На правах рукописи

ЛОГИНОВА Ирина Вячеславовна

СТРУКТУРНОЕ СОСТОЯНИЕ ЖИРОВОЙ ФАЗЫ СЫРОВ И СЫРНЫХ ПРОДУКТОВ КАК ФАКТОР ВЛИЯНИЯ НА КАЧЕСТВО

Специальность 05.18.04 – технология мясных, молочных
и рыбных продуктов и холодильных производств

АВТОРЕФЕРАТ
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 2020

Работа выполнена во Всероссийском научно-исследовательском институте маслоделия и сыроделия – филиале Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН

Научный руководитель: доктор технических наук,
старший научный сотрудник
Лепилкина Ольга Валентиновна

Официальные оппоненты: **Гаврилова Наталья Борисовна**
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина»,
кафедра продуктов питания и пищевой биотехнологии агротехнологического факультета,
профессор

Новокшанова Алла Львовна
кандидат технических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина»,
кафедра технологии молока и молочных продуктов технологического факультета,
доцент

Ведущая организация: ГБУ ЯО «Ярославский государственный институт качества сырья и пищевых продуктов»

Защита состоится « » 2020 года в часов на заседании диссертационного совета Д 006.021.02 при ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН по адресу 109316, Москва, 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 года.

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

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В сыродельной отрасли молочной промышленности наряду с производством сыров получило широкое распространение производство сырных продуктов с заменителями молочного жира (ЗМЖ)[1], использование которых позволяет устранить дефицит сырья во время сезонного снижения производства молока, увеличить объемы выпуска сыродельной продукции, снизить ее себестоимость и цену. Сырные продукты составляют отдельную группу продуктов сыроделия, привлекательную как для малообеспеченных слоев населения, так и для приверженцев здорового питания, рассматривающих молочный жир как источник насыщенных жирных кислот и холестерина, негативно влияющих на здоровье. Вместе с тем они зачастую уступают сырам по органолептическим показателям, что связано с изменением состава и структуры жировой фазы, которая формируется с участием эмульсии заменителя молочного жира.

В процессе изготовления сыров и сырных продуктов структура их жировой фазы подвергается существенным преобразованиям. Под воздействием комплекса физико-химических, физических, биохимических и микробиологических факторов происходит повреждение оболочек жировых глобул, в результате чего образуется свободный жир, присутствие которого является необходимым условием для протекания липолиза с образованием веществ, участвующих в формировании вкуса и аромата. Это особенно важно для сырных продуктов, отличающихся от сыров структурой оболочек жировых глобул, образующихся при эмульгировании ЗМЖ в обезжиренном молоке.

В связи с этим исследования структурных, биохимических и физико-химических изменений жировой фазы при производстве сырных продуктов актуальны, т.к. являются научной основой для направленного влияния на их качество.

Степень разработанности темы. Существенный вклад в исследование проблем структурообразования эмульсионных молочных продуктов внесли Вайткус В.В., Уманский М.С., Остроумов Л.А., Забодалова Л.А., Терещук Л.В., Смыков И.Т., Lobato-Calleros C., Clark D.C., Wahlgren M., Evers J.M., Everett D.W., Lopez C., Rowney M.K. и др. Однако в трудах этих ученых не рассматриваются вопросы структурного состояния жировой фазы в связи с формированием органолептических показателей продуктов, недостаточно исследованы морфологические особенности строения оболочек, образующихся на поверхности жировых глобул при эмульгировании растительных жиров.

Методическим аспектам определения свободного жира в структуре молочных продуктов посвящены труды Аристовой В.П., Радаевой И.А., Серебренниковой В.А, Петрова А.Н., Толстухиной Л.С., Buma T.J., Koc A.B., Heinemann P.H. и др. Но объектами их исследований были только жидкообразные молочные продукты и сухое молоко. Применительно к сырным продуктам, имеющим твердообразную, связную структуру, эти методы неприемлемы.

Исследований по установлению влияния технологических параметров из-

[1] В соответствии с Изменением к ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции», вступившем в силу с 15 июля 2018 г., термин «сырный продукт» изменен на «молокосодержащий продукт с заменителем молочного жира, произведенный по технологии сыра».

готовления сыров и сырных продуктов на количество свободного жира и его доступность в структуре не проводилось.

Цель: установить возможность улучшения органолептических показателей полутвердых сырных продуктов с заменителями молочного жира путем увеличения количества доступного жира в их структуре.

В основу работы положена **рабочая гипотеза,** основанная на предположении, что между органолептическими показателями продуктов сыроделия и количеством свободного (доступного) жира в структуре их жировой фазы существует причинно-следственная связь.

Для достижения цели в соответствии с рабочей гипотезой были поставлены следующие **задачи**:

- определить влияние сепарирования, перемешивания, пастеризации и охлаждения молока на количество образующегося свободного жира;
- установить влияние эмульгатора и технологических параметров эмульгирования ЗМЖ в обезжиренном молоке на стабильность получаемых эмульсий и содержание свободного жира в молочно-растительных смесях;
- разработать метод измерения массовой доли доступного жира в сырах и сырных продуктах;
- установить влияние продолжительности обработки, температуры второго нагревания и присутствия эмульгатора в составе ЗМЖ на количество доступного жира в структуре сырного зерна;
- исследовать процесс созревания полутвердых сырных продуктов с ЗМЖ в сравнении с сырами по изменению физико-химических, биохимических и органолептических показателей;
- провести сравнительный электронно-микроскопический анализ изменений структуры жировой фазы сыров и сырных продуктов в процессе изготовления;
- на основании проведенных исследований разработать практические рекомендации по улучшению органолептических показателей полутвердых сырных продуктов.

Научная новизна:

- показано, что нативные оболочки жировых глобул в молоке чувствительны к внешним физическим воздействиям; определено количество свободного жира, образующегося в молоке при сепарировании, перемешивании, пастеризации, охлаждении;
- выявлены закономерности влияния эмульгатора (моно- и диглицериды жирных кислот) на процесс эмульгирования заменителя молочного жира в обезжиренном молоке, стабильность эмульсий и количество свободного жира в молочно-растительных смесях;
- проведен теоретический анализ локализации жировой фазы в структуре сыра и сырного продукта; предложен термин «доступный жир», уточняющий понятие термина «свободный жир» применительно к твердообразным продуктам сыроделия;
- разработана новая методика определения массовой доли доступного жира в твердообразных продуктах сыроделия;

- представлена общая картина структурных преобразований жировой фазы во время производства сыров и сырных продуктов с ЗМЖ на разных стадиях от сырья до готового продукта;

- электронно-микроскопическими исследованиями показана трансформация жировой и белковой фаз в структуре сыров и сырных продуктов в процессе изготовления и влияние эмульгатора на изменение морфологии оболочек глобул заменителя молочного жира;

- подтверждена связь между количеством доступного жира в структуре полутвердых сырных продуктов и их органолептическими показателями.

