурирующих лед, выделенных из клубней топинамбура	Мороженое с экстрактом белков, структурирующих лед, выделенных из листьев озимой ржи
Массовая доля молочного жира, %	не более 2,0	2,0±0,5	2,0±0,4
Массовая доля сухих веществ, %, не менее	28,0	28,0±1,1	28,0±1,3
Массовая доля СОМО, %	10,0	10,0±0,7	10,0±0,7
Массовая доля сахарозы, %, не менее	15,5	15,5±0,6	15,5±0,5
Взбитость, %	от 60 до 90	85,0±1,2	85,0±1,1
Кислотность, Т°, не более	23	23,0±1,1	23,0±1,2

Анализируя результаты, представленные в таблицах 12,13 и 14, можно сделать вывод о том, что, показатели качества и безопасности мороженого с экстрактами белков, структурирующих лед, после закаливания соответствуют требованиям ТР ТС 021/2011 и ТР ТС 033/2013.

**Таблица 13. Показатели химической и радиологической
безопасности мороженого**

Наименование вещества (элемента)		Допустимый уровень его содержания, мг/кг, не более	Фактические значения	
			Мороженое с экстрактом белков, структурирующих лед, выделенных из клубней топинамбура	Мороженое с экстрактом белков, структурирующих лед, выделенных из листьев озимой ржи
Токсичные элементы	Свинец	0,1	0,10±0,01	0,10±0,02
	Мышьяк	0,05	0,050±0,001	0,050±0,001
	Кадмий	0,03	0,030±0,001	0,030±0,001
	Ртуть	0,005	0,0050±0,0001	0,0050±0,0001
Микотоксины (афлатоксин M ₁)		0,0005	0,00050±0,00001	0,00050±0,00001
Антибио- тики	Левомецитин	Не допускается	Не обнаружены	Не обнаружены
	Тетрациклиновая группа	Не допускается	Не обнаружены	Не обнаружены
	Стрептомицин	Не допускается	Не обнаружены	Не обнаружены
	Пенициллин	Не допускается	Не обнаружены	Не обнаружены
Пестициды	Гексахлорцикло- гексан (α-, β-, γ- изомеры)	1,25 (в пересчете на жир)	1,25±0,02	1,25±0,02
	ДДТ и его метаболиты	1,0 (в пересчете на жир)	1,00±0,01	1,00±0,01
Радио- нуклиды	Цезий-137	100 Бк/кг	100,0±1,1	100,0±0,9
	Стронций-90	25 Бк/кг	25,0±0,1	25,0±0,3

Таблица 14. Микробиологические показатели мороженого

Наименование показателя		Значение показателя	Фактические значения	
			Мороженое с экстрактом белков, структурирующих лед, выделенных из клубней топинамбура	Мороженое с экстрактом белков, структурирующих лед, выделенных из листьев озимой ржи
Количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ), КОЕ/см ³ (г), не более		1·10 ⁵	1·10 ⁵	1·10 ⁵
Масса продукта (г), в которой не допускаются	БГКП (количественная форма)	0,01	0,010±0,001	0,010±0,001
	<i>S. aureus</i>	1,0	1,00±0,01	1,00±0,01
	<i>Listeria monocytogenes</i>	25	25,0±1,1	25,0±0,7
	Патогенные, в том числе сальмонеллы	25	25,0±0,3	25,0±0,2

ГЛАВА 6. НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ И БАД

6.1. Обоснование выбора структурированных молочных продуктов как основы для обогащения продуктов питания функциональными пищевыми ингредиентами

Рынок функциональных продуктов питания и продукции, обогащенной функциональными ингредиентами, постоянно расширяется и развивается [27]. Как в России так и на мировом рынке наблюдается тенденция расширения ассортимента и увеличения доли рынка продукции с функциональными ингредиентами: преимущественно за счет таких популярных продуктов питания как хлебопекарная и молочная продукция. Сама по себе молочная продукция благодаря высокому содержанию в легкоусвояемой форме белков, жиров, водо- и жирорастворимых витаминов, минеральных веществ, может рассматриваться как натуральный функциональный продукт или как прекрасная основа для создания продукции, обогащенной функциональными ингредиентами [61].

Для обеспечения стабильного от партии к партии высокого качества и безопасности продукции проектирование новых продуктов питания, в т.ч. с функциональными ингредиентами, требует применение системного подхода к процессам обеспечения и управления качеством продукции и процессов ее производства [28]. Такой подход включает в себя выявление, анализ и учет комплекса требований к продукции (требования нормативной документации и ожидания потребителей), процессам производства, формированию требований к наименованию и качеству используемого сырья, оценку данных обратной связи с потребителями и продавцами готовой продукции. Роль формирования

качества новой продукции на ранних этапах жизненного цикла достаточно высока и требует от разработчиков дополнительных исследований и системного анализа комплекса проблем [61]. Реализация системного подхода при проектировании продукции, охватывающего множество факторов формирующих и обуславливающих требуемые и предполагаемые свойства продукции возможна и эффективна на базе применения методологии квалитетического прогнозирования, позволяющей учесть при разработке множество различных факторов [27].

При разработке продуктов питания обогащенных функциональными ингредиентами перед специалистами стоит ряд задач, который необходимо решить на этапе проектирования и подбора ингредиентов [61]:

- обеспечить правомерность использования термина «функциональный продукт» или «продукт с функциональными ингредиентами» (выбор функционального ингредиента, обладающего подтвержденным функциональным действием и имеющего установленную суточную физиологическую потребность; обеспечить содержания функционального ингредиента не ниже требуемого значения в течении всего срока годности);

- обеспечить высокие потребительские свойства продукции, т.к. даже очень полезный, но, например, не вкусный или «слишком оригинальный» продукт, не найдет своего потребителя;

- обеспечить дополнительные мероприятия по обеспечению качества и безопасности продукции, т.к. функциональные продукты, прежде всего, употребляются людьми с ослабленным здоровьем, беременными женщинами и детьми;

- возможность с технологической и экономической точек зрения обеспечить производство продукции с функциональными ингредиентами.

Особенно это актуально для молочной продукции, в частности, для структурированной молочной продукции как наиболее динамично развивающейся группе молочных продуктов на современном отечественном рынке. Эта группа объединяет в себя все виды молочных продуктов, при

производстве которых образуется пищевая матрица, обладающая структурой, полученной путем внесения соответствующих пищевых добавок (структурообразователей) и/или за счет формирования молекулярных и надмолекулярных комплексов на основе казеина, придающих продукту явные структурные характеристики. Прежде всего к структурированным молочным продуктам следует отнести группы молочных продуктов [28]:

- без добавления структурообразователей:

- сметана и продукты на ее основе;
- творог;
- йогурт;
- сыры и др.;

- с внесением структурообразователей:

- йогурт и йогуртные продукты;
- творог и творожные продукты (в т.ч. творожные сыры);
- мороженое и продукты по технологии мороженого;
- сметанные продукты;
- пудинги, соусы, муссы, пасты, кремы и другие структурированные

продукты на молочной основе.

Проведенные социологические исследования мнения 200 потребителей Московского региона, позволил установить целевого потребителя структурированных молочных продуктов – это женщина 25-45 лет, систематически (несколько раз в неделю) употребляющая продукты этой группы как важный элемент здорового питания. Установлено, что наиболее популярными среди потребителей видами структурированных молочных продуктов (рисунок 78) являются продукты на основе творога (творожные продукты и творог с фруктовыми наполнителями) и йогурта (фруктовый йогурт и йогуртные продукты) [61].

Как видно из рисунка, к наиболее популярным структурированным молочным продуктам относятся: йогуртные продукты и йогурты с фруктовыми наполнителями, творожные продукты и творог с фруктовыми наполнителями, а

второстепенным – молочные десерты (пудинги, муссы, пасты, мороженое и др.).

