

На правах рукописи



**Феофилактова Ольга Владимировна**

**НАУЧНОЕ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ  
ТЕХНОЛОГИИ ФОРТИФИКАЦИИ БИОАКТИВНЫМИ  
КОМПЛЕКСАМИ ЭМУЛЬСИОННЫХ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ**

Специальность 4.3.3. Пищевые системы

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Екатеринбург – 2024

Диссертационная работа выполнена на кафедре технологии питания  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет»

**Научный консультант:** доктор технических наук, профессор  
**Заворохина Наталия Валерьевна** (Россия),  
профессор кафедры технологии питания  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный  
экономический университет»

**Официальные оппоненты:** доктор технических наук, профессор  
**Калманович Светлана Александровна** (Россия),  
заведующий кафедрой технологии жиров,  
косметики, товароведения, процессов и аппаратов  
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный  
технологический университет»

доктор технических наук, профессор  
**Красуля Ольга Николаевна** (Россия),  
профессор кафедры технологии хранения  
и переработки продуктов животноводства  
ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева»

доктор технических наук, профессор  
**Терещук Любовь Васильевна** (Россия),  
профессор кафедры технологии продуктов питания  
из растительного сырья ФГБОУ ВО «Кемеровский  
государственный университет»

**Ведущая организация:** ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный  
университет (НИУ)», г. Челябинск

Защита диссертации состоится 21 декабря 2024 г. в 09:00 на заседании  
диссертационного совета 24.2.425.03 при ФГБОУ ВО «Уральский государственный  
экономический университет» по адресу: 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта/  
Народной Воли, 62/45, ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический  
университет», зал диссертационных советов (ауд. 150).

Отзывы на автореферат, заверенные гербовой печатью, просим направлять  
по адресу: 620144, г. Екатеринбург, ГСП-985, ул. 8 Марта/Народной Воли, 62/45,  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет», ученому  
секретарю диссертационного совета 24.2.425.03. Факс: (343) 283-13-25.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ФГБОУ ВО  
«Уральский государственный экономический университет». Автореферат размещен  
на официальном сайте ВАК Минобрнауки России: <https://vak.minobrnauki.gov.ru> и  
на сайте ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет»:  
<http://science.usue.ru>.

Автореферат разослан « \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,  
кандидат сельскохозяйственных наук,  
доцент

 Л. А. Донскова

## Общая характеристика работы

**Актуальность темы исследования.** Государственная политика Российской Федерации в области здорового питания направлена в первую очередь на обеспечение устойчивого роста численности населения и повышение продолжительности жизни. Ряд основополагающих документов в области питания (Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации, утвержденная указом Президента РФ от 21.01.2020 № 20, Стратегия повышения качества и безопасности пищевой продукции Российской Федерации до 2030 г., утвержденная распоряжением Правительства РФ от 29.06.2016 № 1364-р, Федеральный закон от 01.03.2020 № 47-ФЗ, предусматривающий внесение изменений в Федеральный закон «О качестве и безопасности пищевых продуктов») определяет принципы здорового питания, способствующие укреплению здоровья человека и будущих поколений, снижению риска развития заболеваний, в том числе соответствие химического состава ежедневного рациона физиологическим потребностям человека в макро- и микронутриентах.

Поддержание здоровья населения страны и снижение риска развития заболеваний разной этиологии представляет собой важную государственную задачу и требует качественно новых подходов к ее решению, одним из которых является разработка технологий фортификации пищевых продуктов с высокой сохраняемостью и биодоступностью БАВ. В связи с этим необходимо обеспечить защиту БАВ в составе матрицы пищевых продуктов от преждевременной деградации. Стабильность биоактивных свойств и контролируемое высвобождение для адресной доставки в комплексе будут способствовать повышению эффективности их действия.

Разработка инструментария и технических решений, ориентированных на сохранение и повышение биодоступности БАВ направленного действия в составе пищевых систем, в том числе эмульсионных пищевых продуктов (ЭПП), является императивом настоящего времени.

Сегмент ЭПП представлен на потребительском рынке широким ассортиментом продукции, которая употребляется всеми группами населения, что обуславливает их перспективность в качестве объектов для фортификации биоактивными комплексами при возможности направленного контроля их состава, структуры и свойств, вариативности использования в качестве носителя полезности.

Учитывая, что актуальной задачей пищевой комбинаторики является совершенствование технологий пищевых систем, характеризующихся новыми или улучшенными функциональными свойствами, разработка технологических решений нового формата с целью обеспечения сохраняемости и биодоступности БАВ станет востребованным ресурсом для практиков.

Актуальность данной научной проблемы, ее практическая значимость определили выбор темы диссертационной работы, ее объекты, предмет, цель и задачи.

**Степень разработанности темы исследования.** Значительный вклад в решение задач по совершенствованию структуры питания, разработке обогащенных продуктов питания, в том числе с заданными потребительскими свойствами, оценке их качества и эффективности внесли отечественные и зарубежные ученые М. Н. Шатерников, В. А. Тутельян, Н. Б. Никитюк, А. А. Покровский, А. М. Уголев, М. Н. Волгарев, Б. А. Шендеров, Г. К. Шлыгин, В. М. Позняковский, А. А. Кочеткова, И. А. Евдокимов, Л. А. Маюрникова, И. Ю. Потороко, О. В. Чугунова, М. Н. Школьникова, В. Г. Попов, M. Jасquot, M. Mannar, H. Mehansho, R. Hurrell, C. Anandharamakrishnan и др.

В работах С. А. Калманович, А. П. Нечаева, О. В. Пилипенко, Л. В. Терещук, Е. А. Бутиной, Г. А. Паньковского, О. С. Восканян, Е. И. Черевач, D. McClements, J. Rao, P. Karthik, A. Santamaria-Echart отражены результаты исследований, направленные на получение эмульсионных пищевых систем и купажирование растительных масел.

В исследованиях О. Н. Красули, И. Ю. Потороко, И. В. Калининой, В. А. Исаева, J. Chandrapala, J. Carpenter, A. Patista, M. Kilic-Akyilmaz, J. Weiss и др. отражены вопросы применения ультразвуковой кавитации в технологии пищевых систем и микрокапсулирования БАВ.

Современные научные представления об эмульсионных технологиях в производстве пищевых систем, фортифицированных БАВ, инкапсулированными в двойные эмульсии, в открытой печати представлены недостаточно, применение ультразвукового воздействия для инкапсулирования БАВ довольно ограничено и является областью, требующей дальнейшего развития.

При анализе результатов и выводов указанных выше и других ученых не выявлены способы практической реализации технологических решений инкапсулирования БАВ по технологии двойных эмульсий. Практически отсутствуют исследования по применению эмульсии типа масло/вода/масло с инкапсулированными БАВ в технологии эмульсионных пищевых систем. Вместе с тем их применение позволит не только значительно расширить ассортимент эмульсионных пищевых систем, но и сформировать новый сегмент эмульсионной пищевой продукции для профилактики заболеваний разной этиологии.

Таким образом, результаты анализа имеющегося практического опыта разработки пищевых систем приводят к необходимости поиска технологических решений для расширения ассортимента фортифицированных эмульсионных пищевых продуктов с высокими сохраняемостью и биодоступностью БАВ как перспективного направления развития прикладной науки.

Диссертационное исследование направлено на решение задачи, находящейся в рамках перечня важнейших наукоемких технологий – технологий персонализированного, лечебного и функционального питания для здоровьесбережения.

**Цель диссертационного исследования** заключается в обосновании и разработке комплекса технологических решений получения фортифицированных эмульсионных пищевых продуктов на основе научных и методоло-

гических представлений о способах повышения биодоступности и сохранности БАВ.

Для реализации указанной цели поставлены следующие **задачи**:

- 1) установить теоретические и практические предпосылки необходимости разработки фортифицированных эмульсионных пищевых продуктов;
- 2) предложить методологию разработки биоактивных эмульсионных пищевых систем (БЭПС) на основе систематизации научных данных о современных способах фортификации и инкапсулирования БАВ;
- 3) сформулировать понятийный аппарат в области эмульсионных пищевых систем и разработать их классификацию;
- 4) предложить техническое решение по автоматизации процесса формирования биоактивной масляной фазы (среды) с заданным соотношением БАВ липидной природы;
- 5) разработать технологию фортификации эмульсионных пищевых систем с высокой сохраняемостью и биодоступностью БАВ;
- 6) установить перечень и механизмы влияния воздействующих факторов, в том числе технологических параметров ультразвукового диспергирования, на формирование стабильных БЭПС; построить регрессионные математические модели, позволяющие прогнозировать качественные характеристики и устойчивость в хранении фортифицированных БЭПС;
- 7) изучить влияние инкапсулирования БАВ в матрицу БЭПС по технологии двойных эмульсий на сенсорный профиль, их сохраняемость и биодоступность;
- 8) разработать рецептуры, провести исследование биоактивных свойств и оценку качества фортифицированных эмульсионных пищевых продуктов;
- 9) установить регламентируемые показатели качества, разработать нормативно-техническую документацию на новые виды ЭПП, провести апробацию и внедрение в условиях реального производства.

