На правах рукописи

Шобанова Татьяна Владимировна

РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ МОРОЖЕНОГО ПЛОМБИР С МОНОСТАБИЛИЗАТОРАМИ

05.18.04 – Технология мясных, молочных и рыбных продуктов и холодильных производств

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

МОСКВА – 2020

Работа выполнена во Всероссийском научно – исследовательском институте холодильной промышленности – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН

Научный руководитель: доктор технических наук
Творогова Антонина Анатольевна

Официальные оппоненты: **Антипова Татьяна Алексеевна**
доктор биологических наук,
НИИ детского питания (НИИ ДП) – филиал ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», отдел специализированных продуктов детского питания, главный научный сотрудник

Агаркова Евгения Юрьевна
кандидат технических наук,
ФГАНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности»
(ФГАНУ «ВНИМИ»), лаборатория технологии молочно-белковых концентратов, пищевых добавок и производства продуктов на их основе, заведующая лабораторией

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кемеровский государственный университет»

Защита состоится «23» апреля 2020 г. в 13 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д 006.021.02 при ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН по адресу:
109316, г. Москва, ул. Талалихина, 26

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБНУ "Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова" РАН www.vniimp.ru

Автореферат разослан «___» _____ 2020 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник А.Н. Захаров

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы

В России традиционное мороженое пломбир является национальным продуктом, характеризуется сбалансированным химическим составом, в значительной степени обусловленным высокой массовой долей жира (не менее 15%) и его присутствием в виде фазы высокодисперсной суспензии. Для стабилизации структуры и консистенции в производстве традиционного мороженого в основном применяли моностабилизаторы - крахмалы химической модификации (Е1422, Е1442), не обеспечивающие в процессе хранения дисперсность кристаллов льда. В связи с этим срок хранения продукта при температуре не выше минус 18 °С составлял 1,5-3,0 мес.

Производство современного мороженого основано на использовании комплексных пищевых добавок, включающих 1 - 2 эмульгатора и 3 – 4 стабилизатора (КСЭ). Синергетические композиции стабилизаторов и эмульгаторы КСЭ оказывают положительное влияние на дисперсность и стабильность структурных элементов продукта при хранении в течение 6-12 мес.

Однако в мороженом с массовой долей жира 15% и более, применение эмульгаторов, вызывающих частичное деэмульгирование жировой фазы, нежелательно. Наличие свободного жира приводит к ощущению излишней жирности, что нехарактерно для традиционного продукта, и повышает вероятность возникновения пороков структуры из-за образования масляного зерна в процессе механического воздействия во фризере.

Исключение эмульгаторов из рецептуры мороженого и применение эффективных моностабилизаторов (МС) позволит производить продукт без пищевых добавок с индексом Е или с ограниченным (не более 1) их применением.

Таким образом, развитие технологий традиционного мороженого пломбир с эффективными МС, обеспечивающими органолептические показатели традиционного продукта и стабильность структурных элементов в процессе хранения, представляется актуальной задачей.

Степень разработанности темы Значительный вклад в разработку теоретических и практических аспектов производства мороженого и замороженных десертов внесли: Азов Г.М., Arbuckle W.S., Goff H.D., Hartel R.W., Дезент Г.М, Sommer H.H., Marshall R.T., Оленев Ю.А., Творогова А.А., Фильчакова Н.Н.

Цель и задачи исследований

Целью настоящей диссертационной работы является развитие технологий мороженого пломбир с МС, обеспечивающими органолептические показатели традиционного продукта и стабильное состояние его структуры в процессе хранения.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи:**

- аргументировать выбор МС и обосновать эффективность их применения в производстве и хранении мороженого пломбир с учетом влияния на динамическую вязкость, способность интенсифицировать нуклеацию и удерживать воду при колебаниях температуры;

- обосновать роль жировой фазы в стабилизации структуры мороженого пломбир с МС и разработать методику ее количественной оценки;

- исследовать влияние МС на дисперсность структурных элементов в процессе производства и хранения в условиях колебания температуры при традиционном бесконтактном замораживании во фризере и иммерсионном с использованием жидкого азота.

-обосновать химический состав мороженого пломбир с МС, включая экстремальные значения массовых долей жира, лактозы и белка в составе СОМО;

- усовершенствовать технологический процесс производства мороженого пломбир при использовании МС, в части интенсификации нуклеации, возможности проведения гидролиза лактозы при хранении смеси и исключения стадии ее созревания;

-разработать и апробировать на промышленных предприятиях усовершенствованные технологии мороженого пломбир.

Научная новизна работы

Установлены взаимосвязи между:

- растворимостью МС и дисперсностью кристаллов льда в мороженом после фризерования;

- способностью МС удерживать воду в структуре продукта при колебаниях температуры и динамической вязкостью их водных растворов после размораживания.

Впервые предложено применение показателя «содержание структурирующего жира» для оценки участия жира в формировании структуры мороженого одновременно в эмульгированном и деэмульгированном состояниях.

Экспериментально обосновано влияние иммерсионного замораживания азотом на нуклеацию и дисперсность кристаллов льда в мороженом пломбир.

Теоретическая и практическая значимость

Разработаны технологии мороженого пломбир с МС и инструкции по его производству для предприятий отрасли, позволяющие:

- производить мороженое пломбир с эффективными МС;

- исключить из технологического процесса стадию созревания;

- обеспечить высокую дисперсность и стабильность структурных элементов (воздушных пузырьков, кристаллов льда и лактозы) в процессе хранения.

Обоснована возможность проведения гидролиза лактозы на стадии хранения смеси при факторе лактозы более 0,09 с целью исключения ее кристаллизации в процессе хранения мороженого.

Разработана технология мороженого пломбир с использованием иммерсионного способа замораживания.

Методология и методы исследования

Методологическая основа диссертационной работы включает в себя комплекс аналитических и экспериментальных исследований, базирующихся на современных подходах к исследованию показателей качества пищевых продуктов. Основой научных исследований является сопоставительный анализ показателей качества мороженого пломбира: традиционного, с КСЭ и с эффективными МС. Для анализа теоретических данных использовались методы систематизации и

обобщения материалов научно-технических изданий, законодательной и нормативной базы. Для проведения экспериментальной части применялись современные структурно-механические, микроструктурные, термостатические и общепринятые стандартные методы исследований.

Положения, выносимые на защиту

Функциональные свойства МС и возможность их применения в качестве эффективных стабилизаторов структуры мороженого пломбир с м.д.ж. не менее 15%.

Возможность использования показателя «содержание структурирующего жира» ($С_{сж}$) для оценки участия частиц жира в формировании структуры продукта.

Аналитическое и экспериментальное обоснование оптимального химического состава и технологического процесса производства мороженого пломбир с МС.

Степень достоверности и апробация результатов

Степень достоверности результатов работы подтверждается проведением экспериментальных исследований не менее чем в 3-х кратной повторности, использованием современных методов исследований, статистической обработкой данных при доверительной вероятности не менее 0,95.

Основные положения и результаты работы были доложены и обсуждены на Международных конференциях: «Молодежь в науке 2016», Беларусь, г. Минск, 2016; «Экологические, генетические, биотехнологические проблемы и их решение при производстве и переработке продукции животноводства», г. Волгоград, 2017; «Перспективные технологии хранения и переработки сельскохозяйственной продукции» в рамках Международного научно-практического форума «Перспективные технологии в агропромышленном комплексе», г. Краснодар, 2018 и Международных конференциях молодых ученых и специалистов: «Фундаментальные и прикладные исследования по безопасности и качеству пищевых продуктов», г. Видное, 2014; «Управление реологическими свойствами пищевых продуктов», г. Москва, 2015, «Повышение качества, безопасности и конкурентоспособности продукции агропромышленного комплекса в современных условиях», г. Москва, 2015; «Современные подходы к получению и переработке сельскохозяйственной продукции – гарантия продовольственной независимости России», г. Москва, 2016; «Новые ингредиенты и технологии как основа оптимизации затрат в производстве мороженого в условиях импортозамещения», г. Москва, 2016; «Научные подходы к повышению качества агропродовольственной продукции при их производстве и хранении», г. Москва, 2017;

Личное участие соискателя

Проведение анализа научно-технической литературы по теме диссертации, научное обоснование и постановка цели и задач исследования, организация, планирование и проведение экспериментальных исследований, анализ и обобщение полученных результатов, подготовка результатов к опубликованию, участие в конференциях.

Публикации

По материалам выполненных исследований опубликовано 22 печатные работы, в том числе 5 статей в журналах, рекомендуемых ВАК РФ, 1 – в материалах международного конгресса по холоду (ICR 2019, Канада, Монреаль).