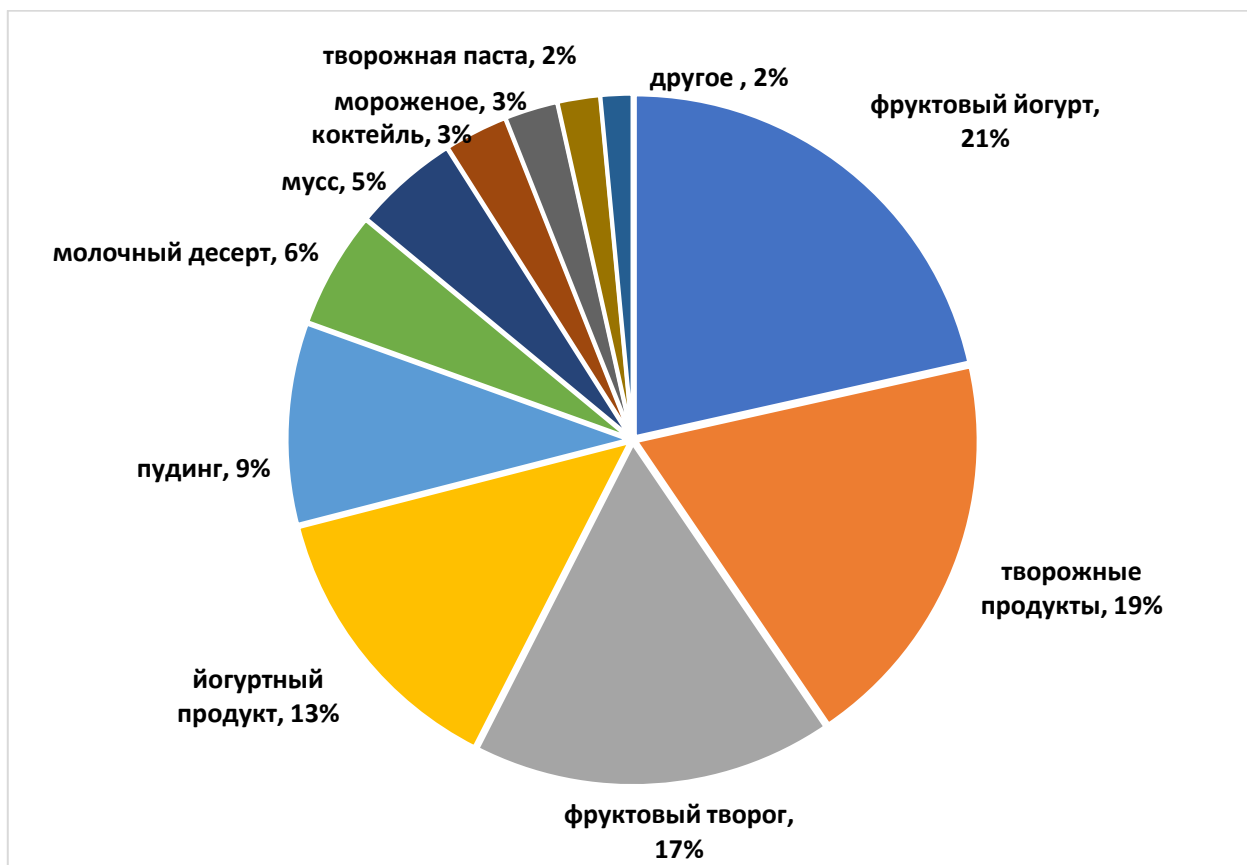


Рисунок 78. Наиболее популярные среди потребителей структурированные молочные продукты

Молочные продукты могут рассматриваться как идеальная основа для получения функциональных или обогащенных функциональными ингредиентами продуктов питания по ряду причин [27]:

- молочная продукция является каждодневными продуктами питания, что предполагает системное потребление продукта и делает возможным ожидаемый положительный эффект на здоровье;
- структурно-механические и физико-химические особенности молочных продуктов позволяют вносить широкий спектр функциональных ингредиентов, представленных в виде экстрактов, порошков, эмульсий, паст и других форм;
- большая часть молочных продуктов (прежде всего, структурированные молочные продукты, в т.ч. кисломолочные) воспринимаются потребителем как

полезный продукт, что способствует формированию спроса на функциональные продукты именно в сегменте молочной продукции;

- молочные продукты (в частности, структурированные молочные продукты) на рынке представлены прежде всего в порционной упаковке (на один прием пищи, за раз), что облегчает расчеты суточной дозы употребления продукта и обоснование правомочности называться функциональным продуктом;

- традиционный ассортимент молочных продуктов включает в себя продукцию с внесением пищевого сырья различной природы: растительного происхождения (фрукты, ягоды, овощи, семена, зелень, злаки, орехи и др.) и животного происхождения (ветчина, салями, рыба, креветки и др.), что делает естественным для потребителя внесение в продукт функциональных ингредиентов за счет включения в рецептуру пищевого сырья, богатого этими ингредиентами;

- нативные компоненты молока и впоследствии молочных продуктов уже относятся к перечню функциональных ингредиентов (рисунок), и разработчикам полезной продукции нужно только увеличить дозировку полезных компонентов в порции продукта.

6.2. Обоснование выбора криопорошка как источника БАВ при производстве функциональных структурированных молочных продуктов

Функциональными пищевыми ингредиентами могут называться полезные для здоровья вещества или комплекс веществ, а также живые микроорганизмы, включение которых в состав продукта (в расчете на одну порцию продукта) покрывает не менее 15 % суточной физиологической потребности организма [148]. К таким ингредиентам относятся: растворимые и нерастворимые пищевые волокна (пектины и др.), витамины (витамин Е, токоферолы, фолиевая кислота и др.), минеральные вещества (кальций, магний, железо,

селен и др.), жиры и вещества, сопутствующие жирам (полиненасыщенные жирные кислоты, растительные стеролы, конъюгированные изомеры линолевой кислоты, структурированные липиды, сфинголипиды и др.), полисахариды, вторичные растительные соединения (флавоноиды/полифенолы, каротиноиды, ликопин и др.), пробиотики, пребиотики и синбиотики [28].

Наиболее распространенным источником большинства функциональных ингредиентов является именно сырье растительного происхождения [61]. При этом это сырье должно быть максимально бережно переработано, чтобы технологические режимы производства продуктов переработки растительного сырья с одной стороны не снизили существенно содержание функциональных ингредиентов, а с другой стороны, позволили повысить усвояемость нативных компонентов и их доступность для действия ферментов желудочно-кишечного тракта человека. Такой бережной технологией, благодаря которой достигается высокая сохранность полезных веществ при одновременном измельчении, обеспечивающем мелкодисперсность (а, значит, и высокую усвояемость) растительной основы, является технология производства криопорошков [27].

Кроме того, технология производства криопорошков предполагает низкотемпературную сушку, замораживание при температуре до минус 180 °С и дальнейшее измельчение растительного сырья при крайне низких температурах. Отсутствие свободной воды в криопорошке и применение щадящих для функциональных ингредиентов технологических режимов делает его концентратом функциональных ингредиентов, внесение которых не сопровождается увеличением влаги, что снижает риски развития нежелательной микрофлоры и повышает пищевую и биологическую ценность продукции [28].

Содержащиеся в криопорошках нативные вещества, обуславливающие форму (пектины, пищевые волокна, структурные элементы оболочек и мякоти) сырья растительного происхождения, придают криопорошкам свойства натуральных структурообразователей и загустителей [61].

Помимо этого, мелкое измельчение растительного сырья при попадании криопорошка в продукт позволяет придать продукту и специфические органолептические свойства, характерные вносимому сырью: вкус, цвет, аромат вносимого пищевого ингредиента [149,150].

Молочная основа большинства молочных продуктов, в т.ч. структурированных, хоть и содержит большую часть из перечисленных функциональных ингредиентов, не может обеспечить покрытие 15 % суточной потребности взрослого организма в 100 г продукции, что требует ГОСТ Р 52349-2005. «Продукты пищевые. Продукты пищевые функциональные. Термины и определения», ГОСТ Р 55577-2013. «Продукты пищевые функциональные. Информация об отличительных признаках и эффективности» и Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 022/2011 «Пищевая продукция в части ее маркировки» [28].

Как правило, функциональные свойства молочных продуктов обеспечиваются за счет их обогащения функциональными ингредиентами, содержащихся в различном виде [61]:

- добавки природного происхождения: экстракты, концентраты и др.;
- премиксы (синтетические или полусинтетические);
- внесения сырья, богатого функциональными ингредиентами.