**Научная концепция** основана на гипотезе применения БАВ, инкапсулированных по технологии двойных эмульсий с применением ультразвукового диспергирования, с высокой биодоступностью и сохраняемостью, для фортификации в эмульсионные пищевые продукты с целью поддержания здоровья потребителей.

**Научная новизна.** Диссертационная работа содержит элементы научной новизны в рамках п. 2, 7, 11, 13 и 29 Паспорта научной специальности 4.3.3.

1. Предложена методология разработки биоактивных эмульсионных пищевых систем, основанная на фортификации биоактивных эмульсионных комплексов по технологии двойных эмульсий в матрицу эмульсионного пищевого продукта (п. 13 Паспорта научной специальности 4.3.3).

2. Впервые сформулировано понятие «биоактивные эмульсионные пищевые системы» (п. 2 Паспорта научной специальности 4.3.3).

3. Научно обоснованы и экспериментально подтверждены технологические параметры ультразвукового диспергирования, применение эмульга-

торов для получения стабильных биоактивных эмульсионных пищевых систем (п. 11 Паспорта научной специальности 4.3.3).

4. Предложены регрессионные математические модели для прогнозирования качественных характеристик и срока годности биоактивных эмульсионных пищевых систем, в основу которых положен полный факторный эксперимент, учитывающий значимые факторы влияния на комплексную оценку качества БЭПС (технические параметры ультразвукового диспергирования, вид и количество вносимого эмульгатора, соотношение масляной и водной фазы) и их сохраняемость (температура, перекисное число, микробиологические показатели) (п. 11 Паспорта научной специальности 4.3.3).

5. Получены новые данные о повышении сохраняемости инкапсулированных БАВ в матрице биоактивных эмульсионных пищевых систем (п. 13 Паспорта научной специальности 4.3.3).

6. Доказано, что применение технологии инкапсулирования БАВ, имеющих специфический флейвор, в матрицу биоактивных эмульсионных пищевых систем позволяет улучшить потребительские характеристики (п. 11 Паспорта научной специальности 4.3.3).

7. В доклинических исследованиях *in vivo* экспериментально подтверждено повышение биодоступности инкапсулированных БАВ в матрице биоактивных эмульсионных пищевых систем (п. 11 Паспорта научной специальности 4.3.3).

8. Научно обоснованы технологические решения производства ассортимента эмульсионных пищевых продуктов, фортифицированных БАВ (витамины, пробиотики, ПНЖК группы  $\omega$ -3) (п. 7, 11, 29 Паспорта научной специальности 4.3.3).

**Методология и методы исследования.** Методологическую основу исследования составили известные принципы фортификации пищевых систем и опубликованные экспериментальные результаты по разработке пищевых систем с заданными потребительскими свойствами. В диссертации использованы базовые научные методы (анализ, синтез, сравнение, обобщение, индукция, дедукция, аналогия), а также общепринятые, стандартные и специальные методы, методы статистической обработки полученных данных.

**Положения, выносимые на защиту:**

– методология разработки БЭПС, основанная на фортификации эмульсионных пищевых систем БАВ, инкапсулированными в матрицу по технологии двойных эмульсий;

– механизмы влияния воздействующих факторов, в том числе технологических параметров ультразвукового диспергирования, на формирование стабильных БЭПС и технологические решения их получения;

– результаты исследования стабильности и биодоступности БАВ, инкапсулированных в матрицу БЭПС, в том числе с применением метода *in vivo*;

– совокупность результатов экспериментальных данных, подтверждающих эффективность инкапсулирования БАВ во внутреннюю фазу матрицы БЭПС для коррекции их специфического флейвора;

– результаты практических решений по разработке рецептур и технологий фортифицированных эмульсионных пищевых продуктов на основе БЭПС: эмульсионных соусов, коктейлей, крема на растительных маслах, напитков на растительной основе.

### **Теоретическая и практическая значимость работы.**

*Теоретическая значимость.* Разработаны методологические основы и комплекс технологических решений получения эмульсионных пищевых продуктов, фортифицированных биоактивными дисперсионными комплексами для профилактики заболеваний разной этиологии.

*Практическая значимость.* Научно обоснована возможность фортификации эмульсионных пищевых продуктов биоактивными комплексами с применением инкапсулирования БАВ по технологии двойных эмульсий для повышения их сохраняемости, биодоступности и коррекции специфического флейвора.

Работа проводилась в рамках научных исследований по договору Т-40/2021 на тему «Разработка инновационных подходов управления качеством пищевой продукции».

Разработана и апробирована компьютерная программа проектирования оптимального соотношения полиненасыщенных жирных кислот масляной основы (свидетельство о регистрации № 2021661916 от 19.07.2021).

Определены технологические параметры ультразвукового диспергирования для получения стабильных биоактивных эмульсионных пищевых систем (рабочая частота 20 кГц, амплитуда 40–70 %, мощность 550–750 Вт, время 2–10 мин).

Разработаны рецептуры и технологии пяти видов пищевых продуктов, базирующиеся на способе инкапсулирования БАВ в матрицу БЭПС по технологии двойных эмульсий.

Разработана и утверждена техническая документация на пищевые продукты на основе БЭПС (ТУ 10.84.12-001-02069214-2024 и ТИ 10.84.12-001-02069214-2024 «Эмульсионный биосоус»; ТУ 10.84.12-002-02069214-2024 и ТИ 10.84.12-002-02069214-2024 «Эмульсионный соус, обогащенный омега-3 жирными кислотами»; ТУ 10.84.12-003-02069214-2024 и ТИ 10.84.12-003-02069214-2024 «Крем на растительных маслах»; ТУ 10.51.55-004-02069214-2024 и ТИ 10.51.55-004-02069214-2024 «Сывороточный коктейль с витаминами»; ТУ 10.86.10-005-02069214-2024 и ТИ 10.86.10-005-02069214-2024 «Напиток на растительной основе»).

Полученные технические решения апробированы на предприятиях ООО «Ман Восток», ООО «Центр контроля качества», ООО «ПРО-питание», что подтверждено соответствующими документами.

Новизна технических решений подтверждена патентом РФ № 2416342 «Способ получения биосоуса».

Результаты теоретических и практических исследований используются в учебном процессе при подготовке магистров по направлению 19.04.04 «Тех-

нология продукции и организация общественного питания», реализуемого в ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет».

**Степень достоверности и апробация работы.** Достоверность подтверждается использованием современных методов исследования, проведением ряда исследований в аккредитованных лабораториях на сертифицированном оборудовании с установленными метрологическими характеристиками в многократной повторности, использованием соответствующих методов математической и статистической обработки полученных экспериментальных данных.

Основные положения работы обсуждены на конференциях различного уровня, прошедших в Екатеринбурге (2015, 2018, 2019, 2021, 2022, 2023, 2024), Краснодаре (2016, 2020), Красноярске (2016, 2023), Новосибирске (2020), Кемерово (2022, 2023, 2024).

**Публикации.** По материалам диссертации опубликовано 40 научных работ, в том числе 18 статей в журналах, рекомендуемых ВАК (К1, К2), из них 6 статей в журналах, входящих в базу данных RSCI, 1 монография, 5 статей в изданиях, индексируемых в международных базах и системах цитирования Scopus и Web of Science, 1 патент РФ на изобретение, 1 свидетельство о регистрации программы ЭВМ.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, семи глав, заключения, списка литературы и приложений. Основное содержание изложено на 277 страницах, включает 62 таблицы, 86 рисунков и 388 литературных источников, из них 243 на иностранных языках.

## Основное содержание работы

**Глава 1. Современные аспекты практического применения фортификации эмульсионных пищевых систем.** Проведен аналитический обзор отечественной и зарубежной научной литературы и патентной информации в области современных технологических подходов к фортификации пищевых систем и их практического применения. Обобщен опыт инкапсулирования БАВ различными способами. Изучена возможность применения эмульсий с инкапсулированными в них БАВ для производства пищевых продуктов.

Обоснован выбор эмульсионных пищевых систем в качестве объекта исследований на основе анализа научных исследований, посвященных изучению эмульсий, за более чем 20-летний период.

Установлено, что современные научные представления об эмульсионных технологиях в производстве пищевых систем, фортифицированных БАВ, инкапсулированными в двойные эмульсии, в открытой печати освещены недостаточно; применение ультразвукового воздействия для инкапсулирования БАВ довольно ограничено и является областью, требующей дальнейшего развития. Это послужило основанием для выдвижения гипотезы и формулирования научной концепции, обоснования направления исследований, постановки цели и задач.