Новизна технических решений подтверждена двумя патентами Российской Федерации № 2527675 и № 2502068.

Практическую значимость работы составляют:

- новый метод определения массовой доли доступного жира в сырах и сырных продуктах, внедренный в лабораторную практику проведения научно-исследовательских работ;

- установленные закономерности влияния технологических параметров производства сырных продуктов на разных стадиях на доступность жира в их структуре, позволяющие направленно регулировать структурное состояние жировой фазы;

- методические рекомендации по производству полутвердых сырных продуктов для практического применения на предприятиях с целью улучшения органолептических показателей.

На защиту выносятся:

- положение о необходимости увеличения количества доступного жира в структуре полутвердых сырных продуктов для улучшения их органолептических показателей;

- обоснование определения термина «доступный жир», уточняющего понятие термина «свободный жир» применительно к твердообразным продуктам сыроделия;

- методика измерений массовой доли доступного жира в сырах и сырных продуктах;

- новые научные данные о влиянии технологических особенностей производства сыров и сырных продуктов с заменителями молочного жира на структуру жировой фазы и формирование органолептических показателей;

- выявленные особенности построения оболочек жировых глобул заменителя молочного жира в присутствии низкомолекулярного эмульгатора (моно- и диглицеридов жирных кислот) в молочно-растительной дисперсии.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность результатов подтверждается трех – пятикратной повторностью экспериментов и хорошей воспроизводимостью экспериментальных данных, полученных с использованием современных физико-химических методов исследования, применением методов математического моделирования и статистической обработки полученной информации.

Основные результаты и научные положения работы доложены и обсуж-

дены на восьми международных научно-практических конференциях (Углич - 2014, 2016, 2017, 2018; Волгоград – 2017, 2018; Краснодар – 2018; Москва – 2020) и трех конференциях молодых ученых и специалистов (Видное - 2014; Краснодар - 2016; Красково - 2018).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 26 печатных работ, в том числе 3 в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК Российской Федерации, 2 патента.

Структура и объем работы. Диссертационная работа включает в себя введение, 6 глав, заключение, список литературы (128 наименований), 5 приложений. Основное содержание работы изложено на 140 страницах, содержит 20 таблиц и 21 рисунок.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Введение. Обоснована актуальность темы диссертации, представлены рабочая гипотеза, цель, и задачи исследований, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, основные положения, выносимые на защиту.

Глава 1. Проведен анализ литературных источников по вопросам образования свободного жира в молоке и молочных продуктах, его влияния на качество готовой продукции, методов идентификации и количественного определения. Освещены физико-химические аспекты эмульгирования жира при производстве молочных и молокосодержащих продуктов. Описаны функциональные свойства и механизм действия моно- и диглицеридов жирных кислот и белков молока при эмульгировании ЗМЖ в обезжиренном молоке. Рассмотрен опыт использования моно- и диглицеридов жирных кислот при производстве молочных продуктов.

Глава 2. Представлена схема проведения исследований (рис. 1), определены объект (технология производства полутвердых сырных продуктов) и предметы исследований: цельное молоко; эмульсии ЗМЖ в обезжиренном молоке; молочные и молочно-растительные смеси; сырное зерно; полутвердые сыры и сырные продукты в процессе изготовления, созревания и хранения.

Опытные сырные продукты изготавливали по технологии полутвердых сыров с низкой температурой второго нагревания со 100 % заменой молочного жира ЗМЖ ЭКОЛАКТ TF 1403-33 ЭК (с эмульгатором – моно- и диглицеридами жирных кислот) и ЭКОЛАКТ TF 1403-33 (без эмульгатора). Производитель ЗМЖ - ООО «ЭФКО Пищевые Ингредиенты», Россия.

В работе использовали стандартизованные методы исследований физико-химических и органолептических показателей сыров и сырных продуктов, а также методы электронной микроскопии, газовой хроматографии, реологические.

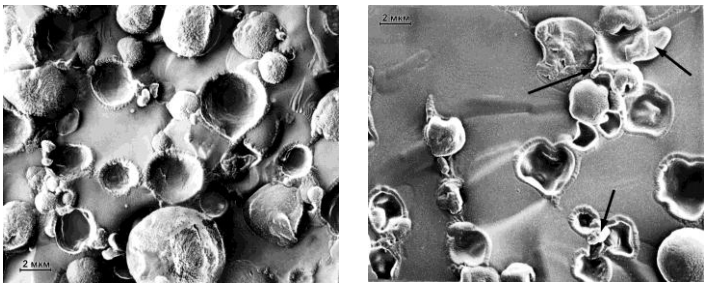
Ключевой методикой при выполнении исследований была Методика измерений массовой доли доступного жира в сырах и сырных продуктах, разработанная при выполнении настоящей диссертационной работы. Метод запатентован и внедрен в лабораторную практику проведения научных исследований ВНИИМС. Разработке Методики предшествовал теоретический анализ локализации жировой фазы в структуре твердообразного молочного продукта, по результатам которого предложено вместо термина «свободный жир» использовать термин «доступный жир».

1 –массовая доля жира; **2** – массовая доля свободного жира; **3** – массовая доля доступного жира; **4** - электронномикроскопические исследования; **5** – органолептика; **6** – индекс стабильности; **7** – кислотность жировой фазы; **8** – окисленность жировой фазы, **9** - летучие вкусоароматические вещества; **10** – массовая доля общего белка; **11** – массовая доля водорастворимого белка; **12** – массовая доля белкового нерастворимого азота; **13** – степень зрелости; **14** – массовая доля лактозы; **15** – pH; **16** – массовая доля влаги; **17** – реологические показатели.

Рис. 1 – Общая схема проведения исследований

Глава 3. Исследование влияния физико-химических факторов на образование свободного жира в молоке, эмульсиях ЗМЖ, молочных и молочно-растительных смесях.

На рис. 2 на примере сепарирования молока показано влияние механического фактора на состояние жировых глобул и их оболочек. В результате действия центробежных и центростремительных сил жировые глобулы потеряли сферическую форму, оболочки сильно деформировались и частично разрушились (рис. 2Б). На поверхность разрушенных глобул выделился свободный жир.