Проведенные социологические исследования требований потребителя к качеству структурированных молочных продуктов позволили сформулировать ключевые ожидания покупателей относительно желаемых ими свойств структурированных молочных продуктов (йогурт, йогуртные продукты, творожные продукты, творожный сыр, молочный десерт и др.). Выявлен четкий тренд запроса потребителей для всех видов структурированных продуктов – продукт должен содержать полезные вещества, но при этом не должен содержать «ничего лишнего». Показатели «полезности» и «натуральности» продукции для потребителя неразрывно связаны. С точки зрения потребителей, если продукт позиционируется как полезный, то в нем не может быть ничего, что ассоциируется с «не полезным», т.е. не должно быть

искусственных/синтетических добавок (в т.ч. БАДов). Наиболее желательно для потребителя, чтобы состав продукта был минимальным: только молочное сырье, закваска (для кисломолочных продуктов), вкусовой наполнитель и минимум других ингредиентов (сахар, соль, специи).

Кроме того, было установлена низкая информированность потребителя о функциональных продуктах: для него нет существенной разницы между «функциональным продуктом», «полезным продуктом», «продуктом с полезными свойствами», «продуктом с функциональными ингредиентами» и т.п. Другими словами, потребитель еще не готов переплачивать именно за «функциональный продукт», а, скорее всего, предпочтет то, что-то похожее, например, продукт «с функциональными ингредиентами».

Таким образом, можно сформулировать следующие исходные критерии при выборе функционального ингредиента при производстве продуктов питания:

- технологические возможности применения при производстве конкретного вида продукта функциональной добавки с учетом проявления ее свойств, особенностей внесения и характера воздействия на исходную пищевую матрицу;
- возможность обеспечения стабильного качества и безопасности готовой продукции;
- сохраняемость функциональных свойств при производстве и хранении продукции на требуемом уровне;
- натуральность функциональных ингредиентов (желательно применение вкусового наполнителя, богатого функциональными ингредиентами);
- традиционность применяемых ингредиентов (при разработке продукта необходимо учитывать психологическое и информационное восприятие новинки в глазах потребителя: чаще всего, слишком оригинальные продукты остаются не востребованы покупателем);
- решение как можно большего количества технологических задач (в т.ч. снижение рисков производства и реализации продукции с пороками,

обеспечение требуемых стабильных структурно-механических свойств, повышение хранимостпособности продукции и др.);

- обеспечение высоких потребительских свойств продукции (желательно придание продукту выраженных органолептических свойств за счет естественного цвета, вкуса, запаха и консистенции функционального наполнителя, что снижает необходимость внесения ароматизаторов, красителей, загустителей и др. добавок, которые потребители не хотят видеть в продукте).

Исходные многофакторные задачи, стоящие перед разработчиками продуктов питания с функциональными ингредиентами, позволяют рассматривать применение криопорошков при производстве структурированных молочных продуктов не только как источника функциональных ингредиентов, но и как вкусовой ингредиент, формирующий вкус, цвет и аромат продукта [149].

О пользе клубней топинамбура для здоровья организма и технологическом аспекте применения этого растения при производстве мороженого сказано ранее. Основными характеристиками криопорошка из топинамбура являются следующие.

Активными веществами криопорошка топинамбура являются: инулин, пищевые волокна, калий, магний, кремний и органические кислоты [147]. Инулин, содержащийся в топинамбуре, является природным полимером фруктозы, которая усваивается организмом без помощи инсулина и тем самым предупреждает энергетический голод клеток при диабете. Инулин также способствует снижению уровню сахара в крови и предупреждает возникновение диабета.

Обогащение структурированных молочных продуктов криопорошком топинамбура способствует снижению уровня сахара и холестерина в крови, повышению эффективности усвоения инсулина клетками; улучшению работы поджелудочной железы, улучшению состояния нервной и эндокринной систем и снижению вероятности диабетических осложнений. Необходимо отметить,

что криопорошок топинамбура обладает сладковатым вкусом, что позволяет его использовать как частичную или полную замену сахарозы при производстве сладких продуктов питания, в т.ч. молочных десертов.

Эти свойства криопорошка топинамбура открывает широкие возможности получения не только полезных для здоровья продуктов питания, но и разработки линейки пищевой продукции, в частности, структурированных молочных десертов, без добавления сахара, которые могут рассматриваться как продукты диабетического питания.

Технологический процесс производства криопорошка топинамбура включает в себя следующие операции:

- приемка и подготовка сырья
- очистка, промывка и обсушка сырья
- замораживание
- низкотемпературная сушка
- замораживание до температуры минус 180 °С
- криогенное измельчение;
- упаковка, маркировка.

Принимают сырье в соответствии с установленными требованиями, проводят оценку качества и количества принимаемого сырья, в т.ч. физико-химические и органолептические показатели качества сырья. Принятое сырье освобождают от посторонних включений. Очистку осуществляется в моечных машинах путем промывки специальными растворами и скобления принятого сырья, затем сырье промывают проточной водой, воде дают стечь и обсушивают теплым потоком воздуха (40 °С) в течении 5-10 минут. Очищенное и промытое сырье замораживают до температуры минус 50-80 °С и осуществляют сушку за счет вакуума (0,05 мПа). Окончание сушки считается законченным, когда массовая доля сухих веществ сырья достигнет 90,0 %. Высушенные замороженные плодов и овощей охлаждают до температуры минус 180 °С и направляют на криомельницу для криоизмельчения. Размер частиц после криоизмельчения должен не превышать 10 мкм. Полученный

криопорошок направляют в помещение для фасовки, в котором он нагревается до температуры минус 15 °С и упаковывается в потребительскую тару. Наносят маркировку на упаковку. Доводят до комнатной температуры и хранят при температуре от 0 до 25 °С не более 18 месяцев.

6.3. Разработка технологии производства функциональных структурированных молочных продуктов с криопорошками

В связи с тем, что криопорошок топинамбура помимо придания функциональных свойств молочной основе структурированных молочных продуктов, обладает определенными структурообразующими свойствами, нами были проведены исследования совместного влияния концентрации криопорошка топинамбура и белков и жира молочной основы с применением полного факторного эксперимента. В качестве объекта исследований был выбран йогурт как наиболее популярный структурированный молочный продукт. Согласно требованиям потребителей, наиболее желаемый продукт (в частности, йогурт) – это продукт, содержащий йогурт и вкусовой наполнитель (в нашем случае, криопорошок топинамбура). В качестве базовой технологии производства была взята технология йогурта, выработанного из пастеризованного нормализованного молока с добавлением сухого обезжиренного молока, путем сквашивания, перемешивания полученного сгустка и добавления криопорошка топинамбура, предварительно растворенного в сливках. Далее полученная смесь перемешивается, разливается по баночкам и охлаждается до температуры хранения.

В качестве управляемых факторов были выбраны наиболее важные компоненты йогурта:

- содержание сухого молока (от 1 до 10 %);
- содержание криопорошка топинамбура (от 1 до 3 %);
- содержание жира в сливках (от 10 и 20 %).

Для выбора целевой функции, подлежащей оптимизации, были выделены такие ключевые показатели структурированных молочных продуктов как эффективная вязкость и влагосвязывающая способность.

В результате проведения полного факторного эксперимента и последующей обработки полученных данных получено регрессионные уравнения зависимости эффективной вязкости (X) и влагосвязывающей способности (Y) от управляемых факторов:

$$X = 5,16 + 12,51 \cdot j + 64,23 \cdot k + 0,05 \cdot f + 3,09 \cdot j \cdot k + 0,05 \cdot j \cdot f + 0,31 \cdot k \cdot f - 0,06 \cdot j \cdot k \cdot f, \quad (8)$$

$$Y = -19,54 + 32,41 \cdot j + 93,71 \cdot k - 0,18 \cdot f + 2,11 \cdot j \cdot k + 0,02 \cdot j \cdot f - 0,42 \cdot k \cdot f + 0,06 \cdot j \cdot k \cdot f, \quad (9)$$

где j – массовая доля сухого молока в йогуртной основе, %;

k – массовая доля криопорошка топинамбура в модельной среде, %;

f – массовая доля жира в йогурте, %.

Полученные уравнения регрессии позволили разработать рецептуры йогурта с криопорошком топинамбура (таблица 15), обладающими высокой влагосвязывающей способностью и структурно-механическими характеристиками.