**Глава 2. Организация эксперимента, объекты и методы исследования.** Комплекс проводимых исследований включал ряд логически взаимосвязанных этапов. Общая схема постановки и организации эксперимента представлена на рисунке 1.

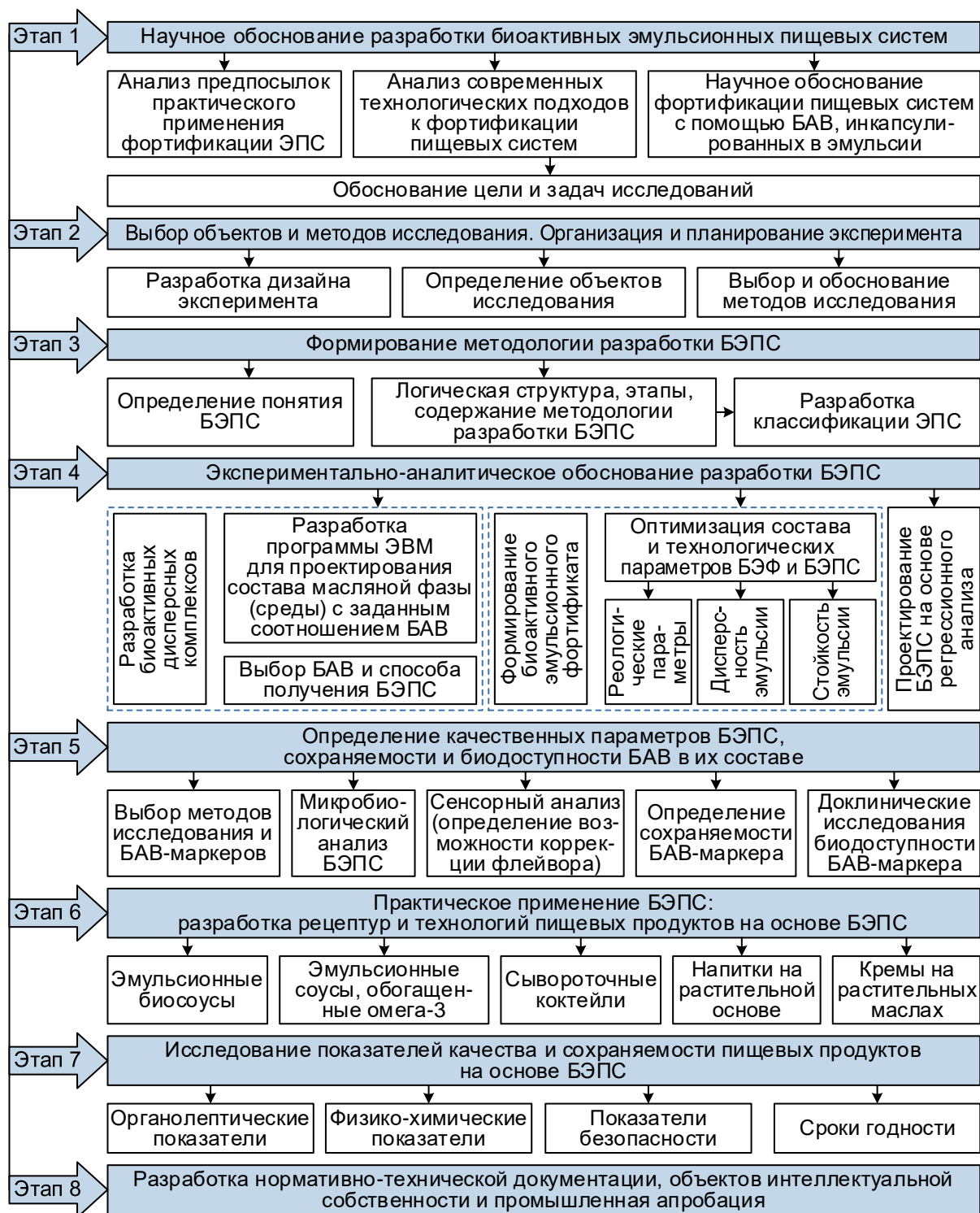


Рисунок 1 – Обобщенная схема исследований

Исследования выполнены в специализированных лабораториях кафедры технологии питания, Едином лабораторном комплексе ФГБОУ ВО «Ураль-

ский государственный экономический университет», в лаборатории качества и безопасности пищевых продуктов отдела пищевых систем и биотехнологий Сибирского научного федерального центра агробiotехнологий РАН, клинике экспериментальных животных ФБУН ЕМНЦ ПОЗРПП Роспотребнадзора.

Экспериментальные исследования проводились с использованием комплекса общепринятых, стандартных и специальных методов исследования, в том числе физико-химических, микробиологических, реологических, хроматографических, органолептических, математических. Статистическая обработка результатов исследований осуществлялась с применением программных продуктов Microsoft Excel, SNEDECOR, IBM SPSS Statistics, SIAMS Photolab, Statistica 10.

**Глава 3. Методология разработки биоактивных эмульсионных пищевых систем.** В основе диссертационного исследования автором использована практическая методология, представляющая собой программу (алгоритм), набор приемов и способов достижения поставленной практической цели и ориентированная на решение практических задач, обозначенных во введении к настоящей работе.

**Понятие эмульсионных пищевых систем.** На этапе, предваряющем разработку методологии, для обозначения результата разрабатываемого технического решения автор предлагает расширить терминологию за счет введения в научный оборот нового понятия «биоактивные эмульсионные пищевые системы».

Из определения понятия «система» следует объяснение понятия «пищевая система» как комплекса взаимодействующих пищевых компонентов. Назначение пищевых систем состоит в обеспечении организма человека пищевыми веществами (нутриентами) и энергией. Эмульсионные пищевые системы можно определить как комплекс взаимодействующих пищевых компонентов, состоящий из двух несмешивающихся жидкостей.

Биоактивный комплекс – совокупность пищевых компонентов, в том числе биологически активных веществ, предназначенных для фортификации пищевых систем.

Исходя из того, что биологическая активность разрабатываемых БЭПС формируется путем фортификации их БАВ, биоактивные эмульсионные пищевые системы (БЭПС) можно определить как совокупность взаимосвязанных пищевых компонентов, состоящую из двух несмешивающихся жидкостей, дополнительно обогащенную биологически активными веществами в составе биоактивного комплекса до уровня, превышающего их естественное содержание в них.

**Проблемно-целевая модель фортификации эмульсионных пищевых систем.** В рамках анализа предпосылок для фортификации пищевых систем изложена актуальность проблемы, заключающейся в необходимости обеспечения населения доступным здоровым питанием для поддержания здоровья и снижения риска заболеваний разной этиологии (рисунок 2).

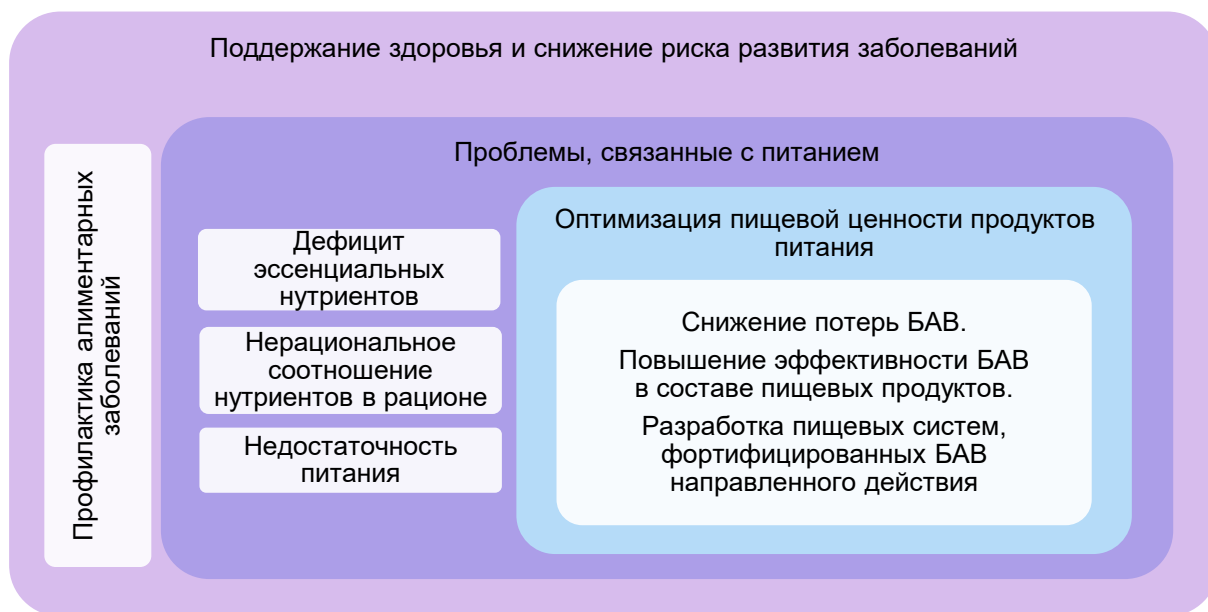


Рисунок 2 – Системно-структурное представление актуальности решаемой проблемы

Для решения указанной проблемы особую значимость приобретают направления деятельности по разработке новых технологических решений, обеспечивающих высокоэффективную доставку БАВ и их высокую биодоступность. Необходим комплекс научных методов, которые охватывают существенные стороны, обусловившие ее возникновение. В качестве цели определено обеспечение необходимого поступления эссенциальных нутриентов для поддержания здоровья населения (рисунок 3).