Структура и объем работы

Диссертационная работа состоит из введения, обзора литературы, методической части, экспериментальной части, основных результатов и выводов, списка литературы, приложений. Работа изложена на 162 страницах, содержит 32 таблицы, 71 рисунок, 6 приложений. Список литературы содержит 119 наименований отечественных, зарубежных авторов и интернет-ресурсов.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении аргументированы актуальность темы диссертационной работы, цели и задачи собственных исследований, научная новизна и практическая значимость.

В первой главе приведен аналитический обзор отечественной и зарубежной литературы по влиянию на показатели качества мороженого микро - и макронутриентов и параметров технологического процесса производства. Обобщены данные по функциональной роли нутриентов мороженого, включая эмульгаторы и стабилизаторы. Определены особенности производства мороженого пломбир по традиционной технологии. Обоснована целесообразность применения в производстве мороженого с МС их разновидностей нового поколения, получаемых методами физической модификации. Определена возможность интенсификации нуклеации в производстве мороженого при высокой скорости замораживания или при использовании МС, образующих в водных растворах суспендированные субстанции. Проведенный анализ позволил обосновать цель и сформулировать задачи исследования.

Во второй главе изложены организация, объекты и методы проведения исследований. Схема проведения исследований представлена на рис. 1.

Объектами исследований являлись: мороженое пломбир и смеси для его производства, МС - крахмалы из тапиоки (КФМ) или пищевые волокна из целлюлозы (ПВ) физической модификации, КСЭ, нерастворимые пищевые волокна картофельной клетчатки (НПВ), крахмалы нативные и химической модификации (Е1422, Е144). При проведении исследований использовали следующие методы анализа исследуемых объектов:

- структурно-механические для исследования динамической вязкости с использованием реотеста Brookfield DV-II+Pro с программным обеспечением Rheocalc V3.1-1 (1);

- микроструктурные для определения состояния и дисперсности воздушной фазы (2), жировой фазы (3) и кристаллов льда (4) с использованием светового микроскопа Olympus CX 41 с программным управлением, фотокамерой и замораживающим столиком;

- термостатирования для определения термоустойчивости (5) и формоустойчивости (6) по методикам ВНИХИ;

- термостатический метод и кислотный метод Гербера по ГОСТ 5867-90 «Молоко и молочные продукты. Методы определения жира» для определения массовой доли жира, удерживаемой в структуре мороженого (7);

- стандартные методы для определения: массовой доли сухих веществ – по ГОСТ 3626-73 (8); массовой доли СОМО по ГОСТ 54761-2011 (9); массовой доли сахаров – по ГОСТ 54667-2011 (10); массовой доли жира – по ГОСТ 5867-90 (11); температуры - по ГОСТ 31457-2012 (12), взбитости - по ГОСТ 31457-2012 (13), органолептических показателей – по ГОСТ Р ИСО 22935-2-2011(14).

- метод высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ), приведенный в СТБ ISO 22662-2011 Молоко и молочные продукты. Определение содержания лактозы методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (контрольный метод) для определения степени гидролиза лактозы в мороженом (15);

- кондуктометрический метод определения удельной электропроводимости (УЭП) (16);

- расчетные методы: определения доли вымороженной воды (17), криоскопической температуры (18), соотношения СОМО/жир (19), фактора лактозы (20).

Математическая обработка данных проводилась по результатам 3-5 исследований с применением программ Microsoft Excel XP, ImageScope M.

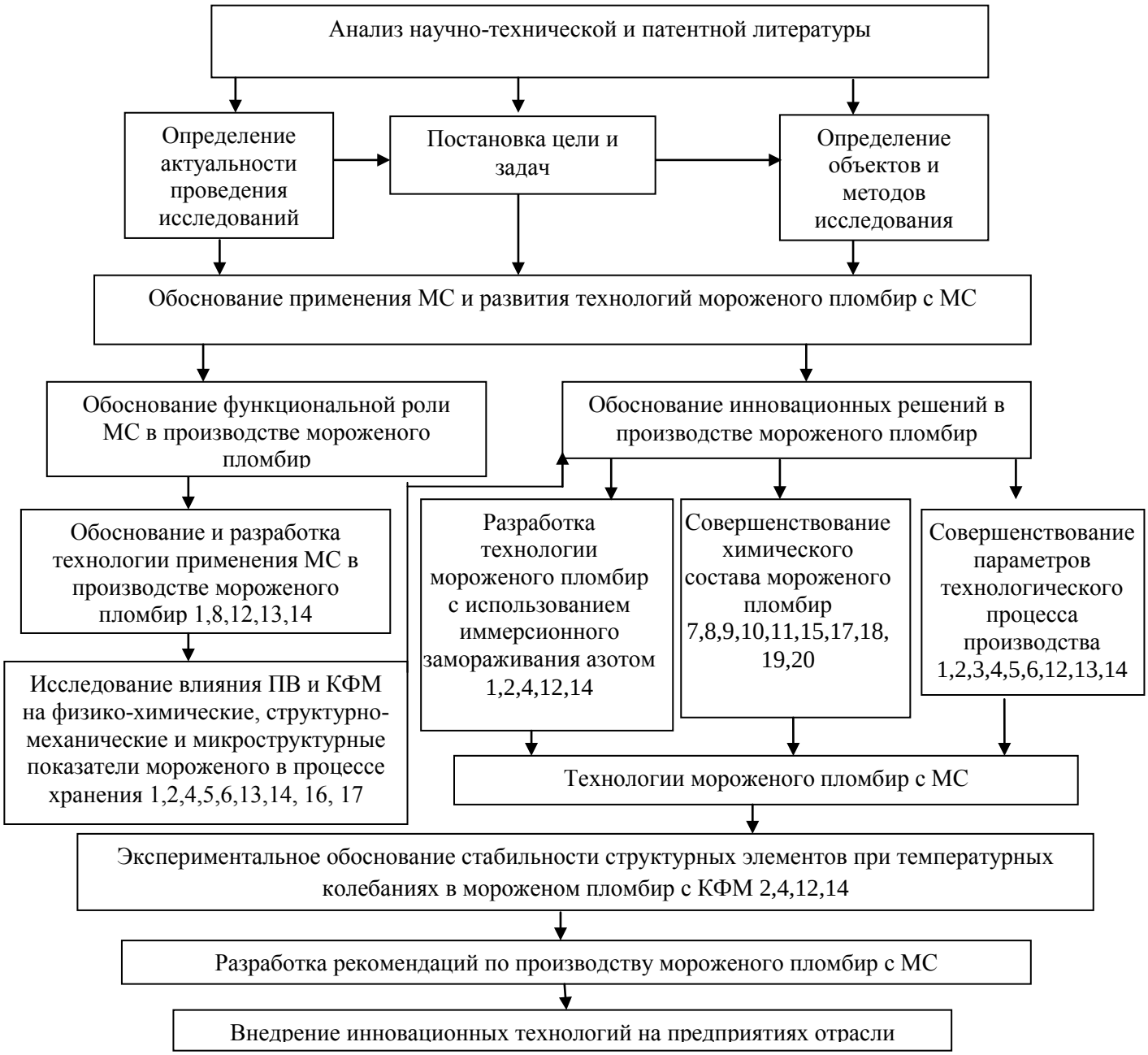


Рисунок 1 - Схема проведения экспериментальных исследований

Глава 3. Экспериментальная часть

В основу исследований положена гипотеза о возможности производства мороженого пломбир с органолептическими показателями традиционного продукта, стабильной дисперсностью структурных элементов путем целенаправленного управления композиционным составом и параметрами технологического процесса при использовании МС, обеспечивающих необходимую вязкость смесей, интенсифицирующих нуклеацию и прочно удерживающих воду в структуре продукта, в том числе при температурных колебаниях.

Исследование динамической вязкости смесей для мороженого и растворимости КФМ и ПВ

В результате аналитических исследованиях произведен выбор МС для мороженого, способных прочно удерживать воду и образовывать в водных

растворах частично нерастворимые (суспендированные) субстанции, что позволяет их использовать в качестве стабилизаторов для мороженого, основная технологическая функция которых – влияние на вязкость смесей.

Установлено, что при массовых долях КФМ 1,0-1,5% и ПВ 0,15-0,35% в смесях для мороженого пломбир достигается оптимальный уровень динамической вязкости – 400-600 мПа·с при градиенте сдвига 0,83 $с^{-1}$, соответствующий уровню вязкости при использовании синергетических композиций стабилизаторов в современных эффективных стабилизационных системах. Наиболее высокая динамическая вязкость смесей достигается при введении ПВ в виде заранее приготовленного коллоидного раствора.