А Б

Рис. 2 – Жировые глобулы:
А - в молоке до сепарирования, Б – в сливках после сепарирования (стрелками показаны места выделения свободного жира)

Перемешивание молока при 600 об/мин 1 мин увеличивало количество свободного жира в 2 раза. Пастеризация молока при температуре 73 °С в течение 1 мин уменьшало количество свободного жира в 3 раза, последующее охлаждение до температуры 9 ºС с выдержкой в течение суток – увеличивало в 4-5 раз.

Отличие технологии сырных продуктов от технологии сыров состоит в наличии дополнительного блока операций по приготовлению эмульсии ЗМЖ, вносимой затем в смесь из цельного и обезжиренного молока. От параметров эмульгирования будет зависеть стабильность получаемых эмульсий и последующие изменения в структуре жировой фазы при изготовлении продукта.

Эксперимент по установлению направленности влияния параметров эмульгирования ЗМЖ в обезжиренном молоке, а также присутствия низкомолекулярного эмульгатора на стабильность получаемых эмульсий проводили по полному двухуровневому четырехфакторному плану, исходя из предположения, что модель влияния факторов на процесс обработки молочной смеси является линейной и имеет вид полинома 1-го порядка:

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^{k} b_i X_i + \sum_{i \neq j} b_{ij} X_i X_j ,$$

где b_0 — значение Y в центре плана; b_i — коэффициенты, характеризующие степень влияния факторов X_i на функцию отклика Y ; b_{ij}— коэффициенты, характеризующие степень влияния взаимодействий i-го и j-го факторов на функцию Y.

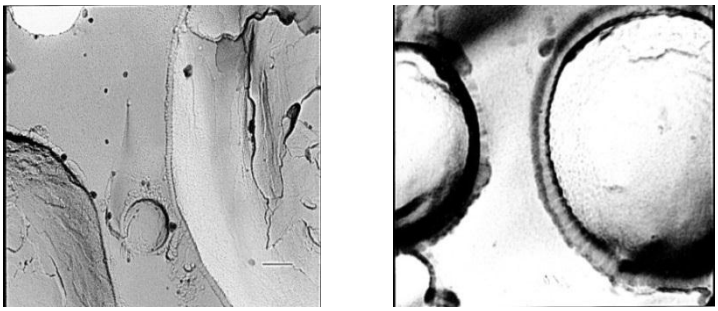
Стабильность эмульсий ЗМЖ оценивали по показателю «Индекс стабильности» (Y), который рассчитывали как отношение объема выделившегося свободного жира к общему объему пробы эмульсии.

После расчёта значений коэффициентов b_i и учёта значимости влияния факторов были получены целевые функции в координатах рассматриваемых факторов (концентрация ЗМЖ в обезжиренном молоке, температура эмульгирования, интенсивность диспергирования ЗМЖ в обезжиренном молоке, продолжительность эмульгирования).

Сравнение средних значений полученных функций показало, что при эмульгировании ЗМЖ с эмульгатором получаются менее устойчивые эмульсии (b_0 = 0,156), чем при эмульгировании ЗМЖ без эмульгатора (b_0 = 0,137).

Установлено, что присутствие эмульгатора в исследованных диапазонах изменения факторов не сказывается на степени влияния концентрации ЗМЖ и температуры эмульгирования, но кардинальным образом сказывается на характере влияния интенсивности эмульгирования. Если без эмульгатора увеличение интенсивности механического воздействия вызывало снижение устойчивости эмульсий (b_3 = +0,02), то в присутствии эмульгатора направленность влияния этого фактора меняется (b_3 = -0,04). Это значит, что при эмульгировании ЗМЖ с эмульгатором увеличение числа оборотов диспергатора в исследованном диапазоне способствует получению более устойчивой эмульсии. Снижение устойчивости эмульсий с эмульгатором обусловлено существенным влиянием эмульгатора на процесс формирования оболочек жировых глобул (рис. 3).

На поверхности глобул ЗМЖ без эмульгатора формируется оболочка из мицелл казеина и отдельных глобул сывороточных белков, имеющая гранулярный характер и толщину от 40 до 130 нм. В присутствии эмульгатора на поверхности жировых глобул формируются оболочки, имеющие бóльшую толщину (около 300 нм). Отличительной особенностью этих оболочек является неравномерность по толщине. Очевидно, что в данном случае имеет место конкурентная межфазная адсорбция белков и моноглицеридов, в результате которой моноглицериды, обладающие большей поверхностной активностью, стараются вытеснить белки с поверхности раздела, нарушая их плотную упаковку и снижая устойчивость эмульсий.



А) без эмульгатора Б) с эмульгатором

Рис. 3 – Оболочки жировых глобул эмульсий ЗМЖ, 5200^x

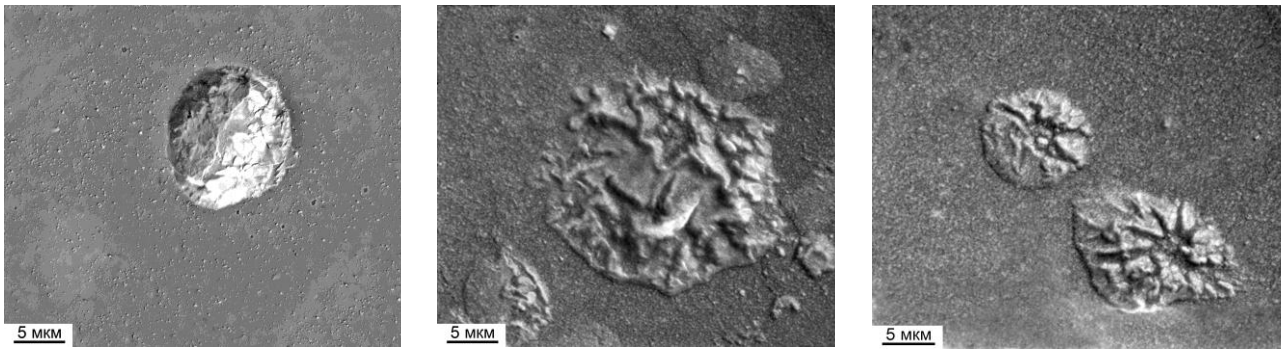
Это подтверждается результатами эксперимента по установлению влияния эмульгатора на содержание свободного жира в молочно-растительных смесях, составляемых перед внесением в них сычужного фермента (табл. 1).