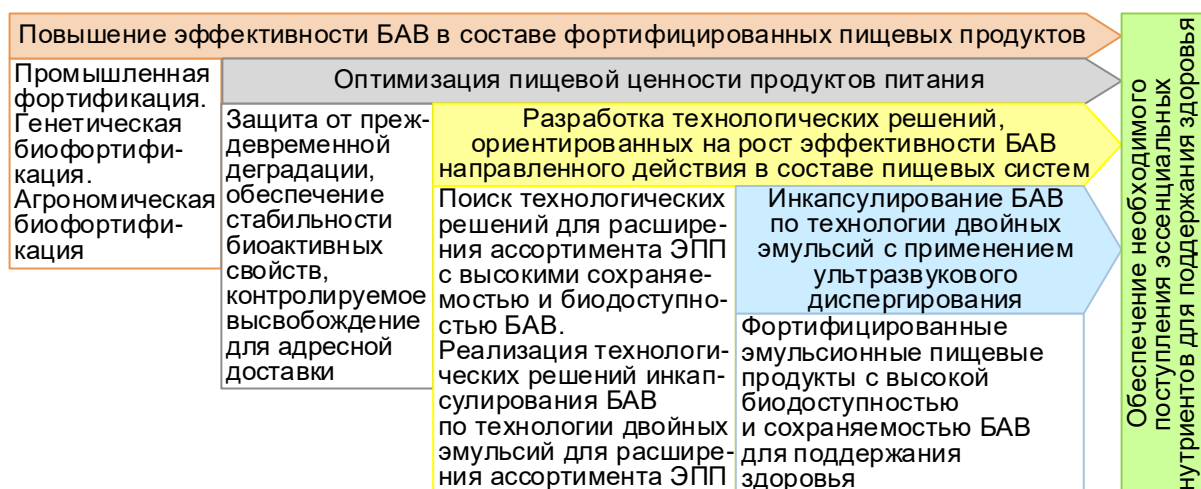


Рисунок 3 – Научно-практическое обоснование необходимости фортификации эмульсионных пищевых систем

На основе комплекса методов, сформированного с учетом предпосылок, обусловивших возникновение обозначенной проблемы, предложена оригинальная методология, учитывающая особенности разрабатываемой пищевой системы.

***Содержание и технология реализации методологии разработки биоактивных эмульсионных пищевых систем.*** В рамках решения второй задачи предложена методология разработки БЭПС (рисунок 4).

Производство БЭПС основано на технологиях инкапсулирования и ультразвукового диспергирования, способствующих сохранности БАВ и повышению их биодоступности и включает следующие этапы.

1. Разработка биоактивных дисперсных комплексов.

1.1. Формирование масляной фазы (среды) с заданным соотношением БАВ (ПНЖК групп омега) с помощью программы ЭВМ на основе данных об их содержании в маслах путем создания купажей определенного состава.

1.2. Выбор БАВ и способа их внесения для формирования биоактивной водной фазы (среды) исходя из таких критериев, как биологическая активность, растворимость (гидрофильность) и стабильность.

1.3. Формирование биоактивного эмульсионного фортификата (БЭФ) на основе масляной фазы (среды) с заданным соотношением БАВ и биоактивной водной фазы (среды). В качестве БЭФ используются либо прямая, либо обратная эмульсия. Опытным путем выбираются способ и технические параметры диспергирования, варианты и количество эмульгаторов, способствующих формированию устойчивой дисперсной системы.

2. Составление выборки пищевых систем для фортификации биоактивными дисперсными комплексами на основе анализа факторов, влияющих на формирование эмульсионной пищевой системы (технологической и органолептической совместимости, степени взаимного влияния эмульсионной пищевой системы и фортификата).

3. Выбор оптимальной технологии фортификации исходя из анализа преимуществ и недостатков существующих способов диспергирования, способствующих формированию дисперсной системы с заданными стойкостью, дисперсностью и реологическими характеристиками, анализ необходимости применения эмульгаторов для формирования заданных характеристик. В результате формируется выборка БЭПС.

4. Оценка сохраняемости и биодоступности БАВ в составе БЭПС с целью подтверждения эффективности технологии фортификации.

5. Оценка качества и безопасности БЭПС, в том числе для подтверждения гипотезы обеспечения биодоступности БАВ и нивелирования их низких органолептических характеристик, установления сроков годности.

6. Практическое применение БЭПС в качестве основы для различных эмульсионных пищевых продуктов. С целью определения возможных направлений практической реализации разработанной методологии, а также практической апробации полученных результатов возникает необходимость в систематизации эмульсионных пищевых систем с применением в качестве инструмента их классификации. Классификация составлена на основе современных подходов к формированию ассортимента с использованием фасетного метода.

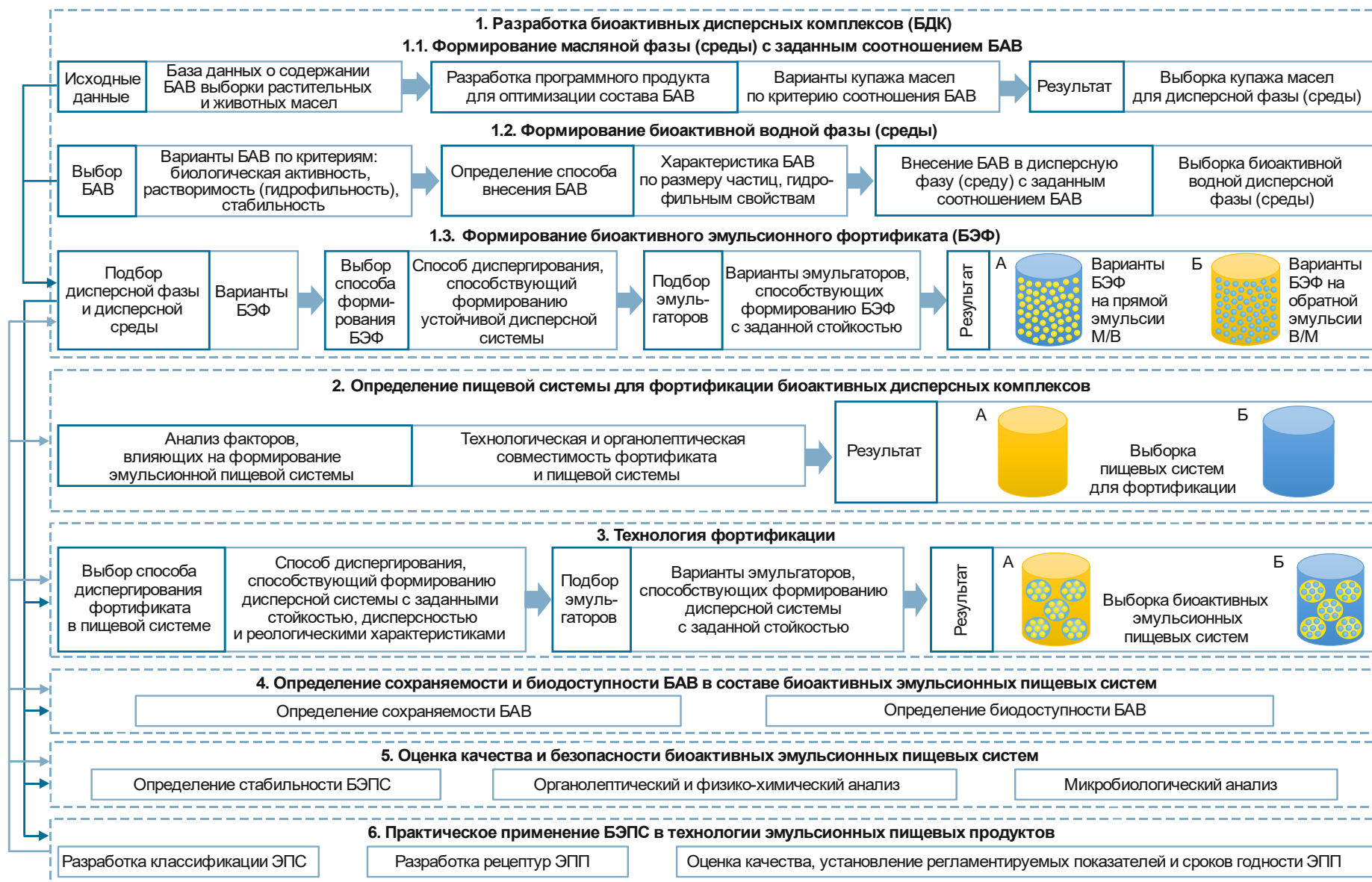


Рисунок 4 – Содержание методологии разработки биоактивных эмульсионных пищевых систем