Важным технологическим свойством эффективных стабилизаторов является способность удерживать воду после размораживания, что возможно при колебаниях температуры в процессе хранения. Установлено, что после размораживания динамическая вязкость в растворах КФМ увеличивалась не менее чем в 3,5 раза, а в растворах ПВ – сохранялась или незначительно повышалась, что свидетельствует о способности МС удерживать воду при колебаниях температуры.

Учитывая, что вязкость смесей в значительной степени определяет нуклеацию в связи с влиянием на подвижность молекул воды, исследовано влияние на этот показатель дополнительного фактора – растворимость МС. Наличие в водных растворах МС суспендированных частиц после пастеризации и охлаждения установлено визуально и по показателю «удельная электропроводимость» (УЭП) смесей для мороженого (рис. 2 и 3).

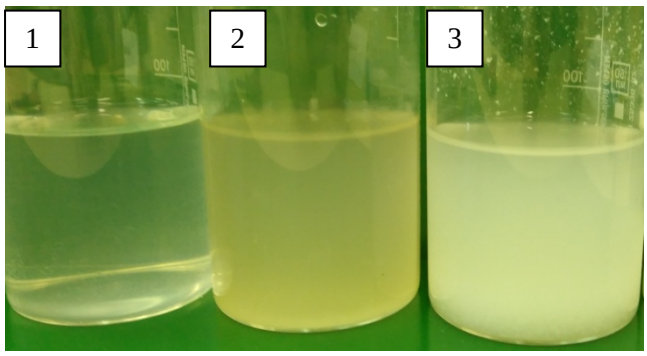


Рисунок 2 – Водные растворы:1-желатина, 2-КФМ, 3-ПВ

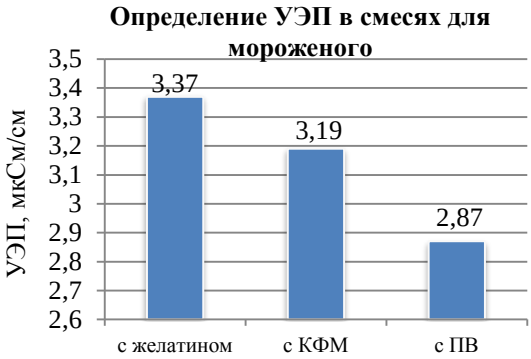


Рисунок 3 – Удельная электропроводимость смесей для мороженого

Из данных рисунка 3 следует, что значения УЭП в образце с ПВ и КФМ меньше, чем в образце с желатином, соответственно на 17,4 % и 5,6 %, что свидетельствует о различном взаимодействии растворенного вещества с водой.

Экспериментальное обоснование влияния м.д.ж., КФМ и ПВ на состояние структуры мороженого пломбир

Обоснование влияния м.д.ж. на состояние структуры мороженого. Известно, что вкус молочного жира обусловлен наличием низкомолекулярных жирных кислот, в связи с этим для его усиления целесообразно производить разновидности мороженого с высокой м.д.ж. – не менее 15 %. При этом в наибольшей степени проявляется и роль жира в формировании структуры

продукта. Для ее количественной оценки разработана «Методика определения содержания структурирующего жира». Содержание структурирующего жира ($С_{сж}$) – выраженное в процентах отношение массовой доли жира, остающегося в продукте после вытекания плава, к массовой доле жира в мороженом.

Установлено, что по мере увеличения м.д.ж. в продукте $С_{сж}$ повышается (табл.1). В частности, в мороженом с м.д.ж. 15% значительная часть жира (не менее 50%) участвует в формировании структуры продукта.

Таблица 1 – Содержание структурирующего жира в мороженом пломбир с МС и КСЭ.

Массовая доля жира в мороженом, %	Наименование стабилизатора	Массовая доля жира в плаве, %	$С_{сж}$,%
12	ПВ	9	25
15	ПВ	7	53
18	ПВ	5	72
20	ПВ	3	85
15	КФМ	5	67
15	КСЭ	1,5 - 4,0	74 - 90

Как видно из таблицы 1, $С_{сж}$ при минимально возможной в мороженом пломбир м. д. жира 12% и 15% в традиционных разновидностях составляет 25% и 53 %, соответственно.

Влияние КФМ и ПВ на дисперсность кристаллов льда

Основными структурными элементами мороженого являются кристаллы льда и воздушные пузырьки. Их доля в объеме мороженого пломбир при максимально допустимой взбитости (130 %) составляет, соответственно 27% и 56% (рис. 4).

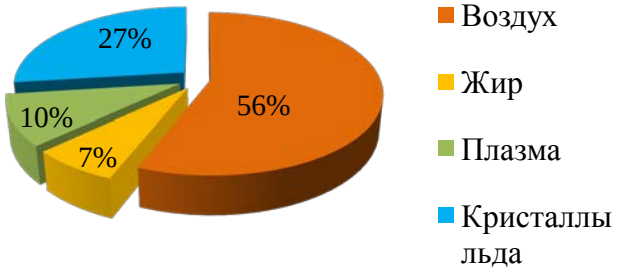


Рисунок 4- Объемная доля составных частей мороженого пломбир с м.д. жира 15%

Установлено, что по мере повышения массовой доли жира в мороженом пломбир12%, 15 %, 18 % и 20 % с ПВ дисперсность кристаллов льда повышается незначительно (рис.5).

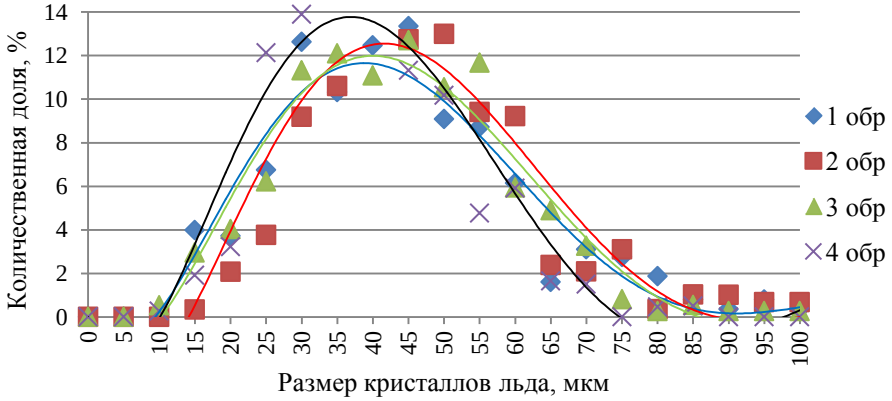


Рисунок 5 - Распределение по размерам кристаллов льда в мороженом пломбир с массовой долей жира 12% (обр. №1), 15 % (обр. №2), 18 % (обр. №3) и 20 % (обр. №4) через 1 месяц хранения при температуре минус18 °С

Как следует из данных рисунка 5, пик дифференциальной кривой распределения кристаллов льда в мороженом с м.д.ж. 12% и 20% определяется величинами 40 мкм и 35 мкм, соответственно.

Установлено, что в процессе хранения по дисперсности кристаллов льда мороженое пломбир с КФМ с массовой долей жира 15 % и с КСЭ отличалось незначительно (рис.6). Высокая дисперсность кристаллов льда в образце с КФМ сохранялась в течение 6 месяцев хранения, средний размер кристаллов льда не превышал 38 мкм.

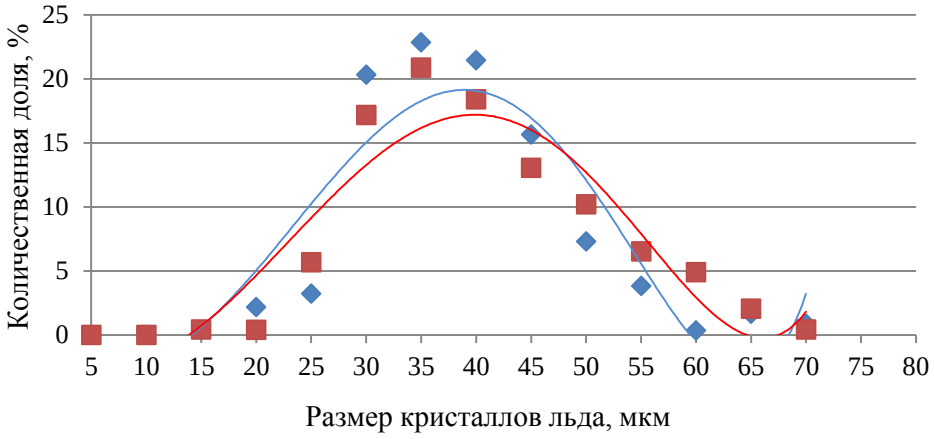
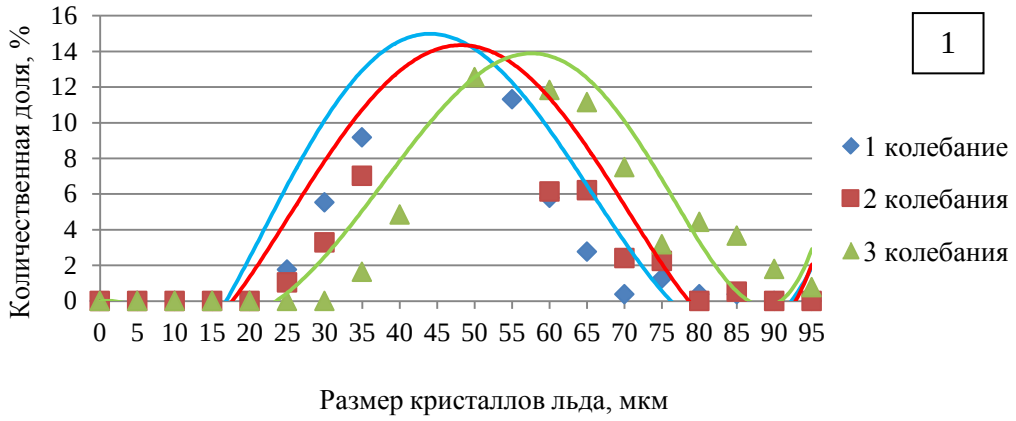