Таблица 1 – Массовая доля свободного жира в молочно-растительных смесях

Состав смеси	Массовая доля жира, %	Массовая доля свободного жира, %	
		в смеси	в жировой фазе смеси
цельное молоко + обезжиренное молоко (контроль)	2,8±0,1	0,07±0,02	2,5±0,1
обезжиренное молоко + эмульсия ЗМЖ без эмульгатора	2,9±0,1	0,51±0,07	17,6±0,6
обезжиренное молоко + эмульсия ЗМЖ с эмульгатором	3,0±0,1	0,64±0,09	21,3±1,2

Электронно-микроскопическими исследованиями показаны отличия гло-

бул ЗМЖ от глобул молочного жира (рис. 4).



А Б В

Рис. 4 - Электронно-микроскопические фотографии микроструктуры жировой фазы смесей для выработки сыров (А) и сырных продуктов (Б, В):
А - смесь из цельного и обезжиренного молока (контроль);
Б - смесь из обезжиренного молока и эмульсии ЗМЖ без эмульгатора;
В - смесь из обезжиренного молока и эмульсии ЗМЖ с эмульгатором.
Увеличение 6500^{x}

По результатам исследований сделан вывод о высокой чувствительности к внешним физическим воздействиям как натуральных жировых глобул молока, так и искусственных жировых глобул, полученных путем эмульгирования ЗМЖ в обезжиренном молоке. Присутствие эмульгатора в ЗМЖ оказывает существенное влияние на процесс эмульгирования, морфологию образующихся оболочек и количество свободного жира в эмульсиях и их смесях с обезжиренным молоком, идущих на производство сырных продуктов.

Глава 4. Исследование влияния параметров обработки сырного зерна при производстве сыров и сырных продуктов на доступность жира в его структуре.

Массовую долю доступного жира определяли в пробах в виде целых сырных зерен, оценивая проницаемость оболочки зерен, и в виде пластинок толщиной 1,0±0,2 мм, вырезанных по диаметру из середины зерен, оценивая доступность жира внутри зерна (табл. 2).

Таблица 2 – Массовая доля доступного жира в сырном зерне
(% от общей массовой доли жира)

Сырное зерно	Доступность жира через оболочку зерна, %	Доступность жира во внутренней структуре зерна, %
из нормализованной по жиру молочной смеси (контроль)	54,7±2,8	83,1±2,8
из смеси обезжиренного молока и эмульсии ЗМЖ без эмульгатора	20,8±1,6	37,8±4,3
из смеси обезжиренного молока и эмульсии ЗМЖ с эмульгатором	25,4±3,1	48,7±0,4

В зерне сырных продуктов в отличие от сырного зерна, полученного из

молочного сырья, доступность жира была меньше как через оболочку, так и во внутренней структуре. Присутствие эмульгатора в ЗМЖ увеличивает доступность жира, но не настолько, чтобы приблизиться по этому показателю к сырному зерну из молочного сырья.

Наибольшая доступность жира в зерне сырных продуктов, как в поверхностных слоях (22,2±0,7 %), так и во внутренней структуре 56,1±0,9 %) была отмечена при минимальных значениях температуры второго нагревания 38 °С и продолжительности выдержки при этой температуре 10 мин. Однако получаемое при таких условиях зерно не обладает достаточной упругостью и будет пригодно только для мягких сырных продуктов с высокой влажностью. При производстве полутвердых сырных продуктов необходимо получение более сухого сырного зерна. Следовательно, на этой стадии производства полутвердых сырных продуктов увеличение доступности жира возможно только за счет использования ЗМЖ с эмульгатором.

Глава 5. Исследование процесса созревания сыров и сырных продуктов.

По мере созревания массовая доля доступного жира в сырах и сырных продуктах увеличивается – рис. 5. В сырных продуктах на протяжении всего исследованного срока созревания она была ниже, чем в контрольном сыре. Присутствие эмульгатора в ЗМЖ увеличивало количество доступного жира в структуре сырных продуктов на 5-10 %, но не обеспечивало достижения уровня, характерного для сыра из молочного сырья.

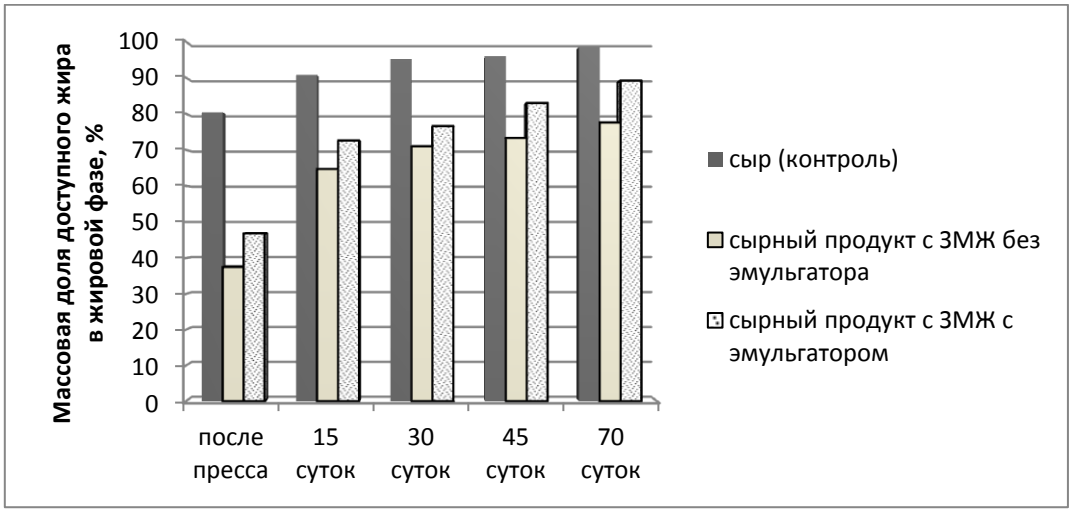


Рис.5 – Изменение массовой доли доступного жира
в структуре сырных продуктов при созревании и хранении

Исследованы процессы липолиза и окисления жира, в результате которых образуются вещества, играющие важную роль в формировании вкуса и аромата сыров и сырных продуктов. Установлено, что жировая фаза сырного продукта с ЗМЖ с эмульгатором в большей степени подвергалась липолизу и окислительным процессам. Присутствие эмульгатора увеличивало кислотность жировой фазы к концу созревания на 0,10±0,03 ммоль/100г (рис. 6) и повышало общий уровень окисленности жировой фазы на 0,1-0,3 млн$^{-1}$ – (рис. 7).