#### Глава 4. Экспериментально-аналитическое обоснование разработки биоактивных эмульсионных пищевых систем

**Разработка биоактивных дисперсных комплексов.** Для формирования масляной фазы (среды) БЭПС была разработана компьютерная программа проектирования оптимального соотношения ПНЖК жирной основы. Данная программа предполагает оперативный доступ к базе данных, содержащей информацию о жирнокислотном составе различных видов пищевых масел, возможность их корректировки, дополнения и удаления. В автоматическом режиме с учетом цели и установленных рамок производится проектирование рецептуры масляной фазы. На выходе предполагается получение готовой рецептуры, содержащей требуемое соотношение  $\omega$ -3 и  $\omega$ -6 жирных кислот. На рисунке 5 представлен один из полученных вариантов решения задачи.

Виды масел	Количество омега-6 жирных кислот, г в 100 г масла	Количество омега-3 жирных кислот, г в 100 г масла	Выбор продукта	Масса	Факт-6	Факт-3	Прогноз нормы	После оптим.-6	После оптим.-3	Доля, %
Оливковое масло	9,76	0,76					0			0
Масло льняного семени	12,7	53,3								0
Рапсовое масло	14,5	9,14					0			0
Горчичное масло	15,3	5,9								0
Арахисовое масло	31,71	0					0			0
Кунжутное масло	41,3	0,3					0			0
Масло грецкого ореха	52,89	10,4					0			0
Кукурузное масло	53,51	1,16					0			0
Масло зародышей пшеницы	54,8	6,9					0			0
Подсолнечное масло	65,7	0	1	100	65,7	0	73	47,961	0	74,5
Масло виноградной косточки	69,59	0,1								0
Конопляное масло	40	15					0			0
Рыбий жир	5	30					0			0
Рыжиковое масло	19,5	37	1	100	19,5	37	25	4,875	9,25	25,5

Рисунок 5 – Матрица данных и результирующее соотношение  $\omega$ -6 и  $\omega$ -3 жирных кислот

С использованием разработанного программного продукта была сформирована выборка купажей масел, предназначенных для использования в качестве дисперсной фазы (среды) БЭПС (таблица 1).

Таблица 1 – Выборка купажей масел для дисперсной фазы (среды)

Вид масла	Состав купажа масел, мас. %				
	1	2	3	4	5
Рыжиковое масло	–	15,0	–	–	25,5
Горчичное масло	–	–	15,8	–	–
Льняное масло	11,0	–	–	17,7	–
Подсолнечное масло	76,9	73,0	71,6	64,6	74,5
Масло виноградной косточки	–	–	–	17,7	–
Рыбий жир	12,1	12,0	12,6	–	–

С целью формирования заданных биоактивных свойств в рамках решения задач исследования в купаж масел дополнительно вносили жирорастворимые витамины А, D, Е и среднецепочечные триглицериды – масло МСТ.

Биоактивную водную фазу (среду) формировали в несколько этапов.

На первом этапе производили отбор БАВ по таким критериям как биологическая активность, растворимость в воде и стабильность. Далее определяли способ внесения БАВ исходя из их характеристик. Водорастворимые витамины, представляющие собой кристаллический порошок, в заданном количестве растворяли в воде. Пробиотический комплекс, представляющий собой водный раствор микроорганизмов (микроорганизмы в пищевой питательной среде), использовали непосредственно в исходной форме в качестве водной фазы.

На последнем этапе вносили БАВ в дисперсную фазу (среду) и таким образом составляли выборку биоактивной водной дисперсной фазы (среды).

### **Формирование биоактивного эмульсионного фортификата**

*Выбор эмульгаторов для формирования БЭФ и БЭПС.* Для стабилизации БЭФ использовали комплексный эмульгатор, содержащий Tween 80 и лецитин. Концентрация комплексного эмульгатора составляла 1,0–7,0 об.%.

Проведены исследования влияния значения ГЛБ комплексного эмульгатора на размер капель дисперсной фазы БЭФ, полученных на основе купажей масел 1, 2 и 3 с концентрацией 20 %, 30 %, 40 % и 50 % (сила влияния ГЛБ более 99 %,  $p < 0,01$ ) (рисунок 6).

В БЭФ с концентрацией купажа масел 20 % и 30 % с увеличением ГЛБ комплексного эмульгатора от 11 до 15 диаметр капель дисперсной фазы возрастал от 15 до 5 мкм. В БЭФ с концентрацией купажа масел 40 % и 50 % диаметр капель дисперсной фазы снижался от 5 до 15 мкм.

При низких концентрациях купажа масел количество комплексного эмульгатора оказывалось недостаточным для стабилизации эмульсии, что приводило к формированию более крупных капель дисперсной фазы. В то же время высокие концентрации купажа масел способствовали резкому росту диаметра капель дисперсной фазы в связи с недостаточным количеством ПАВ в системе для стабилизации масляных капель в полном объеме.

С увеличением концентрации комплексного эмульгатора от 1 до 3 об.% размер капель дисперсной фазы уменьшался от 15 и более до 10 мкм в зависимости от концентрации дисперсной фазы. При дальнейшем увели-

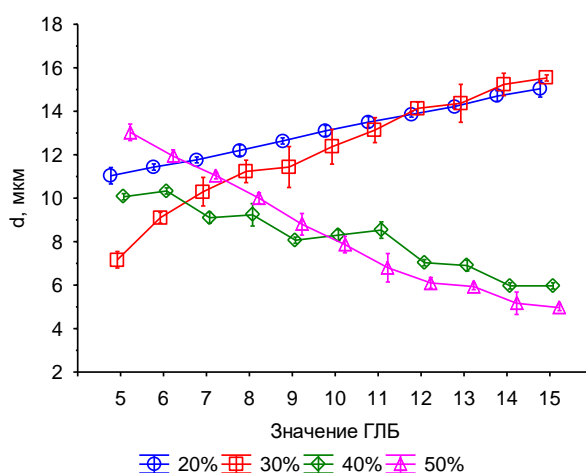


Рисунок 6 – Зависимость размера капель дисперсной фазы от значения ГЛБ комплексного эмульгатора

чении концентрации комплексного эмульгатора с 5 до 7 об.% диаметр капель дисперсной фазы в БЭФ составил 5–7 мкм (сила влияния концентрации купажа более 99 %,  $p < 0,01$ ) (рисунок 7).

*Оптимизация технологических параметров диспергирования БЭФ.* На основе полученных результатов построены диаграммы распределения размеров капель дисперсной фазы в БЭФ. Средний размер капель дисперсной фазы, полученных путем варьирования концентрации комплексного эмульгатора, вида купажа масел и параметров ультразвукового диспергирования, находился в диапазоне 6,1–7,7 мкм (рисунки 8 и 9).