Рисунок 6 - Распределение кристаллов льда по размерам в мороженом пломбир через 6 месяцев хранения: ■ с КФМ; ◆с КСЭ

Установлено, что в мороженом с КФМ дисперсность кристаллов льда при температурных колебаниях в диапазоне «минус 18 °С - минус 12 °С - минус 18 °С» снижается менее заметно, чем в случае использования КСЭ, что подтверждает взаимосвязь показателей «вязкость смеси после размораживания» и «способность стабилизаторов удерживать воду в структуре продукта» (рис.7).



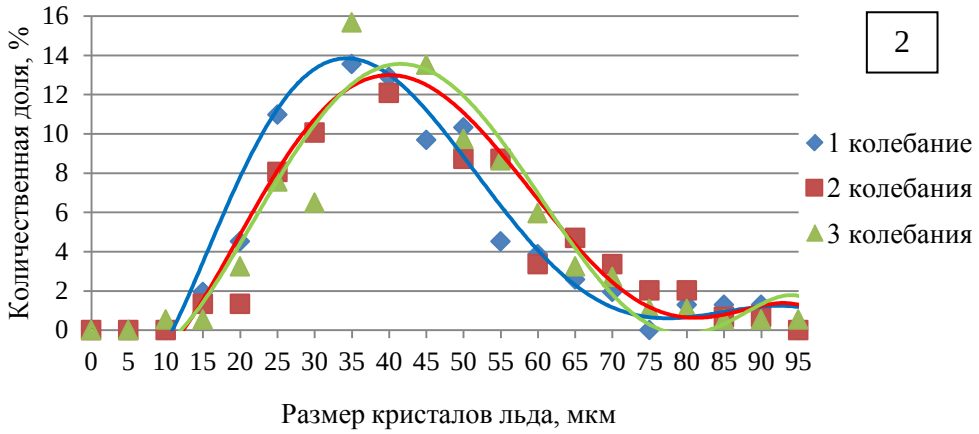
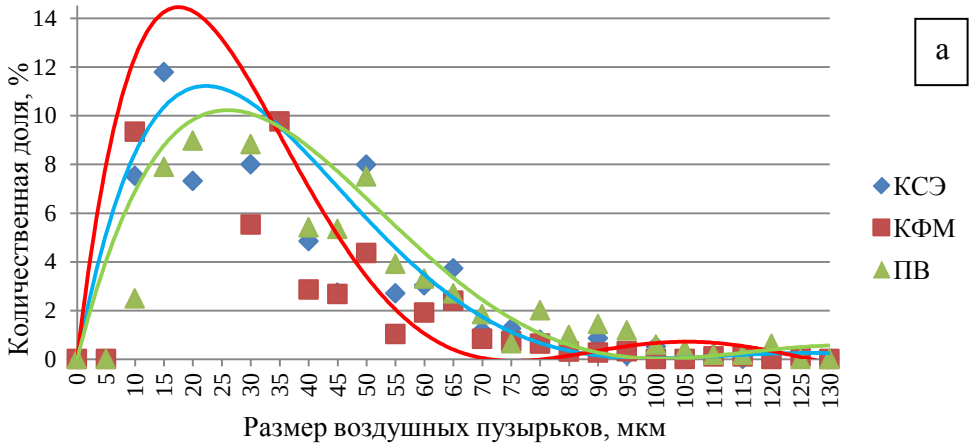


Рисунок 7 - Распределение кристаллов льда по размерам в мороженом пломбир: 1- с КСЭ; 2 – с КФМ

Как видно из представленных на рисунке данных, после 3-х колебаний температуры смещение пика дифференциальной кривой распределения произошло при использовании КСЭ на 10 мкм, КФМ – на 5 мкм, что свидетельствует о способности КФМ нивелировать влияние температурных колебаний.

Влияние КФМ и ПВ на дисперсность воздушной фазы

Установлено, что по показателю «дисперсность воздушной фазы» мороженое с МС уступает продукту с КСЭ. При этом следует отметить наиболее заметное снижение дисперсности при использовании в мороженом КФМ (рис.8 б и 9).



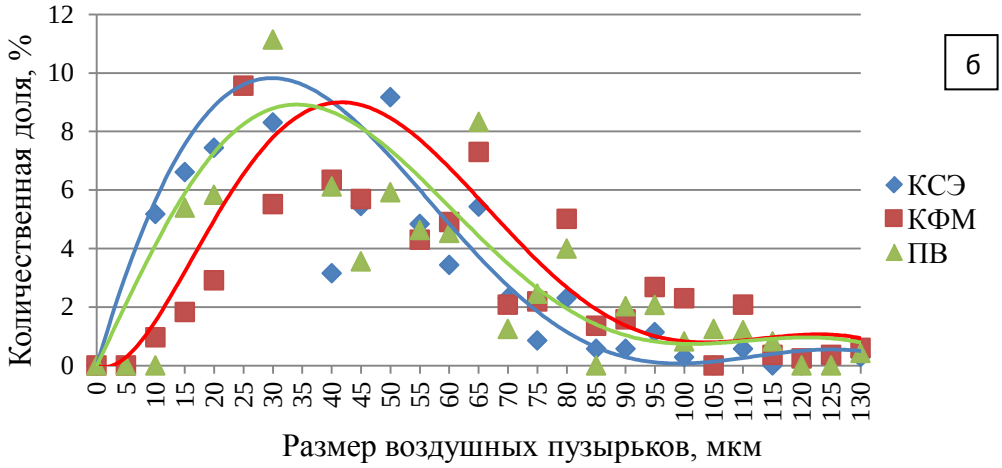


Рисунок 8 - Распределение воздушных пузырьков по размерам:
а) после закаливания и б) через 6 месяцев хранения

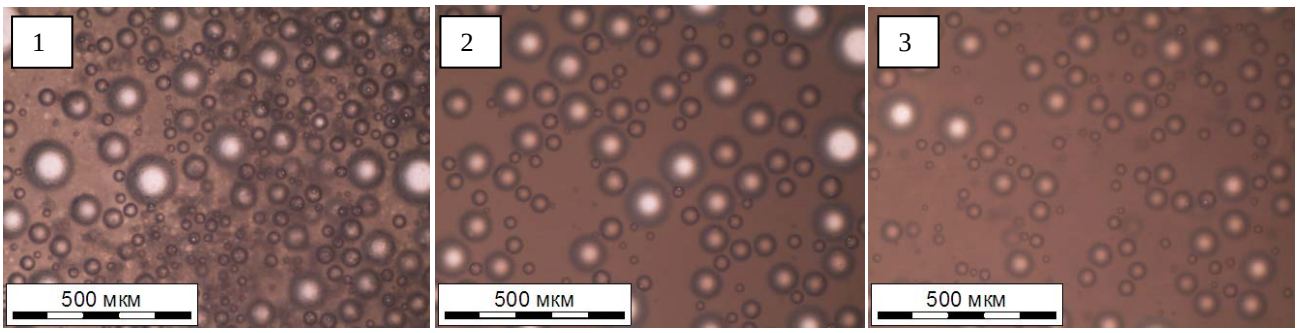


Рисунок 9 - Состояние воздушной фазы через 6 мес. хранения в мороженом с массовой долей жира 15% жирности: 1- КСЭ, 2 – с КФМ, 3 - ПВ

Вероятно, что снижение дисперсности воздушной фазы при использовании КФМ происходит из-за близкого менее 10 мкм (энергетический барьер) расположения пузырьков, что приводит к их частичной коалесценции и не обеспечивает длительную (до 12 мес.) стабильность частиц (рис.10).