Таблица 15. Рецептуры йогуртов с криопорошком топинамбура

№ п/п	Наименование компонента	Масса компонентов, кг на 1000 кг готового продукта			
		Варианты рецептов			
		№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
1	Йогурт	825	840	830	845
2	Сухое обезжиренное молоко	75	60	70	55
3	Сливки с массовой долей жира 10 %	85	75	0	0
4	Сливки с массовой долей жира 20 %	0	0	82	70
5	Криопорошок топинамбура	15	25	18	30
Итого, кг		1000,0	1000,0	1000,0	1000,0

Полученные уравнения регрессии могут быть положены в основу определения соотношения компонентов при разработке широкой линейки йогуртов в зависимости от таких идентификационных показателей как массовая доля жира и консистенция. На основе полученных результатов разработана технология производства йогуртов с криопорошком топинамбура.

Основные этапы производства продукта следующие: приемка и оценка качества сырья, нормализация молока, гомогенизация, пастеризация, охлаждение и внесение сухого обезжиренного молока и закваски, сквашивание, перемешивание сгустка и внесение смешанных с сливками сухих компонентов, перемешивание, розлив, упаковка и хранение.

Молоко нормализуют по массовой доле жира (3,3 %), затем нагревают до температуры 60-65 °С и гомогенизируют при давлении $1,5 \pm 2,5$ МПа, затем пастеризуют при 88 ± 2 °С с выдержкой 8-10 минут, охлаждают до заквашивания 40 ± 2 °С, вносят закваску *Lactobacillus bulgaricus* и *Lactobacillus thermophilus* (3-5 %), перемешивают. Окончание сквашивания определяют по кислотности – до 90-100 °Т. В отдельной емкости в охлажденных до температуры 8-12 °С сливках (с массовой долей жира 10-20 % в зависимости от рецептуры) растворяют сухие компоненты и перемешивают полученную смесь не менее 10 минут при скорости вращения перемешивающего устройства 500-1000 об/мин. Полученную смесь вносят в сквашенный сгусток и перемешивают не менее 10 минут.

Йогурт с функциональными ингредиентами охлаждают до 15-20 °С фасуют в индивидуальную потребительскую упаковку, маркируют и доохлаждают до температуры 4 °С.

Схема аппаратного оформления технологической линии производства нового продукта представлена на рисунке 79.

Исследования органолептических показателей промышленных образцов йогуртов с криопорошком топинамбура, выработанных в промышленных условиях по разработанным технологии и рецептурам, выявил их высокие потребительские свойства (таблица 16). Профилограмма вкуса полученных образцов представлена на рисунке 80.

Таблица 16. Органолептическая оценка образцов йогуртов с функциональными ингредиентами

№ п/п	Наименование компонента	Масса компонентов, кг на 1000 кг готового продукта			
		Варианты рецептур			
		№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
1	вкус	4,9	4,9	4,9	4,8
2	запах	4,7	4,7	4,7	4,7
3	внешний вид	4,9	4,8	4,9	4,8
4	консистенция	4,7	4,6	4,6	4,7
5	цвет	5	5	5	5
Суммарная оценка		24,2	24,0	24,1	24,0

Полученные результаты органолептической оценки полученных йогуртов с криопорошком топинамбура свидетельствуют о высоких потребительских свойствах полученных продуктов и наличии достаточно выраженного сладкого вкуса. Для расширения ассортимента структурированных молочных продуктов можно применять криопорошок топинамбура не только как источник инулина, пищевых волокон, калия, магния, кремния и органических кислот, но и как структурообразователь (загуститель) и подсластитель.

В качестве возможных вариантов использования вкусовых ингредиентов в структурированные молочные продукты с криопорошком топинамбура можно рассматривать криопорошки других растений, богатых функциональными ингредиентами и ярким вкусом.

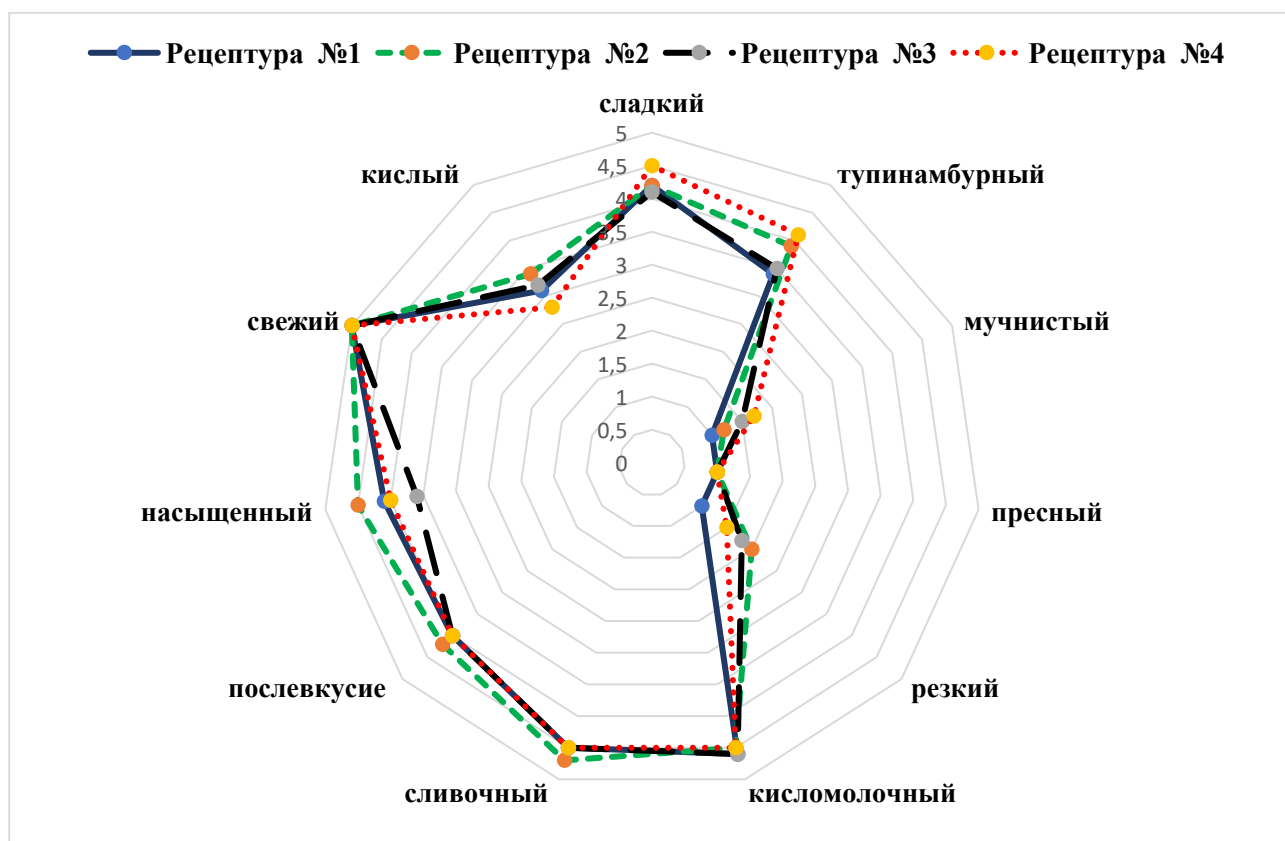


Рисунок 80. Профилограмма вкусовых характеристик йогурта с функциональными ингредиентами

Это могут быть криопорошки из ягод (облепиха, калина, черная смородина и др.), фруктов (яблоко, абрикоса, груши), плодов и овощей (тыквы, капусты, репы и др.). Что отражено в ряде поданных заявок на патенты РФ.

Разработана техническая документация на йогурт с криопорошком топинамбура ТУ 10.51.52-130-00492931-2021 «Йогурт с функциональными ингредиентами».

Полученные результаты открывают широкие перспективы применения криопорошков при производстве продуктов питания с функциональными ингредиентами, в т.ч. структурированных молочных продуктов [61].