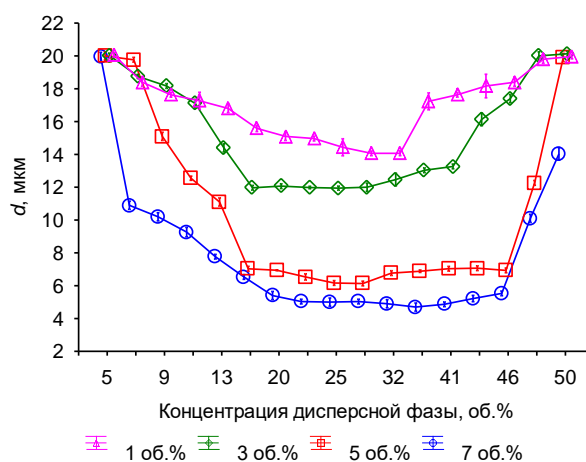


Рисунок 7 – Зависимость размера капель дисперсной фазы в БЭФ от концентрации купажа масел при различном количестве комплексного эмульгатора

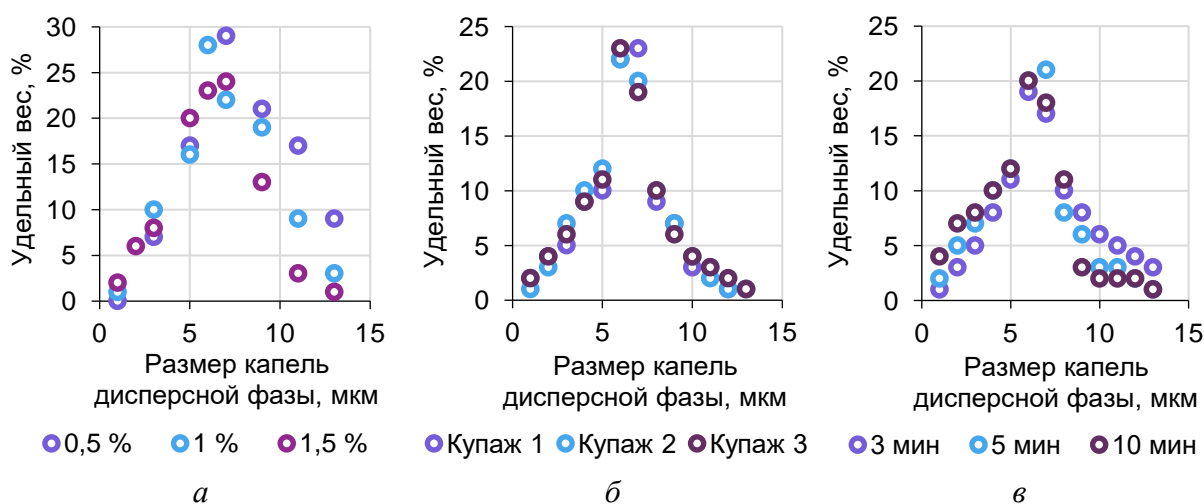


Рисунок 8 – Размер и распределение капель дисперсной фазы в БЭФ в зависимости от концентрации комплексного эмульгатора (а), купажа масел (б), продолжительности обработки ультразвуком (в)

В фиксированных условиях концентрации купажа масел и продолжительности обработки ультразвуком увеличение массовой доли комплексного эмульгатора с 0,5 % до 1,5 % привело к значительному уменьшению размеров капель дисперсной фазы. Вид купажа масел не оказывал существенного влияния на размер капель дисперсной фазы. Продолжительность ультразвукового диспергирования БЭФ до определенного момента напрямую влияет на изменение размера капель. Однако по истечении 10 мин размер капель менялся незначительно.



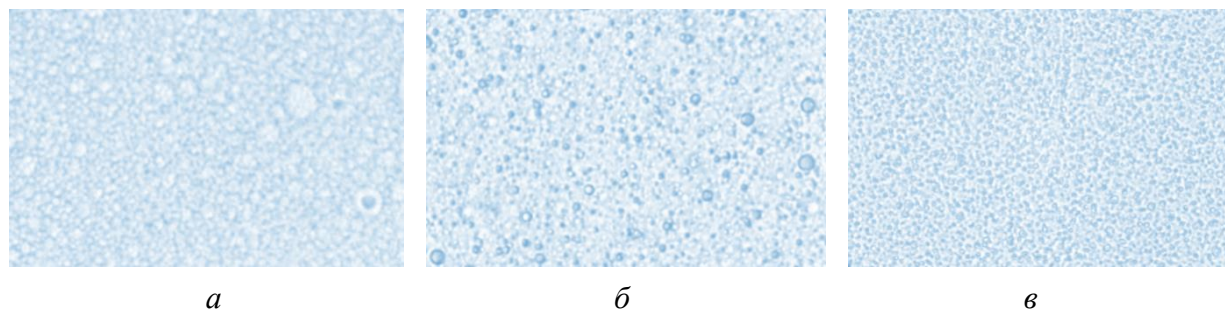


Рисунок 9 – Размер капель дисперсной фазы в БЭФ (10х) в зависимости от продолжительности ультразвукового диспергирования: 3 мин (а), 5 мин (б), 10 мин (в)

Стойкость эмульсии повышалась после определенного времени ультразвукового диспергирования в зависимости от других параметров процесса (рисунки 10 и 11). Это означает, что при увеличении продолжительности диспергирования вероятность слияния капель дисперсной фазы снижается.

$$88,4744-6,7615*x-0,1009*y+0,0237*x*x+0,0101*x*y-5,0125E-5*y*y$$

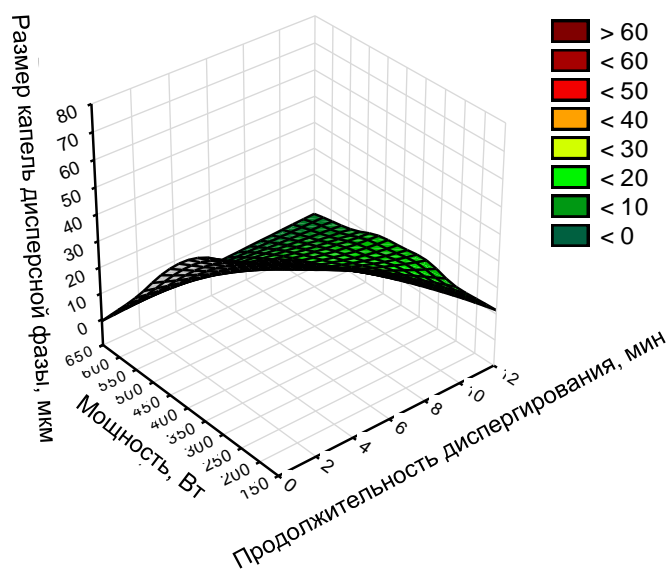


Рисунок 10 – Зависимость размера капель дисперсной фазы от мощности и продолжительности диспергирования

Кроме того, эффект кавитации способствует равномерному распределению капель дисперсной фазы по размерам. Исследования показали, что при увеличении продолжительности ультразвукового диспергирования диапазон распределения капель дисперсной фазы по размерам уменьшился.

Для определения стойкости БЭФ в процессе хранения исследовали их кинетическую стабильность.

$$49,3556+4,4505*x+0,1292*y-0,0606*x*x-0,0062*x*y-8E-5*y*y$$

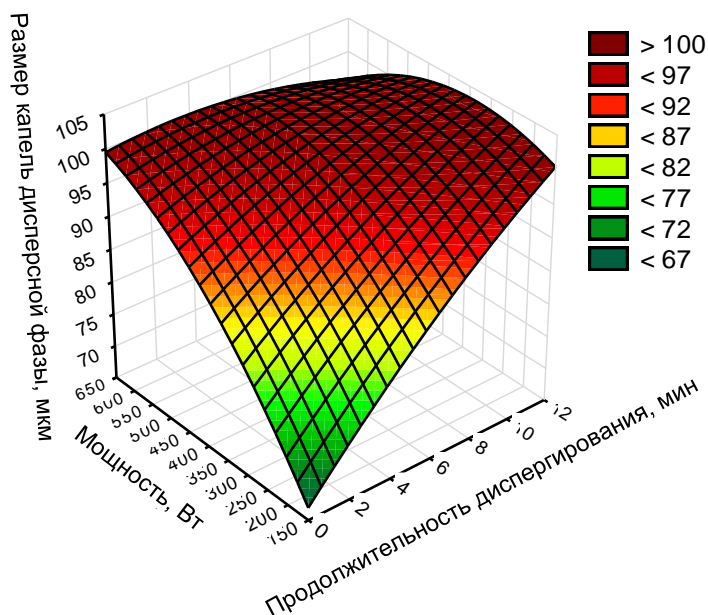


Рисунок 11 – Зависимость стойкости эмульсии от мощности и продолжительности диспергирования

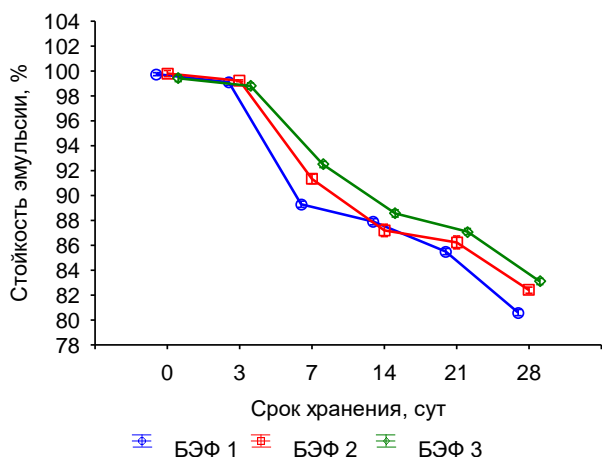


Рисунок 12 – Динамика стойкости эмульсии модельных образцов БЭФ в процессе хранения

Исследования показали кинетическую стабильность модельных образцов БЭФ: не наблюдалось седиментации на протяжении всего периода хранения (рисунок 12).