Через 6 месяцев хранения произошло снижение количества мелких пузырьков (до 50 мкм) в образце с КСЭ на 8 %, в образце с ПВ – на 19%, с КФМ – на 22%.

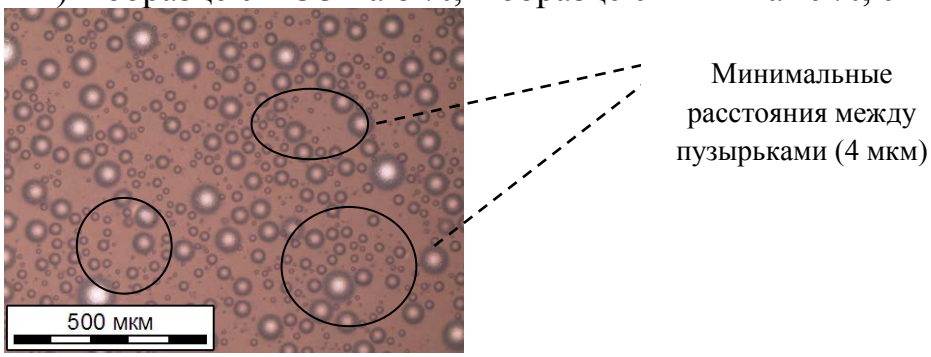


Рисунок 10 – Микрофотография состояния воздушной фазы в мороженом с КФМ

Влияние КФМ и ПВ на термо- и формоустойчивость мороженого

Установлено, что в мороженом с КФМ отсутствие эмульгаторов отрицательно отразилось на его термо- и формоустойчивости (рис. 11-12). Это необходимо учесть при выборе вида фасования продукта, предпочтение следует отдать упаковке из полимерных материалов и вафельным изделиям.

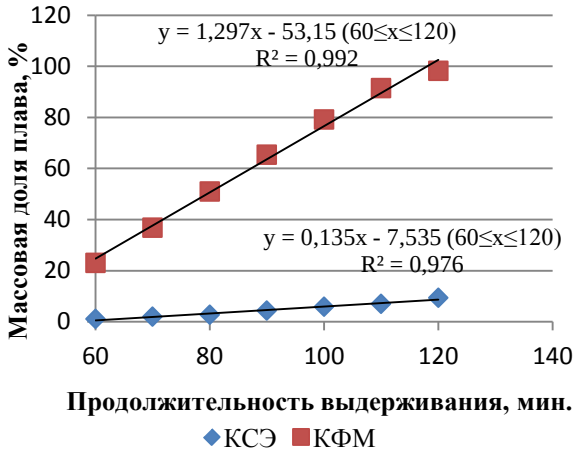


Рисунок 11 - Зависимость массовой доли плава от продолжительности выдерживания мороженого при температуре 20 °С

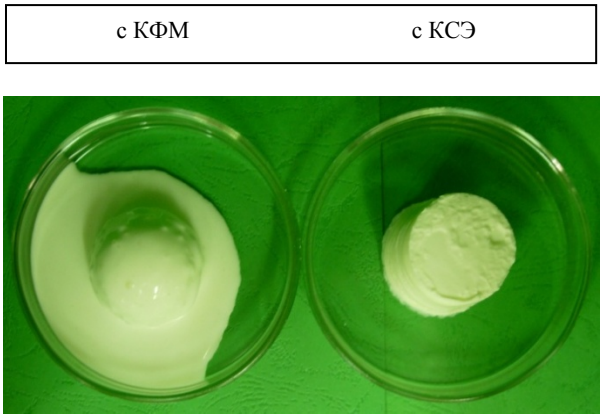


Рисунок 12 - Формоустойчивость мороженого через 30 мин. выдержки при температуре 20 °С

Определено, что на термоустойчивость мороженого пломбир влияет растворимость пищевых волокон (рис. 13) . Возможно это связано с влиянием на вязкость. В смеси с ПВ динамическая вязкость смесей составила 310 мПа·с, с НПВ этот показатель был ниже в 3,7 раза.

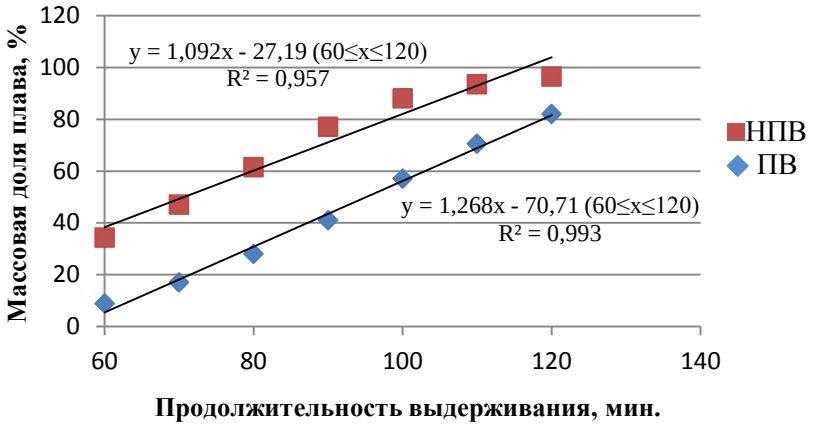


Рисунок 13 – Зависимость массовой доли плава от продолжительности выдерживания мороженого при температуре плюс 20 °С

Данные, приведенные на рисунке 13, показывают, что по термоустойчивости образец с НПВ заметно уступает образцу с ПВ, массовая доля плава в образцах через 60 минут отличалась в 4 раза.

Исследование особенностей формирования структуры при инициировании нуклеации

В качестве факторов, инициирующих нуклеацию, были рассмотрены: присутствие частиц НПВ и «иммерсионное замораживание» с использованием жидкого азота.

Исследована дисперсность мороженого пломбир с ПВ и НПВ. Установлено, что у НПВ способность инициировать образование кристаллов льда (рис. 14), определяемая по их дисперсности, больше в 1,1-1,2 раза. Однако в процессе хранения по этому показателю мороженое с ПВ стало значительно превосходить продукт с НПВ.

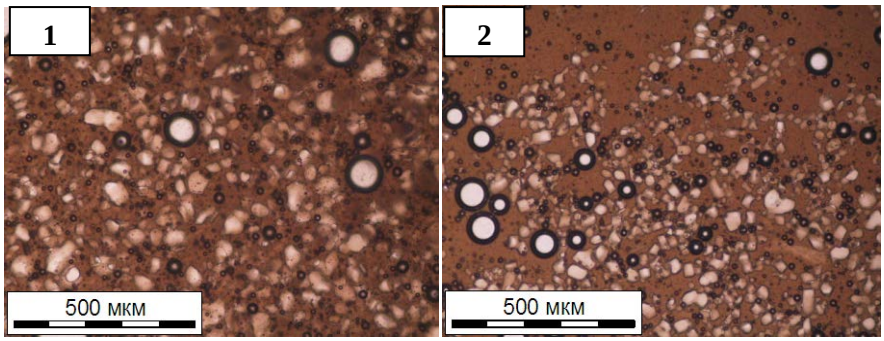


Рисунок 14 - Микрофотографии кристаллов льда в мороженом через 1 месяц хранения: 1 – с ПВ; 2 – с НПВ

При исследовании особенностей формирования структуры мороженого пломбир при иммерсионном замораживании с использованием жидкого азота принимали во внимание то, что в промышленных условиях центры кристаллизации воды образуются лишь в процессе фризерования смеси (частичного замораживания и насыщения воздухом). Оставшаяся около 50 % незамерзшая вода при дальнейшем замораживании продукта кристаллизуются на уже существующих кристаллах льда, увеличивая их в размерах. Замена хладоносителей на начальной стадии замораживания аммиака и фреона, температура которых в процессе передачи теплоты через стенку фризера составляет, соответственно минус 45,6°С и минус 40 °С, на хладоноситель с более низкой температурой кипения (в частности, азот) будет способствовать большему числу центров кристаллизации, что и отражается на дисперсности кристаллов льда в готовом продукте.

Исследования показали, что экспериментальные образцы, полученные при использовании жидкого азота, характеризуются более мелкими кристаллами по сравнению с полученными во фризере, соответственно размером 25 и 40 мкм (рис. 15).