Библиографический список

1. Погожева, А. В. К здоровью нации через многоуровневые образовательные программы для населения в области оптимального питания / А. В. Погожева, Е. А. Смирнова // Вопросы питания. – 2020. – Т. 89. – № 4. – С. 262-272.
2. О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года: Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2018 № 204. – М.: АО «Кодекс», 2011. – 19 с.
3. Domínguez Díaz, L. An international regulatory review of food health related claims in functional food products labeling / L. Domínguez Díaz, V. Fernández-Ruiz, M. Cámara // Journal of Functional Foods. – 2020. – Vol. 68. – Art. 103896 (14 p.).
4. Лисицын, А.Б. Современные тенденции развития индустрии функциональных пищевых продуктов в России и за рубежом / А.Б. Лисицын, И.М. Чернуха, О.И. Лунина // Теория и практика переработки мяса. 2018. – Т. 3. – № 1. – С. 29-45.
5. Kamioka, H. Quality of systematic reviews of the foods with function claims in Japan: comparative before- and after-evaluation of verification reports by the consumer affairs agency / H. Kamioka, K. Tsutani, H. Origasa [et al.] // Nutrients. – 2019. – Vol. 11. – Art. 1583 (19 p.).
6. Kubomura, K.R. Functional foods: a view from Japan / K.R. Kubomura // Cereal Foods World. – 2007. – Vol. 52. – P. 86–87
7. Российский рынок здоровых продуктов: тенденции и перспективы [Электронный ресурс]: URL: <http://bfi-online.ru/opinion/index.html?msg=6550> (Дата обращения 21.08.2025)

8. Дунченко, Н.И. Научное обоснование технологий производства и принципов управления качеством структурированных молочных продуктов : дис. ... док. техн. наук. Москва, 2003. – 408 с.
9. Тихомирова, Н.А. Технология продуктов функционального питания. М.: ООО «Франтера», 2002. – 213 с.
10. Об утверждении Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017-2025 годы : Постановление Правительства Российской Федерации от 25 августа 2017 года № 996 (с изменениями на 3 сентября 2021 года) М.: АО «Кодекс», 2017. – 64 с.
11. Алексеева, Т.В. Биотехнологический потенциал фракций глубокой переработки низкомасличного сырья: балансирование ПНЖК – состава, прогнозирование качества, новые технологии автореф. дис. доктора. техн. наук. – М.: Воронеж. – 2015. 40 с.
12. Буянова, И.В. Концентрированные биопродукты функционального назначения / Буянова, И.В., Альтшулер О.Г., Куулар Ч.Г. // Молочная промышленность. – 2021. – № 12. – С. 30-33.
13. Гаврилова, Н.Б. Биотехнологические основы производства комбинированных кисломолочных продуктов автореф. дис. доктора. техн. наук. – М.: Кемерово, 1996. – 39 с.
14. Галстян, А.Г. Развитие научных основ и практические решения совершенствования технологий, повышения качества и расширения ассортимента молочных консервов автореф. дис. доктора. техн. наук. – М.: Москва, 2009. – 51 с.
15. Захарова Л.М. Научно-практические аспекты производства функциональных продуктов из молока и злаков / Л.М. Захарова // Кемерово, 2005. – 196 с.
16. Захарова, Л.М. Исследование активности заквасочной культуры при производстве обогащенного кисломолочного мороженого / Л. М. Захарова, П. А. Лисин, Е. А. Уточкина // Технологии производства и переработки

сельскохозяйственной продукции : сборник научных трудов. – Благовещенск : Дальневосточный государственный аграрный университет, 2019. – С. 69-72.

17. Зобкова, З.С. Выбор ингредиентов с антиоксидантными свойствами для функциональных кисломолочных продуктов / З.С. Зобкова, Е.Г. Лазарева, И.Р. Шелагинова // Молочная промышленность. – 2021. – № 6. – С. 48-49.

18. Интеллектуальные экспертные системы в практике решения прикладных задач пищевого производства : монография / О.Н. Красуля, А.В. Токарев, С.А. Грикшас, А.С. Шуварики, О.Н. Пастух. – Иркутск, 2017. – 152 с.

19. Кисломолочный продукт, обогащенный пробиотическими микроорганизмами и пищевыми волокнами / Т.К. Каленик, И.А. Кадникова, Е.В. Медведева, Г.В. Медведев // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. – 2021. – № 2(67). – С. 40-44.

20. Оптимальное питание – основа здорового образа жизни / В.А. Тутельян, Н.Ф. Герасименко, Д.Б. Никитюк, А.В. Погожева // Здоровье молодежи: новые вызовы и перспективы. – Москва : Издательско-полиграфический центр "Научная книга", 2019. – С. 228-249.

21. Перспективы применения зернобобовых в инновационных технологиях функциональных продуктов питания / Н. С. Родионова, И. П. Щетилина, К. Г. Короткова [и др.] // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2020. – Т. 82. – № 3(85). – С. 153-163.

22. Петров, А.Н. Теория и практика повышения устойчивости жировой фазы консервов на молочной основе общего и специального назначения : дис. ... док. техн. наук : 05.18.04. – Москва, 2010. – 258 с.

23. Семенов, Г.В. Современные направления научных исследований и технические решения по интенсификации процесса сублимационной сушки в пищевой промышленности, фармпроизводствах и прикладной биотехнологии (Часть 1) / Г.В. Семенов, М.С. Булкин, А.В. Кузенков // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. – 2015. – № 1. – С. 187-202.

24. Семенов, Г.В. Современные направления научных исследований и технические решения по интенсификации процесса сублимационной сушки в пищевой промышленности, фармпроизводствах и прикладной биотехнологии (Часть 2) / Г.В. Семенов, М.С. Булкин, А.В. Кузенков // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. – 2015. – № 2. – С. 112-124.

25. Технологии функциональных кисломолочных продуктов с применением сывороточных ингредиентов / И.А. Евдокимов, М.С. Золоторева, Д.Н. Володин, М.И. Шрамко // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. – 2017. – № 6(63). – С. 9-17.

26. Технология продуктов специализированного назначения, обогащенных БАД / Г.И. Касьянов, А.А. Запорожский, О.В. Косенко, Ю.С. Алешкевич // Теория и практика финансово-хозяйственной деятельности предприятий различных отраслей. Наука и общество: актуальные проблемы и решения: Сборник трудов конференций: III Национальной научно-практической конференции; Национальной научно-практической конференции, Керчь, 10-29 октября 2021 года. – Керчь: ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», 2021. – С. 569-574.

27. Янковская В.С. Научная концепция моделирования и прогнозирования показателей безопасности и качества пищевых продуктов [Текст] / В.С. Янковская, Н.И. Дунченко // Молочая промышленность. – 2020 – № 11. – С. 38-39.

28. Янковская, В.С. Теоретическое обоснование методологии формирования показателей качества при разработке технологий функциональных структурированных молочных продуктов с криопорошками [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук : 4.3.3 : защищена 21.04.23. : утв. 22.09.23. – М., 2022. – 567 с.

29. Об основах государственной политики Российской Федерации в области здорового питания населения на период до 2020 года : распоряжение Правительства РФ от 25.10.2010 N 1873-р.

30. ГОСТ Р 52349-2005. Продукты пищевые. Продукты пищевые функциональные. Термины и определения.— введ. 2005-05-31. – М.: Изд-во Стандартиформ, 2006. – 8 с.

31. Изменение № 1 к ГОСТ Р 52349-2005 «Продукты пищевые. Продукты пищевые функциональные. Термины и определения».— введ. 2011-03-01. – М.: Изд-во Стандартиформ, 2010. – 8 с.

32. МР 2.3.1.1915-2004. Рекомендуемые уровни потребления биологически активных веществ Утвержден Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 02.07.2004 г. – М.: АО «Кодекс», 2004. – С. 48.

33. Скрынник, Е.Б. Основные направления развития пищевой и перерабатывающей промышленности на среднесрочную перспективу // Пищевая промышленность. – № 1. – 2010.

34. Шатнюк, Л.Н. Обогащение молочных продуктов: научное обоснование, нормативная база, практические решения/ Л.Н. Шатнюк [и др.] // Молочная промышленность. 2010. – № 10. – С. 34-39.

35. Пандемия Covid-19 подстегнула спрос на полезные продукты для энергии // Пищевая промышленность. – 2021. – № 11. – С. 106.

36. Earle, M.D. Building the Future on New Products / M.D. Earle, R.L. Earle. – Leatherhead: Leatherhead Food RA, 2000. – 144 p.

37. Янковская, В. С. Квалиметрическая оценка продукции АПК / В. С. Янковская, А. А. Черствой // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. – 2012. – № 5(16). – С. 80-84.