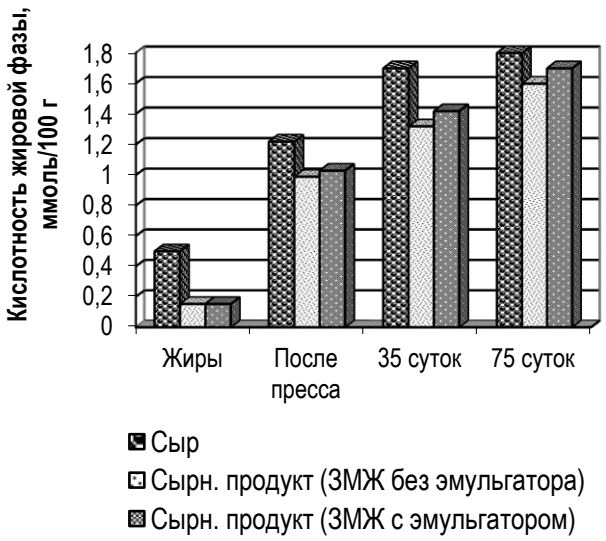


Рис. 6 – Изменение кислотности жировой фазы при созревании сыров и сырных продуктов

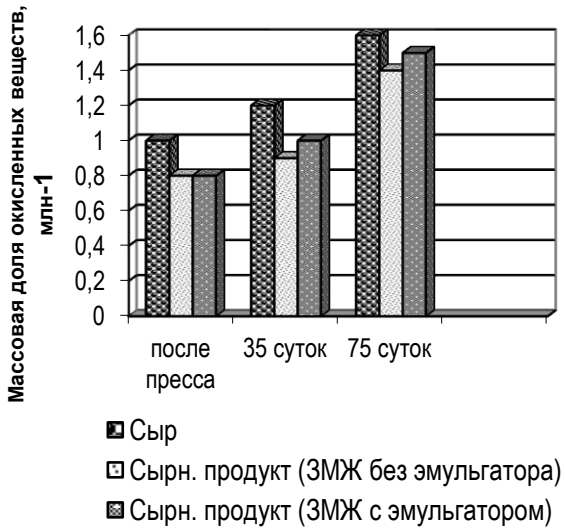


Рис. 7 – Изменение массовой доли окисленных веществ в жировой фазе сыров и сырных продуктов при созревании

Полученные результаты коррелируют с количеством доступного жира в структуре исследованных продуктов (рис. 5).

Исследование содержания летучих вкусоароматических веществ (ЛВАВ) в жировой фазе сыров и сырных продуктов показали, что заменители молочного жира (как с эмульгатором, так и без эмульгатора) по сравнению с молочным жиром содержали более скудный набор и меньшее количество ЛВАВ, которое увеличивалось по мере созревания (табл. 3).

Таблица 3 – Изменение общего содержания летучих вкусоароматических веществ (нА·с) в жировой фазе сыров и сырных продуктов при созревании

Жировая фаза	Продолжительность созревания, сутки		
	0	45	70
сыра (молочный жир)	0,030	0,035	0,171
сырного продукта (ЗМЖ без эмульгатора)	0,020	0,024	0,115
сырного продукта (ЗМЖ с эмульгатором)	0,022	0,030	0,121

Наибольший прирост ЛВАВ был в молочной жировой фазе сыров (на 0,140 нА·с), в сырных продуктах – в 1,5 раза меньше. Присутствие эмульгатора в используемом ЗМЖ увеличило количество ЛВАВ в сырных продуктах за весь период наблюдения (на 0,004 нА·с), что можно обозначить как тенденцию.

В композицию ЛВАВ жировой фазы сырных продуктов входили: этаналь, пропаналь, бутанон-2, пентаналь, гексанон-2, масляная кислота (следы). В жировой фазе сыров кроме перечисленных присутствовали еще метанол, изобутаналь, бутаналь, бутеналь-2, масляная кислота, пропионовая кислота, пентанон-2.

Исследование процесса протеолиза, который оценивали по изменению количества нерастворимого белкового азота, растворимого белкового и небелкового азота, показало, что по сравнению с сыром из молочного сырья в сырных продуктах отмечается некоторая заторможенность этого процесса. Так, если в

сыре прирост растворимых продуктов гидролиза белка в каждые 10 суток за весь период наблюдения составлял 2,5-2,7 %, то в сырных продуктах этот показатель находился на уровне 1,5-1,8 %. Это отразилось на степени зрелости сырных продуктов, которая к концу срока созревания была ниже по сравнению с сыром на 2-4 %.

Установлено, что присутствие эмульгатора в жировой фазе сырных продуктов не влияет на протеолиз и изменение активной кислотности.

По органолептическим показателям сырные продукты, не содержащие в составе ЗМЖ эмульгатора, существенно проигрывали сырам по степени выраженности сырного вкуса. Даже по истечении 70 суток созревания они не достигают показателей, характерных для сыров из молочного сырья в 45 суток. В присутствии эмульгатора формирование сырного вкуса во время созревания происходило быстрее, но в сравнении с контролем выраженный сырный вкус проявляется только на семидесятые сутки созревания.

Консистенция сырного продукта с ЗМЖ без эмульгатора на протяжении всего срока созревания была более плотной и менее эластичной по сравнению с сыром и сырным продуктом, в жировой фазе которого присутствовал эмульгатор. Это подтверждается реологическими исследованиями, которые показали, что сразу после прессования наиболее высокие показатели комплексного модуля сдвига были у сырного продукта с ЗМЖ без эмульгатора ($G^* = 122,3 \pm 4,6$ кПа), наиболее низкие – у сыра из молочного сырья ($G^* = 65,3 \pm 1,8$ кПа). Сырный продукт с ЗМЖ с эмульгатором занимал промежуточное положение между ними ($G^* = 87,2 \pm 4,5$кПа).

Результаты электронно-микроскопических исследований трансформации жировых глобул в процессе изготовления сыров и сырных продуктов представлены на рис. 8. Сравнительный анализ изменений структуры жировой фазы показал, что в структуре сыра после прессования молочные жировые глобулы кроме собственной нативной оболочки окружены вторичной белковой оболочкой. При созревании сыра вторичные оболочки жировых глобул становятся более выраженными и увеличенными по толщине. Анализ микроструктуры вторичных оболочек жировых глобул, выявил, что они пронизаны сквозными радиальными каналами, которые, по-видимому, могут обеспечивать доступ ферментов и окислителей к жиру.