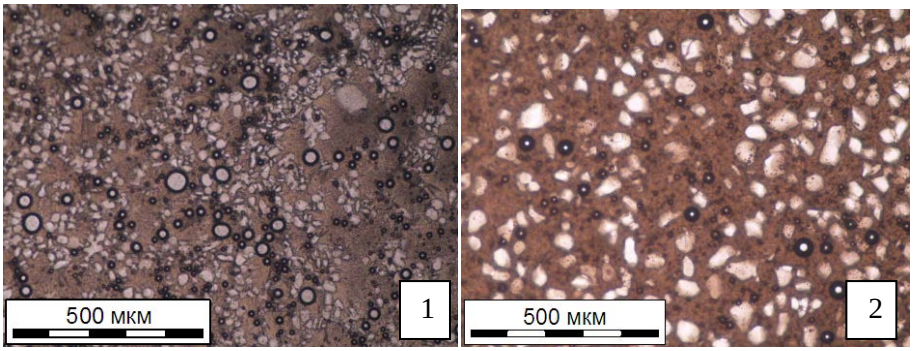


Рисунок 15 – Микрофотографии кристаллов льда в мороженом после замораживания: 1-жидким азотом; 2- во фризере

При последующем хранении мороженого пломбир при температуре минус 18, 30, 40 °С установлено, что температура закаливания изначально не оказывает значительного влияния на дисперсность кристаллов льда (рис. 16).

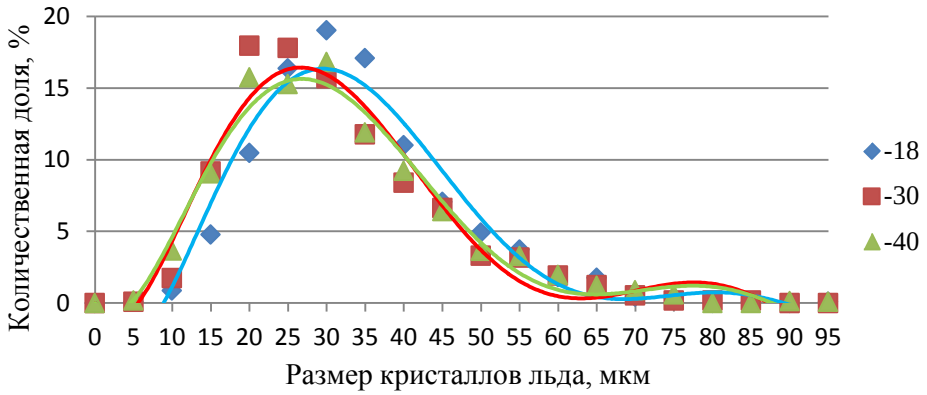


Рисунок 16 - Распределение кристаллов льда по размерам в мороженом с м.д.ж. 15% при температуре минус 18 °С, минус 30 °С и минус 40 °С

Как следует из данных рисунка 16, количество кристаллов льда менее 30 мкм в образцах мороженого, подвергнутых закаливанию при температурах минус 18, 30, 40 °С, практически не отличается.

Научное обоснование нутриентного состава и технологий мороженого пломбир с МС

На основании аналитических и экспериментальных исследований определены аспекты создания технологий мороженого пломбир с МС:

- строго определенный химический состав продукта, в частности массовые доли жира и СОМО, с целью достижения максимального использования их технологической функциональности;

- создание условий для интенсификации нуклеации;

- обеспечение высокой дисперсности структурных элементов в процессе хранения за счет: применения МС, прочно удерживающих воду в структуре продукта и обеспечивающих стабильную дисперсность кристаллов льда в процессе хранения, включая колебания температуры; создания температурных условий для сохранения дисперсности воздушной фазы и регулирования массовой доли лактозы во избежание ее кристаллизации в процессе хранения.

Обоснование массовой доли СОМО. Для определения оптимальной массовой доли СОМО в мороженом пломбир с различной м.д.ж. разработаны номограммы, учитывающие связь массовой доли СОМО с м.д.ж. и фактором лактозы. При их практическом использовании рекомендовано исходить из того, что оптимальным является отношение СОМО/жир равное 0,7, значение фактора лактозы (соотношение массовых долей лактозы и воды) не должно превышать значения 0,09 (рис. 17 и 18).

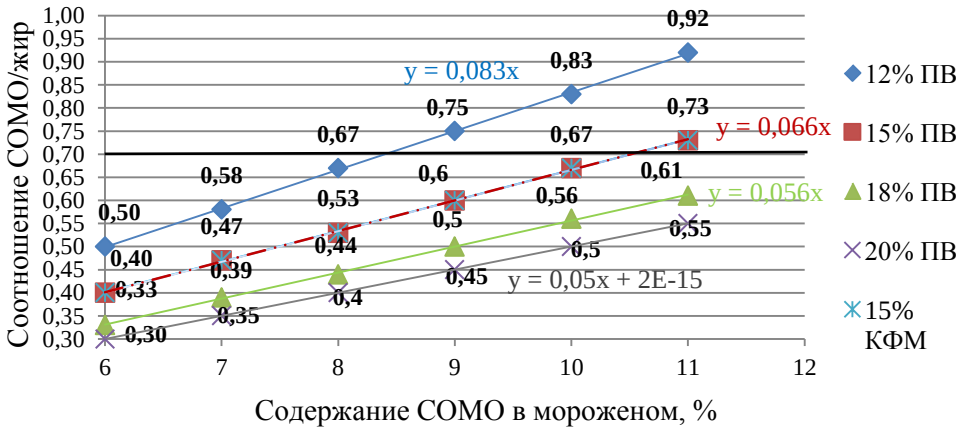


Рисунок 17 – Соотношение СОМО/жир в смесях с ПВ и КФМ

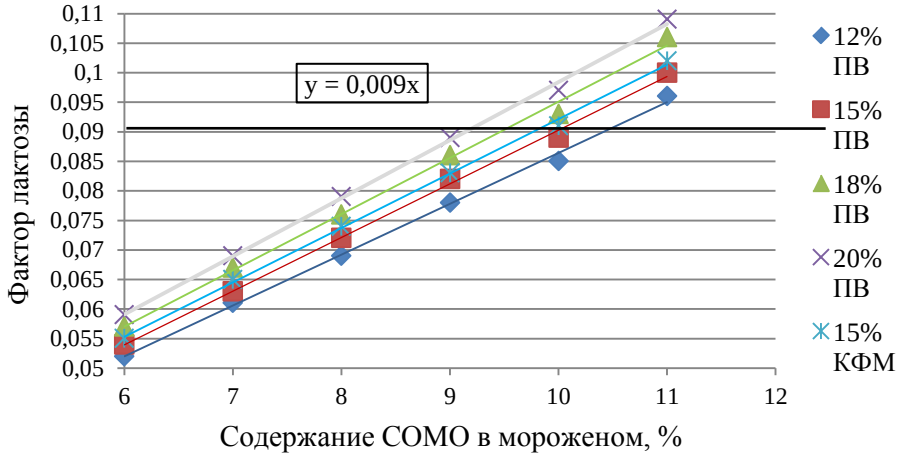


Рисунок 18 – Фактор лактозы в смесях с ПВ и КФМ

Использование номограмм позволило установить, что в мороженом пломбир с массовой долей жира 15 % и СОМО 10 % во фризере возможна частичная дестабилизация и агломерирование жировой фазы – эффекты, целенаправленно достигаемые при использовании эмульгаторов в составе стабилизационных систем. Кроме того, структурирование жировой фазы в мороженом пломбир возможно из - за высокой м.д.ж. в продукте.

Совершенствование технологического процесса производства мороженого пломбир с МС

Данные рисунков 17 и 18 свидетельствуют о нестабильности системы с м.д.ж. более 15% в части возможной кристаллизации лактозы и дестабилизации жировой фазы после фризерования.

Во избежание вероятности нежелательных изменений структурно-механических и органолептических характеристик мороженого пломбир за счет кристаллизации лактозы обоснована возможность включения в технологический процесс стадии гидролиза лактозы. В результате ферментативного гидролиза с применением фермента ß – галактозидаза содержание лактозы в мороженом снизилось более чем в 10 раз, что позволяет исключить вероятность кристаллизации лактозы в процессе хранения.

Обоснована целесообразность повышения дисперсности жировой фазы в мороженом пломбир с целью регулирования вязкости и количества структурирующего жира. С этой целью апробированы различные параметры

гомогенизации смесей и установлены их значения, обеспечивающие средний размер жировых частиц не более 1 мкм (табл. 2).

Таблица 2 - Оптимальное давление гомогенизации смесей для мороженого пломбир с ПВ

Массовая доля жира в смеси, %	Давление гомогенизации 1ст/2ст, МПа
12	14/5
15	11/5
18	8/3
20	7/3

Для смесей мороженого пломбир с м.д.ж. 15 % с КФМ определены оптимальные режимы гомогенизации (1ая ступень 11 МПа, 2ая ступень 5 МПа).

Полученные результаты показали, что использование ПВ и КФМ в качестве стабилизаторов без дополнительного использования эмульгаторов позволяет перерабатывать охлажденную смесь без выдержки для созревания. Это позволяет увеличить объем производства мороженого в летнее время, когда спрос на него значительно повышается.