38. Кайшев, В. Г. Функциональные продукты питания: основа для профилактики заболеваний, укрепления здоровья и активного долголетия / В. Г. Кайшев, С. Н. Серегин // Пищевая промышленность. – 2017. – № 7. – С. 8-14.

39. Дунченко, Н. И. Управление качеством продукции. Пищевая промышленность. Для магистров / Н. И. Дунченко, М. П. Щетинин, В. С. Янковская. – С-Пб : Изд-во "Лань", 2018. – 244 с.

40. Давидович, Е. А. Качество пищи и культура питания / Е. А. Давидович // Экологическая безопасность в АПК. Реферативный журнал. – 2010. – № 4. – С. 1149.

41. Пивоваров, В. Ф. Овощи – продукты и сырье для функционального питания / В. Ф. Пивоваров, О. Н. Пышная, Л. К. Гуркина // Вопросы питания. – 2017. – Т. 86, № 3. – С. 121-127.

42. Role Of Organic Products In The Implementation Of The State Policy Of Healthy Nutrition In The Russian Federation. Z.Yu. Belyakova, I.A. Makeeva, N.V. Stratonova [et al.]. Foods and Raw Materials, 6(1) 4-13. DOI 10.21603/2308-4057-2018-1-4-13.

43. Лисицын А.Б. Современные тенденции развития индустрии функциональных пищевых продуктов в России и за рубежом / А.Б. Лисицын, И.М. Чернуха, О.И. Лунина // Теория и практика переработки мяса. 2018. – Т. 3. – № 1. – С. 29-45. DOI 10.21323/2414-438X-2018-3-1-29-45.

44. Коростелева, М.М. Принципы обогащения пищевых продуктов функциональными ингредиентами / М.М. Коростелева, Е.Ю. Агаркова // Молочная промышленность. – 2020. – № 11. – С. 6-8.

45. Позняковский В.М. Регулируемые технологические параметры производства в формировании потребительских свойств функционального продукта / В.М. Позняковский, Н.А. Плешкова, А.Н. Австриевских // Пищевая промышленность. – 2018. – № 8. – С. 80-82.

46. Kruger J., Taylor J. R. N., Ferruzzi M.G., Debelo H. What is food fortification? Working definition and structure for evaluating the effectiveness and implementation of best practices Food Science and Food Safety 2018. Volume 19, Issue 6. P. 3618-3658.

47. Лисицын А.Б. Современные тенденции развития индустрии функциональных пищевых продуктов в России и за рубежом / А.Б. Лисицын, И.М. Чернуха, О.И. Лунина // Теория и практика переработки мяса. 2018. – Т. 3. – № 1. – С. 29-45.

48. Дунченко Н.И. Комплексная оценка качества йогуртных продуктов / Н.И. Дунченко, В.С. Янковская, С.Н. Кущёв // Известия вузов. Пищевая технология. – 2009. – № 2-3. – С. 99-100.
49. Кущёв С.Н. Показатели качества и безопасности йогуртных продуктов / С.Н. Кущёв, Н.И. Дунченко, В.С. Янковская // Молочая промышленность. – 2009 – № 1. – С. 42-43.
50. Янковская В.С. Научная концепция моделирования и прогнозирования показателей безопасности и качества пищевых продуктов / В.С. Янковская, Н.И. Дунченко // Молочая промышленность. – 2020 – № 11. – С. 38-39.
51. Янковская В.С. Обогащение продуктов питания криопорошками из овощных культур / В.С. Янковская, Н.И. Дунченко // Картофель и овощи. – 2025. – № 6. – С. 36-40.
52. Барзов А.А. Вероятностная оценка качества инноваций на ранних этапах их жизненного цикла / А.А. Барзов, В.М. Корнеева, С.С. Корнеев // Качество и жизнь. – 2018. – № 4. – С. 60-61.
53. Янковская, В.С. Методологический подход к подбору функциональных ингредиентов при проектировании молочной продукции / В.С. Янковская, Н.И. Дунченко, Л.Н. Маницкая // Молочная промышленность. 2022. – № 2. – С. 39-41.
54. Янковская В.С. Формирование и прогнозирование качества творожных сыров в условиях неопределенности / В.С. Янковская, Н.И. Дунченко, С.В. Купцова, Е.С. Волошина, К.В. Михайлова // Сыроделие и маслоделие, 2021. – № 6. – С. 34-36.
55. Тихомирова, Н.А. Низколактозный кисломолочный продукт с растительными компонентами / Н. А. Тихомирова, З. В. Волокитина, Б. Т. Нгуен // Молочная промышленность. – 2020. – № 6. – С. 35-37.
56. Методология квалиметрии рисков как основа обеспечения качества и безопасности продукции / В. С. Янковская, Н. И. Дунченко, Е. С. Волошина [и

др.] // Молочная промышленность. – 2021. – № 11. – С. 52-53. – DOI 10.31515/1019-8946-2021-11-52-53.

57. Янковская, В. С. Методология проведения социологических исследований при проектировании продуктов питания / В. С. Янковская, Н. И. Дунченко // Сыроделие и маслоделие. – 2024. – № 4. – С. 34-40. – DOI 10.21603/2073-4018-2024-4-2.

58. Assessment of economic efficiency of putting the functional food products into production / E. Y. Bobkova, D. I. Vorobyev, A. V. Vorobeva [et al.] // Agrarian Science. – 2022. – No. 10. – P. 149-153. – DOI 10.32634/0869-8155-2022-363-10-149-153.

60. Янковская В.С. Новый подход к выбору компонентов для обогащения пищевых продуктов / В.С. Янковская, Н.И. Дунченко // Картофель и овощи. – 2025. – № 6. – С. 41-46.

61. Янковская, В.С. Научные аспекты технологий производства структурированных молочных продуктов: монография / В.С. Янковская, Н.И. Дунченко, В.Г. Яриновская, Т.И. Аникиенко. – М.: ООО «Сам Полиграфист», 2021. – 185 с.

61. Янковская, В.С. Научные аспекты технологий производства структурированных молочных продуктов: монография / В.С. Янковская, Н.И. Дунченко, В.Г. Яриновская, Т.И. Аникиенко. – М.: ООО «Сам Полиграфист», 2021. – 185 с.

62. Browse J., Xin Z. (2001) Temperature sensing and cold acclimation. Curr Opin Plant Biol 4: 241–246.

63. Творогова А. А. Стабилизаторы-эмульгаторы фирмы «Квест» / А. А. Творогова, Ф. Клавер, Е. В. Булытов // Молочная промышленность. - 1999. - №6. – С.19–20.

64 Кладий А.Г. Мороженое – это бизнес благодарный, вечный и верный, мировой и верный / А. Г. Кладий, А.В. Шаманов. - М.: ИИС «Парус», 2000. - 600 с.

65. Творогова А. А. Теоретическое наследие отрасли по производству мороженого/ А. А. Творогова // Мороженое и замороженные продукты. - 2006. - №6, С. 30-33.
66. ГОСТ Р 52175-2003 Мороженое молочное, сливочное и пломбир. Технические условия
67. Фильчакова Н. Н. Стабилизация структуры мягкого мороженого / Н.Н. Фильчакова, Ю. А. Оленев // Холодильная техника. -1977. -№ 2, С. 43–45.
68. Берегова И.В. Пектин и каррагинаны в молочных продуктах нового поколения / И. В. Берегова // Молочная промышленность. - 2006. - №1, С 44–46.
69. Комарова Н.А. Влияние дозы вносимого наполнителя на формирование и стабилизацию воздушной дисперсной фазы мороженого/ Н. А. Комарова // Продукты питания и рациональное использование сырьевых ресурсов: сборник науч. работ.- Кемерово: КТИПП – 2001, с. 45.
70. Подлегаева Т. В. Использование полисахаридов для стабилизации молочных пен/ Т. В. Подлегаева // Продукты питания и рациональное использование сырьевых ресурсов. сборник научных работ. – Кемерово: КТИПП – 2001. - Вып. 2. С. 59.
71. Нарлева Г. И. Связь формирования морозостойкости озимых злаков с синтезом белка при низкотемпературной адаптации: Автореф. дис... канд. биол. наук. – М., 1991. -22 с.
- 72 Аникиенко, Т.И. Эколого-энергетические и медико-биологические свойства топинамбура / Т.И. Аникиенко // монография. Краснояр. гос. аграр. ун-т. - Красноярск, 2008 г.- 214 с.
73. León A. Bravo, Marilyn Griffith. Characterization of antifreeze activity in Antarctic plants// Journal of Experimental Botany 2005 56(414):1189-1196.
74. Schrag, J. D.; O'Grady, S. M.; DeVries, A. L. Biochim. Biophys. Acta 1982, 717.
75. Гурова Н.В. Роль белков и полисахаридов в мороженом / Н.В. Гурова // Мороженщик России. - 2006. -№6, С. 9.