Замена молочного жира на ЗМЖ без эмульгатора изменила морфологическое состояние жировой фазы смеси. После созревания вторичные белковые оболочки глобул растительного жира практически не претерпели изменений и, в отличие от вторичных оболочек молочного жира, не имели выраженных каналов транспорта, они выглядели гладкими и плотными.

Присутствие эмульгатора в ЗМЖ существенно отразилось как на размерах жировых глобул (они стали меньше), так и на структуре их оболочек. После созревания сырного продукта оболочки жировых глобул стали толще и лучше выраженными, а анализ их микроструктуры показал, что они также пронизаны радиальными каналами, как и оболочки молочного жира в сыре. Таким образом, присутствие эмульгатора спровоцировало образование на поверхности жировых

глобул зернистых оболочек, близких по структуре к оболочкам молочных жировых глобул.

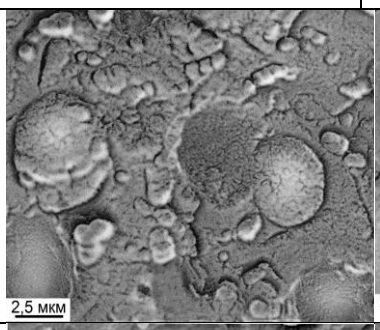
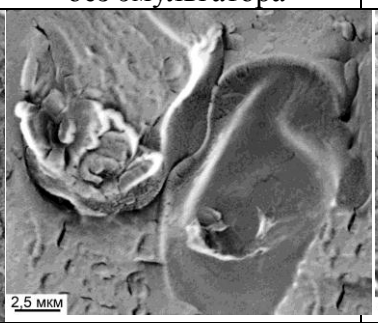
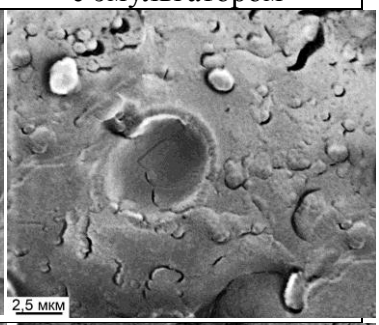
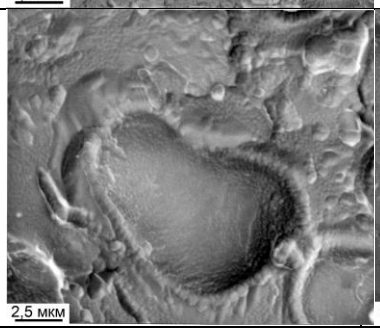
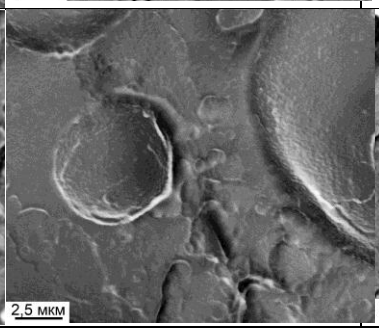
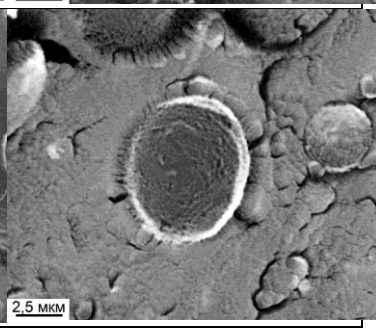
Контрольные точки	Сыр	Сырный продукт с ЗМЖ без эмульгатора	Сырный продукт с ЗМЖ с эмульгатором
В начале созревания (0 суток)			
В конце созревания (45 суток)			

Рис. 8 - Электронно-микроскопические фотографии микроструктуры жировой фазы сыров и сырных продуктов

Выявленные особенности построения оболочек жировых глобул в присутствии эмульгатора объясняют увеличение количества доступного жира в сырных продуктах и подтверждают положительную роль эмульгатора в формировании органолептических показателей сырных продуктов.

Глава 6. Проведено обобщение полученных результатов, на основе которых разработаны научно обоснованные методические рекомендации (МР-015-2017) по улучшению органолептических показателей полутвердых сырных продуктов путем направленного воздействия на структуру жировой фазы в процессе их изготовления с целью повышения доступности жира.

ВЫВОДЫ

1. Подтверждена гипотеза о существовании связи между органолептическими показателями сырных продуктов с заменителями молочного жира и количеством доступного жира в структуре их жировой фазы.

2. Разработана методика измерений массовой доли доступного жира в сырах и сырных продуктах, предусматривающая высушивание проб до получения пористой капиллярной структуры, экстрагирование доступного жира из проб органическим растворителем, выпаривание растворителя и определение массы сухого остатка. На разработанный метод получены патенты Российской федерации № 2527675 и № 2502068. Метод внедрен в лабораторную практику проведения научных исследований ВНИИМС.

3. Методом электронного микроскопирования на примере сепарирования

молока показано влияние физических факторов на целостность оболочек жировых глобул и образование свободного жира. Установлено, что при перемешивании и выдержке молока при низких температурах содержание в нем свободного жира увеличивается в 2 и 4,5 раза соответственно, высокотемпературное воздействие при пастеризации уменьшает количество свободного жира в 3 раза. В сборном молоке, поступающем на молокоперерабатывающие предприятия, доля свободного жира в общей массовой доле жира составляет (5,4±1,5) %, в нормализованных по жиру смесях из цельного и обезжиренного молока, направляемых на производство сыров с массовой долей жира в сухом веществе 45 % - (3,5±1,1) %.

4. Определена направленность влияния технологических факторов эмульгирования ЗМЖ в обезжиренном молоке, в том числе фактора присутствия низкомолекулярного эмульгатора в составе ЗМЖ, на стабильность получаемых эмульсий. Достоверно установлено снижение стабильности эмульсий при увеличении концентрации ЗМЖ; при снижении интенсивности эмульгирования (если ЗМЖ содержит в составе эмульгатор); при увеличении интенсивности и уменьшении продолжительности эмульгирования (если ЗМЖ не содержит в составе эмульгатора), что необходимо учитывать с целью увеличения количества доступного жира в сырных продуктах.