Исследовали влияние давления гомогенизации на эффективную вязкость смеси, и размер жировых частиц гомогенизированной (обр.1) и негомогенизированной (обр.2) смесей с ПВ. Вязкость смеси в образце 1 составила 435 мПа·с, что в 10 раз выше вязкости образца 2. Установлено, что в образце негомогенизированной смеси присутствуют крупные и сгруппированные в кластеры жировые шарики. При этом образец гомогенизированной смеси характеризуется наибольшим количеством мелких жировых частиц до 2 мкм по сравнению с образцом без гомогенизации (рис. 19).

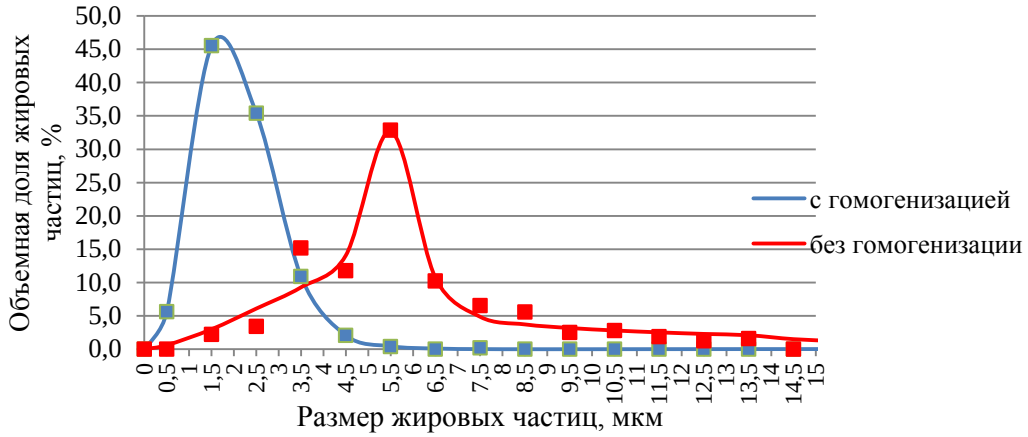


Рисунок 19– Распределение жировых частиц по размерам в смесях 15 % жирности с ПВ

Пик дифференциальной кривой распределения жировых частиц в гомогенизированной смеси соответствует значению 1,5 мкм, в негомогенизированной - 5,5 мкм, при этом содержание жировых шариков с размером до 1,5 мкм составило, соответственно, 45,5 % и 2,0 %.

В результате полученных данных установлены параметры технологического процесса производства мороженого пломбир с МС. На рис. 20 представлена схема технологического процесса производства мороженого с МС и КСЭ в условиях технически оснащенных предприятий.

Основные результаты и выводы

Разработаны технологии мороженого пломбир с использованием эффективных МС (пищевых волокон и крахмалов) - продуктов физической модификации с органолептическими показателями традиционного продукта и стабильной в течение 6 мес. дисперсностью структурных элементов. В результате проведенных исследований сделаны следующие выводы:

1. Экспериментально обоснована функциональная роль МС в производстве мороженого пломбир: способность обеспечивать динамическую вязкость 400 – 600 мПа·с при градиенте сдвига 0,83 $с^{-1}$, прочно удерживать воду в структуре продукта и образовывать в воде суспендированные субстанции, интенсифицирующие нуклеацию.

Установлена взаимосвязь показателей «вязкость растворов МС после размораживания» и «дисперсность кристаллов льда в мороженом при температурных колебаниях».

2. Аргументировано использование показателя «содержание структурирующего жира» ($С_{сж}$) для количественной оценки жира, участвующего в формировании структуры мороженого в деэмульгированном и суспендированном состояниях и разработана методика его определения. Экспериментально установлено, что $С_{сж}$ в мороженом пломбир с м.д.ж. 12 - 20 % составляет 25 –90 %.

3. Проведен сравнительный анализ дисперсности структурных элементов в мороженом пломбир с КСЭ и МС. Установлено:

- мороженое пломбир с МС по дисперсности кристаллов льда не уступает продукту с КСЭ, в частности при использовании КФМ средний размер кристаллов льда даже через 6 мес. хранения и после 3-х колебаний температуры (со значения минус 18°С до минус 12 °С) не превышал 42 мкм (при пороге органолептической ощутимости 50 мкм);

- при использовании КФМ, ПВ и КСЭ средний диаметр воздушных пузырьков не превышает значений 25, 36 и 32 мкм, соответственно, однако, через 6 месяцев хранения отмечено снижение количества мелких пузырьков (до 50 мкм) в образцах с КСЭ на 8 %, с ПВ – на 19%, с КФМ – на 22%, что необходимо учитывать при обосновании срока годности продукции.

4. Обоснованы требования к химическому составу мороженого пломбир с МС с учетом технологически значимых показателей $С_{сж}$ не менее 50 % и показателя «фактор лактозы» не более 0,09.

5. Определены направления повышения эффективности технологического процесса производства мороженого пломбир с МС, базирующиеся на интенсификации нуклеации. В частности, установлено, что увеличение скорости замораживания в условиях быстрого отвода теплоты при иммерсионном замораживании способствует повышению дисперсности кристаллов льда в 1,5 – 1,6 раза по сравнению с полученной при бесконтактном замораживании во фризере.

6. Разработаны технологии и техническая документация по производству мороженого с МС с научно обоснованным качественным и количественным составом, позволяющие:

- производить мороженое пломбир с эффективными МС, без пищевых добавок или с ограниченным их применением;

- управлять процессом производства мороженого пломбир путем создания условий для перехода МС в активное состояние, интенсификации нуклеации и достижения высокой дисперсности структурных элементов (жировых частиц, кристаллов лактозы и льда);

- исключить из технологического процесса стадию созревания, что позволяет увеличить объем производства мороженого в период повышенного спроса;

- снизить содержание лактозы при риске ее кристаллизации в процессе хранения путем проведения гидролиза лактозы при температуре 4±2 °С при резервировании смеси.

Технология мороженого пломбир с МС апробирована и внедрена на предприятиях: ООО «Лагуна Койл» (Группа компаний «Русский Холодъ»), ООО «Йошкар – Олинский Хладокомбинат».