76. Растительный белок / под ред. Т. П. Микулович . - М.: Агропромиздат. - 1991, 684 с.
77. Smallwood, M., Worrall, D., Byass, L., Elias, L., Ashford, D., Doucet, C.J., Holt, C., Telford, J., Lillford, P., and Bowles, D.J. (1999) Isolation and characterization of a novel antifreeze protein from carrot (*Daucus carota*) BIOCHEMICAL JOURNAL. 340: 385-391.
78. Scholander, P. F., VanDam, L., Kanwisher, J. W., Hammell, H. T., & Gordon, M. S. (1957). Supercooling and osmoregulation in Arctic fish. J. Cell. Comp. Physiol: 49, 5-24.
79. Mildon P. G. Why stabilisere and emulsifiere in ise-cream mix Amer.Rev.,1973.- V35.-N11. - p.26-2988. Mulvihill D.M. «Production, functional properties and utilization of milk protein products» in Advanced dairy chemistry – Vol . 1 P.F. Fox, ed. London, Elsevier Applied Science Publishers, pp. 368-404.
80. Guy C. L., Niemi K. J., Brambl R. Altered gene expression during cold acclimation of spinach// Proc. Natl. Acad. Sci. USA.- 1985.- V. 82.- P. 3673-3677.
81. Timofeyev M. A., Shatilina Zh. M., Bedulina D. S., Protopopova M. V., Grabelnykh O.I., Pobezhimova T.P., Kolesnichenko A.V. Comparison of stress proteins participation in adaptation mechanisms of baikalian and paleartic amphipod (amphipod; crustacea) species//Journal of Stress Physiology & Biochemistry, Vol. 2, No. 1, 2006, pp. 41-49.
82. Mutaftschiev B. 1993. Nucleation theory. In Handbook of Crystal Growth (Hurle, D. T. J., editor) Elsevier, Amsterdam.. 189-247.
83. Кладий А. Г. Производство мороженого и вафельных изделий / А. Г. Кладий, В. А. Выгодин.- М.: Галактика - ИГМ. - 1993. - 316 с.
84. Комарова Н.И. Влияние технологических параметров на формирование воздушной дисперсной фазы и взбитость мороженого / Н. И. Комарова, И. А. Короткий, В. М. Столетов // Продукты питания и рациональное использование сырьевых ресурсов: сборник науч. работ. – Кемерово: КТИПП – 2001, с. 35.

85. Щетинин М. П. Комбинированный злаковый стабилизатор для мороженого/ М. П. Щетинин, М. Л. Мотрунич // Переработка молока. -2007. - №2, С. 42-44.
86. Gong Z., Hew C. L., 1995. Transgenic fish in aquaculture and developmental biology. *Curr Top Dev Biol* 30, 177-214.
87. Jorov A. B. S. Zhorov and D. S. Yang. (2004). Theoretical study of interaction of winter flounder antifreeze protein with ice. *Protein Science*. 13, 1524-1537.
88. Arav A., Rubinsky B., Fletcher G., Seren, E. Cryogenic Protection of Oocytes with Antifreeze Protein. *Molecular Reproduction and Development*. 36.4 (1993) 488-493.
89. Worrall D., Elias L., Ashford D., Smallwood M., Sidebottom C., Lillford P., Telford J., Holt C., Bowles D. (1998) A carrot leucine-rich-repeat protein that inhibits ice recrystallization// *Science*.- 1998, 282, 115-117.
90. Фоломеева О. Г. Тапиоковый крахмал как стабилизатор молокосодержащих продуктов / О. Г.Фоломеева, Е. Л. Искакова // *Молочная промышленность*. -2004. -№5, С. 40.
91. Boode K., and P. Walstra. 1993. Partial coalescence in oil-in-water emulsions. 1. Nature of the aggregation. *Colloids Surfaces A*, 81:121-137.
92. Budiaman E. R., and O. R. Fennema, 1987 Linear rate of water crystallization as influenced by viscosity of hydrocolloid suspensions. *J. Dairy Sci*. 70:547-554.
93. Knight C. A, Driggers E., De Vries A. L. Adsorption to ice of fish antifreeze glycopeptides 7 and 8. *Biophys J*. 1993 Jan; 64(1):252–259.
94. Segall, K. I. and H. D. Goff. 2002. Secondary adsorption of milk protein from the continuous phase to the oil-water interface in dairy emulsions. *Internat. Dairy J*. 12: 889-897.
95. Stone J. M., Palta J. P., Bamberg J. B. Inheritance of freezing resistance in tuber-bearing *Solanum* species: Evidence for independent genetic control of

nonacclimated freezing tolerance and cold acclimation capacity// Proc. Nat. Acad. Sci. USA.-1993.-V.90.- P. 7869-7873.

96. Бархатова Т. В. Замена импортных стабилизирующих систем модифицированным соевым белком в производстве мороженого / Т. В. Бархатова, А. Г. Егупов // Известия ВУЗов. Пищевая технология. -2003.-№4, С 117–118.

97. Остерман Л. А. Методы исследования белков и нуклеиновых кислот: электрофорез и ультрацентрифугирование: практическое пособие / Л. А. Остерман. – М.: Наука. – 1982. – 288с.

98. Knight C. A., De Vries A. L. Melting Inhibition and Superheating of Ice by an Antifreeze Glycopeptide Science, August 4, 1989; 245(4917): 505 – 50.7

99. Пасько, Н.М. Исходный материал для селекции топинамбура в предгорной зоне Северного Кавказа / Н.М. Пасько // автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата с.-х. наук, Л.: 1970.

100. Барей Ф. Стабилизация фазы кристаллов льда в мороженом / Ф.Барей // Переработка молока. -2007. -№2, С.27–29.

101. Патент WO 99/37782, МПК С 12 N 15/29, заявл. 23.12.1998, опубл. 19.10.2005.

102. Базарнова Ю. Г. Применение натуральных гидроколлоидов для стабилизации пищевых продуктов / Ю. Г. Базарнова, Т. В. Штокова, В. М. Зюканов // Пищевые ингредиенты. Сырье и добавки. - 2005. - №2, С. 84-87.

103. Ahmed A. I, Feeney R. E, Osuga D. T, Yeh Y. Antifreeze glycoproteins from an Antarctic fish. Quasi-elastic light scattering studies of the hydrodynamic conformations of antifreeze glycoproteins. *J Biol Chem.* 1975 May 10;250(9):3344–3347.

104. Raymond J. A, DeVries A. L. Freezing behavior of fish blood glycoproteins with antifreeze properties. *Cryobiology.* 1972 Dec;9(6):541–547.

105. Кемпбелл Д. Влияние стабильности эмульсии на свойства мороженого / Д. Кемпбелл, Б. М. Пелан // Молочная промышленность, 1999. - №9. -с. 13–15.