5. Установлено, что в смесях из обезжиренного молока и эмульсии ЗМЖ, направляемых на производство сырных продуктов с массовой долей жира в сухом веществе 45 %, содержится больше свободного жира, чем в нормализованных по жиру смесях из цельного и обезжиренного молока: в 7 раз, если использовался ЗМЖ без эмульгатора, и в 9 раз, если использовался ЗМЖ с эмульгатором.

6. Выявлены различия в количестве доступного жира в структуре зерна сыров и сырных продуктов, зависящие от температуры и продолжительности второго нагревания. В зерне сыров разных видов, полученном из молочных смесей, доступность жира составляет (в % от общего содержания жира): через оболочку - от 30 % до 80 %, внутри зерна – от 80 % до 99 %. В зерне сырных продуктов, полученном из смеси обезжиренного молока и эмульсии ЗМЖ, отмечено уменьшение количества доступного жира: через оболочку – до 20,8±1,6 %, внутри зерна – до 37,8±4,3 %. Присутствие эмульгатора в ЗМЖ увеличивает количество доступного жира через оболочку – на 5 %, внутри зерна – на 10 %. Наибольшая доступность жира в зерне сырных продуктов (как в поверхностных слоях, так и во внутренней структуре) была отмечена при минимальных значениях параметров: температура второго нагревания 38 °С, продолжительность выдержки при этой температуре 10 мин.

7. Исследован процесс созревания полутвердых сырных продуктов в сравнении с сырами по изменению физико-химических, биохимических и органолептических показателей. Установлено, что при созревании в сырах из молочного сырья количество доступного жира увеличивается от 80 % (после пресса) до 98-100 % в готовом продукте, в сырных продуктах с ЗМЖ – от 35 % (после пресса) до 75-78 % в конце созревания. Присутствие эмульгатора в ЗМЖ увеличивало:

количество доступного жира в структуре сырных продуктов на 5-10 %, кислотность жировой фазы на 0,10±0,03 ммоль/100г, окисленность жировой фазы на 0,1-0,3 млн$^{-1}$, влагоудерживающую способность сырной массы на 2 %, не влияя на протеолиз, гликолиз и изменение pH. Следствием увеличения количества доступного жира стало: повышение кислотности (на 0,10±0,03 ммоль/100г) и окисленности жировой фазы (на 0,1-0,3 млн$^{-1}$), образование на 25 % больше летучих вкусоароматических веществ, что положительно отразилось на вкусе и аромате сырных продуктов. Следствием повышения влагоудерживающей способности сырной массы стало снижение на 30 % модуля упругости и на 20 % модуля потерь, комплексной и динамической вязкости. В результате отмеченных изменений формирование сырного вкуса и аромата сырных продуктов во время созревания происходит быстрее, а консистенция становится более мягкой, эластично-пластичной.

8. Электронно-микроскопическими исследованиями показана трансформация жировой и белковой фаз в структуре сыров и сырных продуктов в процессе изготовления. В сырах с молочным жиром при созревании отмечено разрушение компонентов белкового матрикса с размыванием границ между белковыми глобулами и увеличение толщины вторичных оболочек жировых глобул, приобретающих зернистость с наличием сквозных радиальных каналов. Для сырных продуктов с ЗМЖ без эмульгатора характерны гомогенные, плотные без выраженных каналов транспорта оболочки жировых глобул. Присутствие эмульгатора вызывает существенное изменение морфологии оболочек глобул ЗМЖ, выражающееся в разрыхлении белковой основы с образованием сквозных радиальных каналов, увеличивающих доступность заключенного внутри жира.

9. На основании результатов проведенных исследований подготовлены методические рекомендации (МР 015-2017) по улучшению органолептических показателей полутвердых сырных продуктов, предназначенные для мастеров-сыроделов и инженеров-технологов, занимающихся разработкой технологий производства полутвердых сырных продуктов.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК РФ

1. Лепилкина О.В. Свободный жир в молоке / О.В. Лепилкина, И.Т. Смыков, **И.В Логинова** // Сыроделие и маслоделие. - 2014. - №3. - С. 50-51.

2. Лепилкина О.В. Свободный жир в сырах и сырных продуктах / О.В. Лепилкина, И.Т. Смыков, **И.В Логинова** // Сыроделие и маслоделие. - 2014. - №4. - С. 37-39.

3. Лепилкина О.В. Рекомендации по выбору и подготовке ЗМЖ для молокосодержащих продуктов сыроделия / О.В.Лепилкина, **И.В Логинова,** О.Г. Кашникова // Сыроделие и маслоделие. - 2019. - №4. - С. 8-9.

Патенты РФ

4. Пат. 2502068 РФ, МПК G01N 33/04 (2006.1) Способ определения коли-

чества свободного жира в твердообразных продуктах на молочной основе / Лепилкина О.В., Тетерева Л.И., **Логинова И.В.**, Витушкина Л.П. Жохова В.А., Оносовская Н.Н.; заявитель и патентообладатель ГНУ ВНИИМС. - № 2012149640/15; заявл. 21.11.2012; опубл. 20.12.2013. Бюл. № 35. – 9 с.

5. Пат. 2527675 РФ, МПК G01N 33/04 (2006.1) G01N 33/06 (2006.1) Способ определения массовой доли свободного жира в твердообразных продуктах на молочной основе с применением вакуумной сушки / Лепилкина О.В., Смыков И.Т., Жохова В.А., Лепилкина О.Н., **Логинова И.В.**, Витушкина Л.П., Вагачёва Н.В.; заявитель и патентообладатель ГНУ ВНИИМС. - № 2013140826/15; заявл. 03.09.2013; опубл. 10.09.2014. Бюл. № 25. – 7 с.

Статьи в журналах, сборниках трудов и материалах конференций

6. Лепилкина О.В. О роли эмульгаторов в повышении качества сырных продуктов / О.В. Лепилкина, И.Т. Смыков, **И.В Логинова** // Сыроделие и маслоделие.- 2016. - №2. - С. 44-45.

7. Лепилкина О.В. Эмульгирование заменителей молочного жира при производстве сырных продуктов / О.В.Лепилкина, **И.В Логинова,** И.Т. Смыков // Сыроделие и маслоделие. - 2017. - №3. - С. 32-33.

8. Lepilkina O.V., **Loginova I.V.,** Kashnikova O.G**.** Free fat in milk and cheese products: influence on quality / O.V. Lepilkina, **I.V. Loginova,** O.G Kashnikova **//** Food systems. – 2020. - № 3(2). – P. 9-13.