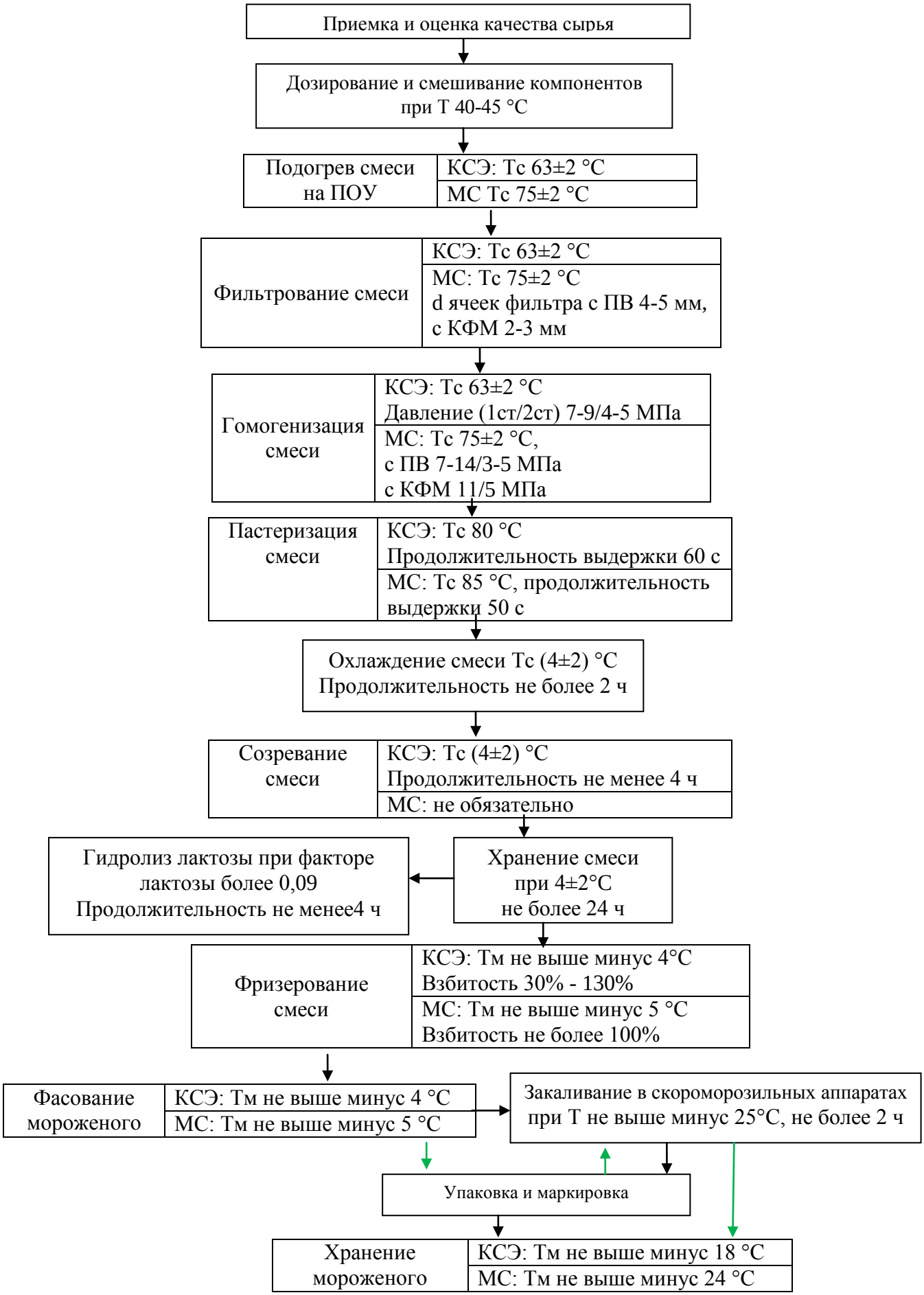


Рисунок 20 – Технологическая схема производства мороженого пломбир с МС и КСЭ в условиях технически оснащенных предприятий

По материалам диссертации опубликованы следующие работы:

1. Antonina A. Tvorogova, Natalia V. Kazakova, **Tatyana V. Shobanova**, Georgy A. Belozerov. (2019).Control of the process of structure formation of “premium” class ice cream using monostabilizers. Proceedings of the 25-th IIR International Congress of Refrigeration, Montreal, Canada. P. 2901-2907. DOI: 10.18462/iir.icr.2019.0216.

Статьи в изданиях из перечня рецензируемых ВАК:

2. Творогова, А.А. Обоснование функциональной роли пищевых волокон SenseFiв технологии мороженого / А.А. Творогова, П.Б. Ситникова, **Т.В. Коновалова**, В.Н. Базалий, В.П. Герасимчук // Пищевая промышленность. – 2014. - № 12. – С.46-48.

3. Творогова, А.А. Обоснование технологической функциональности нативных крахмалов в производстве мороженого без пищевых добавок / А.А. Творогова, **Т.В. Коновалова** // Холодильная техника. –2015. - № 6. – С.39-42.

4. Творогова, А.А. Особенности применения ПВ «SenseFi» в производстве мороженого пломбир/ А.А. Творогова, **Т.В. Коновалова**, И.А. Гурский, В.Н. Базалий, С.В. Аврамова //Пищевая промышленность.– 2016. -№10. – С. 34-36.

5. **Коновалова, Т.В.** Исследование особенностей формирования структуры мороженого в среде жидкого азота / Т.В. Коновалова, А.А. Творогова // Холодильная техника. – 2017. - № 1. – С.58-61.

6. Творогова, А.А. Исследование структурирующей способности жира в мороженом пломбир без эмульгаторов / А.А. Творогова, **Т.В. Шобанова**, П.Б. Ситникова, Я.В. Бабаджанян // Холодильная техника. – 2019. - № 5. – С.36-39.

Статьи в прочих изданиях:

7. **Коновалова, Т.В.** Особенности формирования структуры в мороженом с «чистой» и «простой» этикетками /Т.В. Коновалова, А.А. Творогова, П.Б. Ситникова// Мир мороженого и быстрозамороженных продуктов. –2014.-№ 6. – С.16-17.

8. Творогова, А.А. Новые возможности в стабилизации структуры мороженого / А.А. Творогова, П.Б. Ситникова, **Т.В. Коновалова**// Пищевые ингредиенты: сырье и добавки. – 2014. - № 2. – С.25.

9. **Коновалова, Т.В.** Технологически значимые показатели мороженого без пищевых добавок// Т.В. Коновалова, А.А. Творогова// В сборнике: Пути интенсификации производства и переработки сельскохозяйственной продукции в современных условиях материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Волгоград. – 2014. – С.95-98.

10. **Коновалова, Т.В.** Особенности формирования структуры в мороженом с «чистой» и «простой» этикетками / Т.В. Коновалова, П.Б. Ситникова// В сборнике: Фундаментальные и прикладные исследования по безопасности и качеству пищевых продуктов Сборник научных трудов VIII Международной конференции молодых ученых и специалистов. ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования». – 2014. – С.112-115.

11. Творогова, А.А. Характеристики мороженого высокого качества / А.А. Творогова, **Т.В. Коновалова**, А.В. Спиридонова // Империя холода. – 2015. - № 5. – С.70-71.

12. Творогова, А.А. Проекты «простой» и «чистой» этикеток для мороженого / А.А. Творогова, П.Б. Ситникова, **Т.В. Коновалова** // Империя холода. – 2015. - № 1. – С.75-76.

13. Творогова, А.А. Мороженое без пищевых добавок. Новые возможности в стабилизации структуры /А.А. Творогова, **Т.В. Коновалова**, П.Б. Ситникова, А.В. Спиридонова //В сборнике: Научно-практическое обеспечение холодильной промышленности Сборник научных трудов к 85-летию ВНИХИ. Под общей редакцией Белозерова Г.А. – Москва – 2015. – С.390-397.

14. **Коновалова, Т.В.** Влияние крахмалов физической модификации на вязкость смесей для мороженого / Т.В. Коновалова, А.А. Творогова// В сборнике: Управление реологическими свойствами пищевых продуктов материалы Четвертой научно-практической конференции с международным участием. – Москва.- 2015. – С.140-144.

15. **Коновалова, Т.В.** Особенности замораживания смесей мороженого в среде жидкого азота / Т.В. Коновалова, А.А. Творогова, Е.А. Крюковских // В сборнике: Повышение качества, безопасности и конкурентоспособности продукции агропромышленного комплекса в современных условиях IXМеждународная конференция молодых ученых и специалистов. – Москва.- 2015. – С.119-123.

16. **Коновалова, Т.В.** Исследование влияния давления гомогенизации на вязкость смесей для мороженого /Т.В.Коновалова, А.А. Творогова//
X Международная научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов отделения сельскохозяйственных наук РАН.- Москва.- 2016.- №1. – С.158-162.

17. **Коновалова, Т.В.** Исследование особенностей формирования структуры мороженого в среде жидкого азота /Т.В.Коновалова, А.А. Творогова//
XIII Международная научная конференция «Молодежь в науке – 2016» , г. Минск, Беларусь. - 2016 г. – С. 50-51.

18. **Коновалова, Т.В.** Что использовать вместо пищевых добавок? Особенности производства мороженого пломбир без пищевых добавок и с ограниченным их применением. – Империя холода. – 2017. - № 2. – С.75-76.

19. **Шобанова, (Коновалова) Т.В.** Научно-практическое обоснование возможности формирования структуры мороженого пломбир без использования эмульгаторов / Т.В. Шобанова, А.А. Творогова// В сборнике: Пищевые системы: теория, методология, практика сборник научных трудов XI Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов отделения сельскохозяйственных наук РАН. – 2017.- С.389.

20. **Коновалова, Т.В.** Совершенствование технологии мороженого премиум-класса / Т.В. Коновалова, А.А. Творогова // В сборнике: Экологические, генетические, биотехнологические проблемы и их решение при производстве и переработке продукции животноводства материалы Международной научно-практической конференции. – Волгоград. - 2017. – С.120-125.

21. **Шобанова Т.В.** Влияние жировой фазы на технологически значимые показатели мороженого пломбир без эмульгаторов / Т.В. Шобанова,
А.А. Творогова // Пищевые системы. – 2018. – том 1. -№2. – С.4-11.

22. **Шобанова Т.В.** Исследование и оценка дисперсности кристаллов льда в мороженом пломбир / Т.В. Шобанова, А.А. Творогова// Научные труды Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия Международная научно-практическая конференция «Перспективные технологии хранения и переработки сельскохозяйственной продукции», г. Краснодар. - 2018 г. – С88-91.

Список сокращений, приведенных в работе

ГОСТ – государственный стандарт;
КСЭ – комплексный стабилизатор-эмульгатор
КФМ – крахмал физической модификации;
М.д. – массовая доля;
М.д.ж. – массовая доля жира;
МС – моностабилизатор;
НПВ – нерастворимое пищевое волокно;
ПВ – пищевое волокно;
ПОУ – пастеризационно - охладительная установка;
СЖ – структурирующий жир;
СОМО – сухой обезжиренный молочный остаток;
ТИ – технологическая инструкция.
УЭП – удельная электропроводимость.