106. Оленев Ю. А. Структурные элементы смесей и мороженого / Ю. А. Оленев // Молочная промышленность. - 2003. -№ 5, С. 52-53.
107. Vandenheede J. R., A. I. Ahmed, R. E. Feeney Structure and role of carbohydrate in freezing point-depressing glycoproteins from an antarctic fish. J R Vandenheede, A I Ahmed, R E Feeney J Biol Chem Dec 1972 (Vol. 247, Issue 24, Pages 7885-9).
108. Schwartzberg H. G. 1990/ Freeze concentration in / H. G. Schwartzberg and M.A. Rao /Food biotechnology// pp. 127-202, Marcel Dekker, New York.
109. Pihakaski-Maunsbach K., Griffith M., Antikainen M., Maunsbach A. B. Immunogold localization of glucanase like antifreeze protein in cold acclimated winter rye// Protoplasma.- 1996.- V. 191.- P. 115-125.
110. Duman J. G., Xu L., Neven L. G., Tursman D., Wu D. W. (1991) Hemolymph proteins involved in insect subzero-temperature tolerance: ice nucleators and antifreeze proteins. In RE Lee Jr, DL Denlinger, eds, Insect.
111. Berger K. G., Bullimor B. K., White G. W., Wright W. B. - Dairy Ind., 1972 Aug.,-p419-424, 1972,Sept.,-p.493-497.
112. Wilson P.W. The physical basis of action of biological ice nucleating agents. Cryo-Letters 15: 119-126 (1994).
113. Davies, P. L., Baardsnes, J., Kuiper, M. J. and Walker, V. K. (2002) Structure and function of antifreeze proteins. Philos. Trans. R. Soc. London B 357, 927–935.
114. Byass, L. J. 1998. Frozen confectionery product containing plant antifreeze protein. Unilever, assignee. Eur. Pat. No. WO 98/04148.
115. Vulnik N. Confect. Prod// 1995, vol. 61.- №5. – p. 351,365.
116. Yeh,Y., R. E. Feeny, R. L. McKown, and G. J. Warren. (1994). Measurement of grain growth in the recrystallization of rapidly frozen solutions of antifreeze glycoproteins. Biopolymers. 84: 1495-1504.
117. Snoeren T. H. M., Payens T. A. J., Jeunink J., Both P. Electrostatic interaction between κ -carrageenan systems in milk salt ultrafiltrate.- 1975.-№30, p. 393-396.

118. DeVries A.L, Vandenheede J, Feeney RE. Primary structure of freezing point-depressing glycoproteins. *J Biol Chem.* 1971 Jan 25;246(2):305–308.
119. DeLuca, Carl I., Davies, Peter L., Ye, Qilu, and Jia, Zongchao. “The Effects of Steric Mutations on the Structure of Type III Antifreeze Protein and its Interaction with Ice.” *Journal of Molecular Biology.* 275.3 (1998) 515-525.
120. Regand, A. and H. D. Goff. 2003. Structure and ice recrystallization in frozen stabilized ice cream model systems. *Food Hydrocolloids.* 17: 95-102.
121. Самыгин Г. А. Причины вымерзания растений / Г. А. Самыгин. - М.: Наука, 1974.-191с.
122. Фенченко Е. Ключевые аспекты улучшения структуры и консистенции мороженого / Е. Фенченко // Мир мороженого. -2005. - №3, С. 2-3.
123. Глянько А.К. Температурный стресс: механизмы термоустойчивости, рост, развитие продуктивность растенийА. / А. К. Глянько // Сельскохозяйственная биология. – 1996. - №3. - С. 3-19
124. Guy C. L., Huber J. L. A., Huber S. C. (1992) Sucrose phosphate synthase and sucrose accumulation at low temperature. *Plant Physiol* 100: 502–508.
125. Schmidt K. A., and D. E. Smith 1989 Effects of varying homogenization pressure on the physical properties of vanilla ice cream *J. Dairy Sci.* 72:378-384.
126. Guy C. L. Cold acclimation and freezing stress tolerance: role of protein metabolism//*Annu.Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* -1990.- V.41.- P. 187-223.
127. Аникиенко, Т.И. Практическое применение топинамбура / Т.И. Аникиенко // монография. LAP LAMBER Akademik Publisching GmbH&Co.KG Duweiler Landstr.99, 66123 Saarbrücken, Germany, 2011 g. – 320s.
128. Payne, S. R., D. Sandford, A. Harris, and O. A. Young. (1994). The effects of antifreeze proteins on chilled and frozen meats. *Meat Sci.* 37: 429-438.
129. Войников В. К. Стрессовые белки растений / В. К. Войников, Г. Б. Боровский, А. В. Колесниченко, Г. Е. Рихванов// Иркутск: Издательство института географии СО РАН, 2004. - 141 с.

130. Kuroda, T. In Proc. 4th Topical Conference on Crystal Growth Mechanisms; Hokkaido Press: Japan, 1991; p 157.
131. Goff, H. D., M. Liboff, W. K. Jordan, and J.E. Kinsella. 1987. The effects of Polysorbate 80 on the fat emulsion in ice cream mix : evidence from transmission electron microscopy studies. Food Microstructure. 6 : 193 - 198.
132. Goff, H. D., J. E. Kinsella, and W. K. Jordan. 1989. Influence of various milk protein isolates on ice cream emulsion stability. J. Dairy Sci. 72: 385 – 397.
133. DeVries, Arthur L. “Glycoproteins as Biological Antifreeze Agents in Antarctic Fishes. Science Vol. 172, No.3988. (1971): 1152-1155.
134. Thomashow M. F. Role of cold-responsive genes in plant freezing tolerance // Plant Physiol.- 1998.- V.118.-P. 1-7.
135. Russell A. B., Cheney P. E. and Wantling S. D. 1999. Influence of freezing conditions on ice crystallization in ice cream. J. Food Eng. 39:179-191
136. Koxholt M. M. M., B. Eisenmann, J. Hinrichs. 2001. Effect of the fat globule sizes on the meltdown of ice cream. J. Dairy Sci. 84:31-37.
137. Lang V., Heino P. and Palva E. T. Low temperature acclimation and treatment with exogenous abscisic acid induce common polypeptides in Arabidopsis thaliana (L.) Heynh// Theor. Appl. Genet.- 1989.- V. 77.- P. 729-734.
138. Flores, A. A., and H. D. Goff. 1999. Recrystallization in ice cream after constant and cycling temperature storage conditions as affected by stabilizers. J. Dairy Sci. 82: 1408-1415.
139. Slaughter D, Fletcher G. L, Ananthanarayanan V. S, Hew C. L. Antifreeze proteins from the sea raven, Hemitripterus americanus. Further evidence for diversity among fish polypeptide antifreezes. J Biol Chem. 1981 Feb 25;256(4):2022–2026.
140. Резник К. А. Элементы математической обработки результатов измерения и технологических анализов / Резник К.А. // М.: Агропромиздат, 1986. - 47 с.
141. Туманов И.И. Физиология закаливания и морозостойкости растений. - М.: Наука, 1979. - 350 с.
142. Chene C. Les amidon/ Agro – Jonction.- 2004.- №35, p. 1-10.

143. Толстогузов В. Б. Новые формы белковой пищи. – М.: Агропромиздат. 1987.- 203 с.
145. Yu X-M., Griffith M. Antifreeze proteins in winter rye leaves form oligomeric complexes// Plant Physiol.- 1999.-V.119.- P. 1361-1369.
146. Патент WO/1998/022591, МПК A23G 9 / 32, C07K 14/415, C12N 15/82, заявл. 19.11.1996, опубл. 20.05.1998.
147. Аникиенко, Т.И. Технология выращивания и переработки топинамбура / Т.И. Аникиенко // монография. LAP LAMBER Academic Publisching is a trademark of International Book Market Service Ltd., 17 Meldrum Street, Beau Bassin 71504, Mauritius, Germany, 2019 g. – 160s. ISBN 978-613-9-45490-7.
148. Дунченко, Н. И. Особенности производства функциональных молочных продуктов в современных условиях / Н. И. Дунченко, В. С. Янковская // Пищевые здоровьесберегающие технологии : Сборник тезисов II Международного Симпозиума, посвященного 50-летию КемГУ, Кемерово, 02–03 ноября 2023 года. – Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2023. – С. 360-362.
149. Проектирование комбинированных продуктов питания : методическое указание / И. А. Рогов, А. И. Жаринов, Ю. А. Ивашкин [и др.]. – Москва : Московский государственный университет прикладной биотехнологии, 2005. – 44 с.
150. Волошина, Е. С. Творожный продукт с функциональными ингредиентами / Е. С. Волошина, Н. И. Дунченко, С. В. Купцова // Сыроделие и маслоделие. – 2020. – № 4. – С. 40-42.

Учебное издание

**Дунченко Нина Ивановна
Янковская Валентина Сергеевна
Купцова Светлана Вячеславовна
Волошина Елена Сергеевна
Михайлова Кермен Владимировна**

**НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ПРОИЗВОДСТВА
ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ
ИЗ ЖИВОТНОГО СЫРЬЯ**

Учебное пособие

**ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева
127434 Москва, ул. Тимирязевская, 49**