9. Лепилкина О.В. Влияние технологической обработки на жир молока / О.В. Лепилкина, И.Т. Смыков, **И.В Логинова** // Сб. материалов междунар. конф. «От истоков к современности». – Углич: ВНИИМС.- 2014. – С. 68 – 71.

10. Лепилкина О.В. Влияние структурной организации жира на качество сыров и сырных продуктов / И.Т. Смыков, **И.В Логинова** // Сб. материалов междунар. конф. «От истоков к современности». – Углич: ВНИИМС.- 2014. – С. 71 – 77.

11. **Логинова И.В.** Исследование влияния физических факторов на образование свободного жира в молоке / **И.В. Логинова**, И.Т. Смыков, О.В. Лепилкина // Сб. науч. тр. VIII междунар. конф. молодых ученых и специалистов «Фундаментальные и прикладные исследования по безопасности и качеству пищевых продуктов». – Видное. - 2014 – С. 143-146.

12. **Логинова И.В.** Свободный жир в структуре сыров и сырных продуктов: влияние на качество / **И.В. Логинова**, И.Т. Смыков, О.В. Лепилкина // Сб. науч. тр. VIII междунар. конф. ученых и специалистов «Фундаментальные и прикладные исследования по безопасности и качеству пищевых продуктов». – Видное. - 2014. – С. 147-150.

13. Лепилкина О.В. О роли эмульгаторов в формировании качества сырных продуктов с заменителями молочного жира / О.В. Лепилкина, И.Т. Смыков, **И.В. Логинова** // Бизнес пищевых ингредиентов. – 2015. - № 6.- С. 40-41.

14. Лепилкина О.В. Влияние технологии производства на содержание свободного жира в структуре сыров / О.В. Лепилкина, И.Т. Смыков, **И.В Логинова** // Сб. материалов междунар. научн.-практ. конф. «Актуальные проблемы

молочной отрасли». – Углич: ВНИИМС. - 2016. – С. 73-78.

15. Лепилкина О.В. Влияние низкомолекулярных эмульгаторов на консистенцию и реологические показатели полутвердых сырных продуктов / О.В. Лепилкина, **И.В Логинова,** Г.Б. Бухарина // Сб. материалов междунар. научн.-практ. конф. «Актуальные проблемы молочной отрасли». – Углич: ВНИИМС.- 2016. – С. 107-110.

16. **Логинова И.В.** Влияние эмульгаторов на формирование показателей качества сырных продуктов с заменителями молочного жира / **И.В. Логинова //** Сб. материалов III Всероссийской научн.-практ. конф. молодых ученых и аспирантов «Научное обеспечение инновационных технологий производства и хранения сельскохозяйственной и пищевой продукции». – Краснодар.- 2016. - URL: http://vniitti.ru/conf/conf2016/article/Loginova_statya.pdf

17. **Логинова И.В.** Влияние технологических параметров получения сырного зерна на доступность жира в его структуре / **И.В. Логинова**, О.В. Лепилкина // Сб. материалов междунар. науч.-практ. конф. «Научно-практические решения и вопросы технического регулирования производства молочной продукции». - Углич, 2017. - С.64-68.

18. **Логинова И.В.** Технологические особенности эмульгирования заменителей молочного жира при производстве сырных продуктов / **И.В. Логинова**, О.В. Лепилкина, И.Т. Смыков // Сб. материалов междунар. науч.-практ. конф. «Научно-практические решения и вопросы технического регулирования производства молочной продукции». – Углич.- 2017. - С.74-78.

19. Лепилкина О.В. Использование эмульгаторов при производстве сырных продуктов / О.В. Лепилкина, И.Т. Смыков, **И.В. Логинова** // Сб. материалов междунар. науч.-практ. конф. «Научно-практические решения и вопросы технического регулирования производства молочной продукции». – Углич.- 2017. – С. 224-226.

20. **Логинова И.В.** Пути улучшения органолептических показателей сырных продуктов с заменителями молочного жира / **И.В. Логинова**, О.В. Лепилкина, И.Т.Смыков// Сб. материалов междунар. науч.-практ. конф. «Экологические, генетические, биотехнологические проблемы и их решение при производстве и переработке продукции животноводства». – Волгоград.- 2017. - С.125-130.

21. **Логинова И.В.** Особенности инновационных технологий производства полутвердых сырных продуктов / **И.В. Логинова** // Сб. материалов междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых и аспирантов «Научное обоснование инновационных технологий производства и хранения сельскохозяйственной и пищевой продукции». – Краснодар.- 2018. - С. 281-285.

22**. Логинова И.В.** Исследование процесса накопления свободных жирных кислот при созревании и хранении сыров и молокосодержащих продуктов с заменителем молочного жира, изготовленных по технологии сыра**. / И.В. Логинова**, О.Г. Кашникова, О.Н. Лепилкина. // Сб. материалов междунар. науч.-практ. конф. «Новые подходы к разработке технологий производства и переработки сельскохозяйственной продукции». – Волгоград.- 2018. – С.209-212.

23. **Логинова И.В.** Рекомендации по улучшению органолептических показателей молокосодержащих продуктов с заменителем молочного жира, произведенных по технологии полутвердого сыра / **И.В. Логинова** // Сб. материалов междунар. науч.-практ. конф. «Молоко и молочная продукция: актуальные вопросы производства». – Углич: ВНИИМС. - 2018. – С. 83 – 85.

24. **Логинова И.В.** Исследование причин ухудшения органолептических показателей сырных продуктов и разработка рекомендаций по их улучшению / **И.В. Логинова**, Е.С. Данилова // Сб. материалов междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов в сфере сельскохозяйственных наук «Интенсификация пищевых производств: от идеи к практике». – Красково. - 2018. – С. 193-201.

25. Лепилкина О.В Исследование физико-химических изменений жировой фазы полутвердых сырных продуктов с заменителями молочного жира при созревании и хранении / О.В. Лепилкина, **И.В. Логинова** // Сб. науч. тр. ученых и специалистов к 90-летию ВНИХИ «Инновационые технологии обработки и хранения сельскохозяйственного сырья и пищевых продуктов». М.: ООО «Амирит». – 2020. – С. 245-253.

26. Лепилкина О.В. Использование моно- и диглицеридов жирных кислот при производстве молочных и молокосодержащих продуктов / О.В. Лепилкина, **И.В. Логинова** // Сб. науч. тр. «Актуальные вопросы молочной промышленности, межотраслевые технологии и системы управления качеством». – М.: ФГАНУ «ВНИМИ». - 2020. – С. 337-342.