В ходе исследования были определены оптимальные технологические параметры получения стабильных БЭФ: амплитуда колебаний 40–70 %, время 2–10 мин при мощности ультразвукового воздействия 550–750 Вт. Оптимальное количество вносимого ПАВ составило 1 %. Такие технологические параметры позволяют получить БЭФ с максимально однородным

распределением капель дисперсной фазы, средний диаметр которых находится в пределах от 6,1 до 7,7 мкм.

*Исследование реологических характеристик БЭФ.* В качестве объектов исследования выступали образцы БЭФ, в качестве масляной фазы которых использовали купажи масел 1–3 (образцы 1–3 соответственно). Диспергирование БЭФ осуществляли с помощью ультразвукового гомогенизатора в течение 3 мин (образцы 1–3); 5 мин (образец 4) и 10 мин (образец 5). Результаты исследований реологического поведения БЭФ приведены на кривых зависимостей динамической вязкости от скорости сдвига (рисунки 13–16).

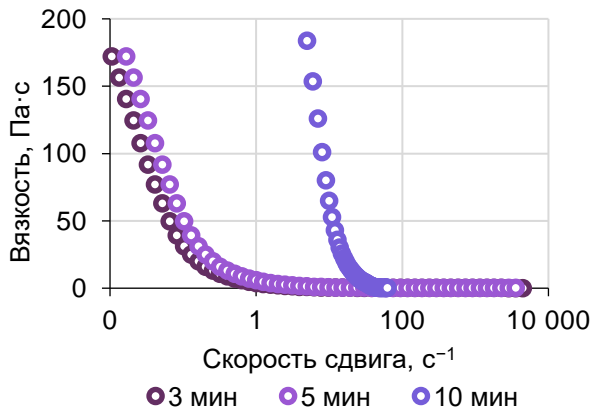


Рисунок 13 – Зависимость динамической вязкости от скорости сдвига БЭФ, полученных с различной продолжительностью диспергирования при 20 °С

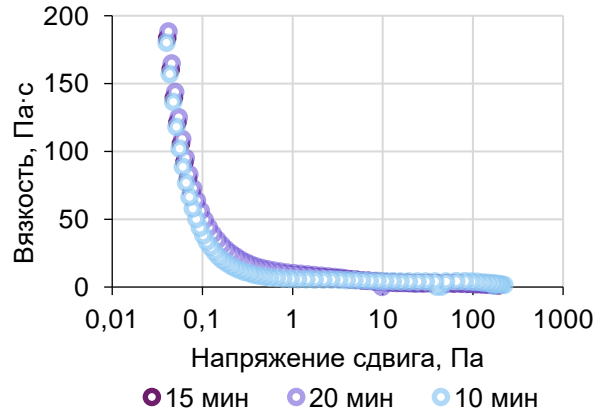


Рисунок 14 – Влияние продолжительности ультразвукового диспергирования на вязкость БЭФ

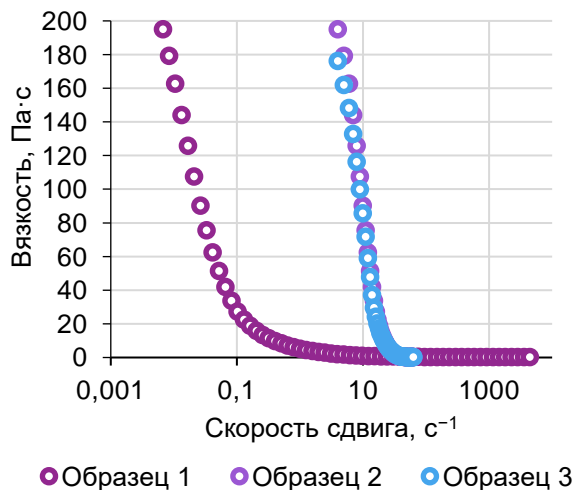


Рисунок 15 – Зависимость динамической вязкости от скорости сдвига БЭФ, основанных на различных купажах масел при температуре 20 °С

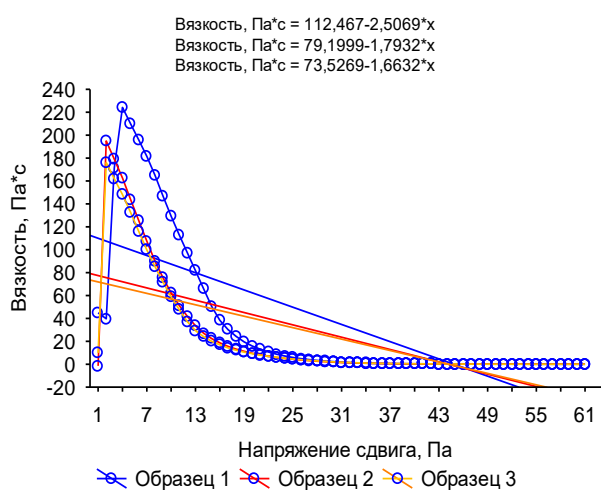


Рисунок 16 – Влияние композиционного состава масляной фазы на вязкость БЭФ

Результаты исследования позволяют заключить, что с увеличением продолжительности ультразвукового диспергирования с 3 до 5 мин и 10 мин вязкость изменялась незначительно. При этом проведенные ранее исследования показали, что для формирования необходимой морфологии и стойкости БЭФ нет необходимости в продолжительном диспергировании ультразвуком. В связи с этим применение более длительного процесса ультразвукового диспергирования не оправдано, так как не оказывает существенного влияния на структурно-механические свойства БЭФ при увеличении затрат на его применение.

Температура также не оказывает существенного влияния на реологические параметры БЭФ, кривые течения при 20 °С и 30 °С почти совпадают.

Исследования влияния вида купажа масел, на структурно-механические свойства БЭФ, показали отсутствие существенных различий в их реологическом поведении. Кривые течения проявляют неньютоновские свойства.

**Технология биоактивных эмульсионных пищевых систем.** На рисунке 17 схематически представлены варианты БЭПС, которые были сформированы по технологии двойных эмульсий вода/масло/вода (В/М/В) и масло/вода/масло (М/В/М).

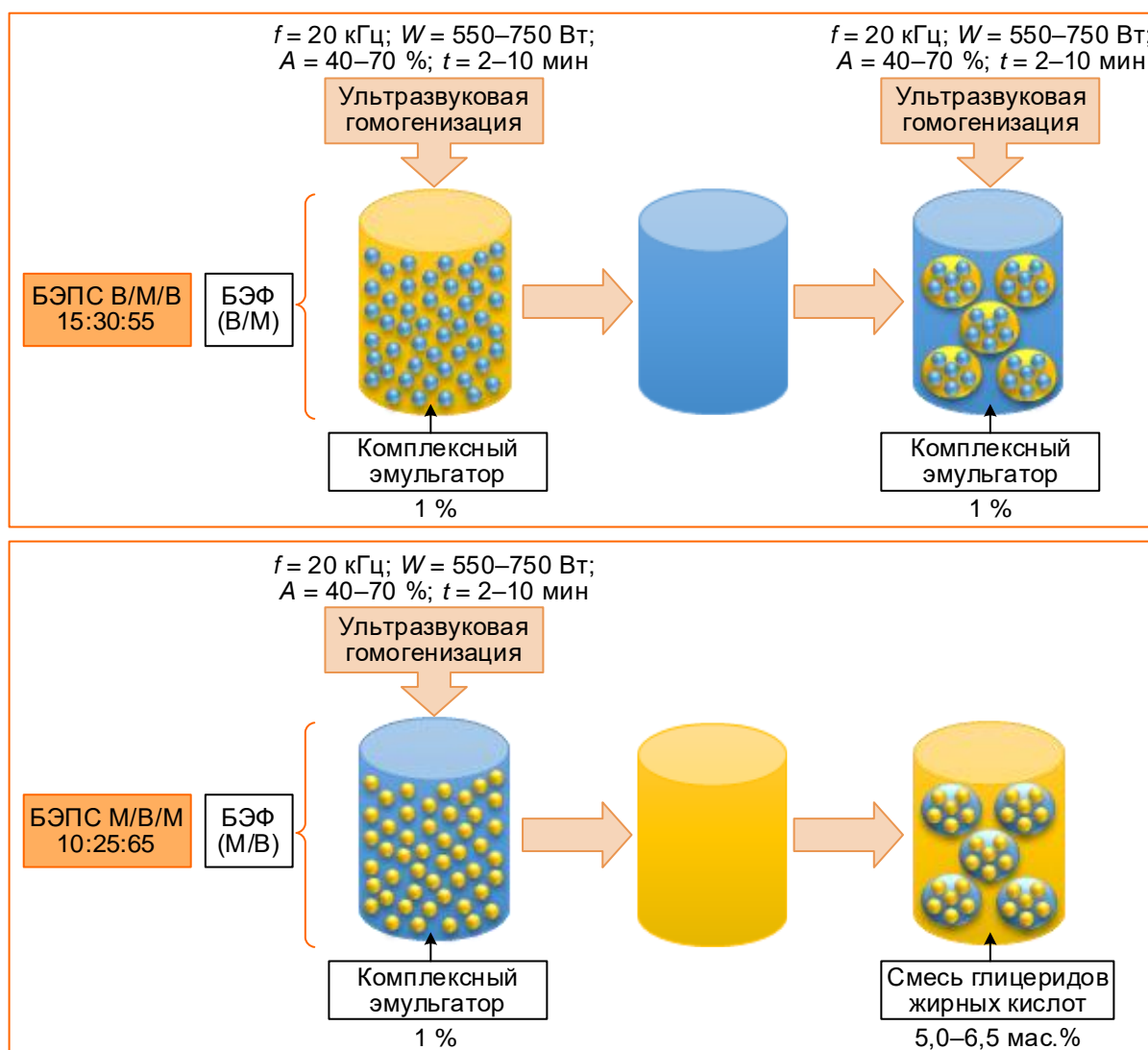


Рисунок 17 – Варианты БЭПС

Технология приготовления БЭПС включает следующие стадии:

– получение БЭФ путем комбинирования биоактивной масляной фазы с биоактивной водной фазой, добавление комплексного эмульгатора и ультразвукового диспергирования при рабочей частоте 20 кГц, мощности 550–750 Вт и амплитуде 40–70 % в течение 2–10 мин для получения стабилизированной тонкодисперсной прямой или обратной эмульсии;

а) введение БЭФ, представляющего собой прямую эмульсию, в водную пищевую систему в присутствии эмульгатора, ультразвуковое диспергирова-

ние при рабочей частоте 20 кГц, мощности 550–750 Вт и амплитуде 40–70 % в течение 2–10 мин;

б) введение БЭФ, представляющего собой обратную эмульсию, в масляную пищевую систему в присутствии эмульгатора – смеси глицеридов жирных кислот, диспергирование в гомогенизаторе при низких оборотах.

В результате проведенных исследований были получены БЭПС двух типов М/В/М при соотношении фаз 10–15:25:60–65 и В/М/В при соотношении фаз 10–15:30:55–60.

**Качественная характеристика БЭПС.** В ходе дальнейших исследований были изучены качественные характеристики полученных БЭПС.

На рисунках 18 и 19 представлены микрофотографии БЭПС М/В/М и БЭПС В/М/В, полученные методом оптической микроскопии.

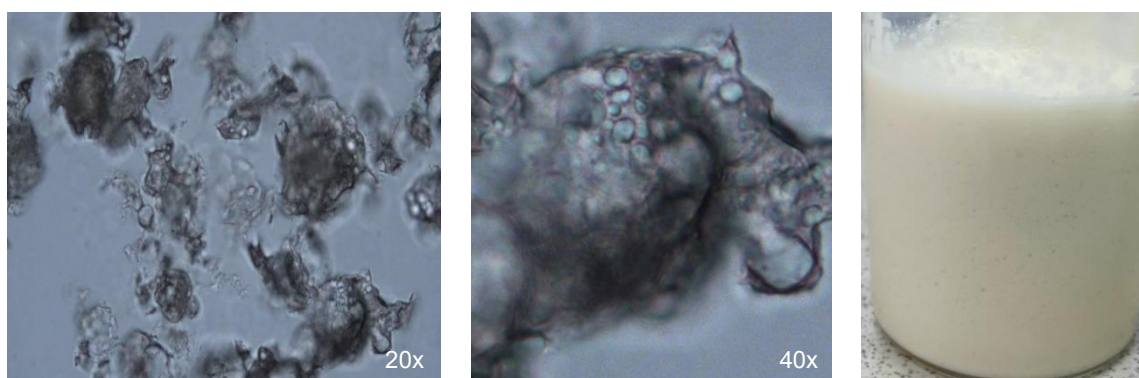


Рисунок 18 – Морфология БЭПС М/В/М

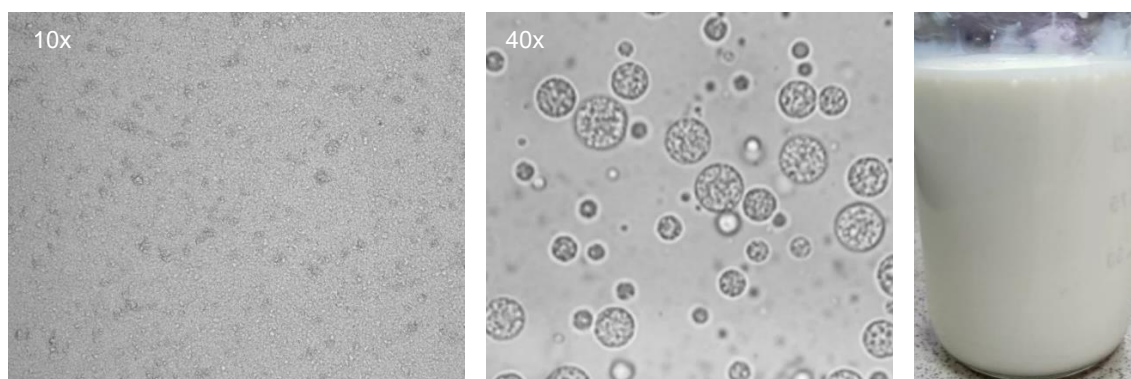


Рисунок 19 – Морфология БЭПС В/М/В

Морфологически БЭПС представляют собой капли со сложным внутренним строением в виде более мелких капель, что типично для двойных эмульсий. Капли БЭПС М/В/М имеют неправильную форму из-за коалесценции вследствие наложения покровного стекла. На рисунке 19 отчетливо видна трехслойная структура, включающая внутреннюю водную фазу, окруженную масляной фазой, и масляную фазу, покрытую внешней водной средой.

Распределение капель по размеру представлено на рисунке 20. В структуре БЭПС М/В/М видны отдельные капли размером от 5 до 15 мкм, диаметр капель  $D_i$ , БЭПС В/М/В находится в диапазоне от 2 до 15 мкм.

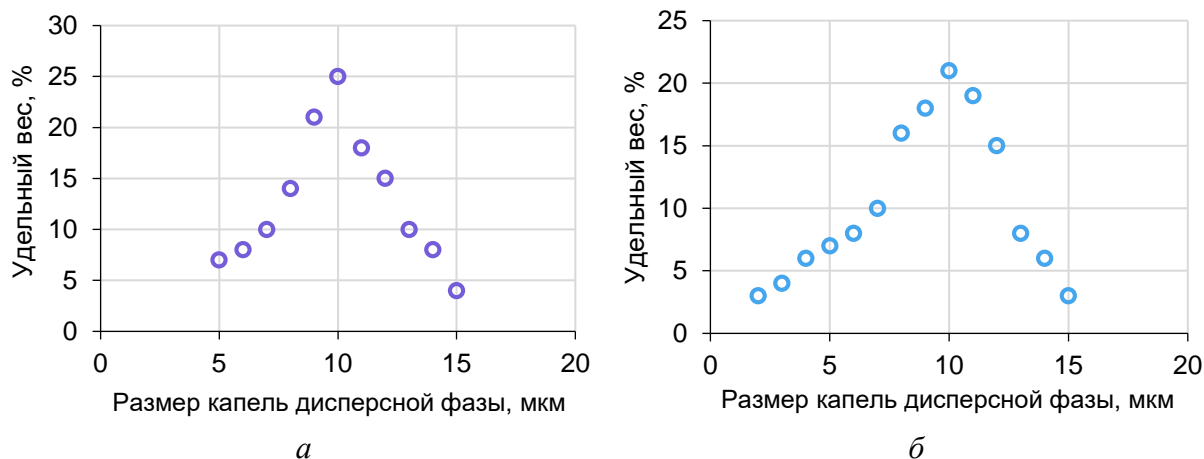


Рисунок 20 – Размер и распределение капель дисперсной фазы БЭПС М/В/М (а) и БЭПС В/М/В (б)

## Глава 5. Проектирование БЭПС на основе анализа качественных параметров

**Формирование органолептического профиля БЭПС.** Для анализа влияния инкапсулирования БАВ в матрицу БЭПС на формирование органолептического профиля в БЭПС В/М/В вводили 0,5 мас.% витамина В<sub>1</sub>, а БЭПС М/В/М – 10 мас.% рыбьего жира. Для чистоты эксперимента в качестве масляной фазы БЭПС и контрольных образцов вместо купажей масел использовали масло подсолнечное рафинированное дезодорированное. Контролем служили прямая эмульсия с добавлением витамина В<sub>1</sub> и обратная эмульсия с добавлением рыбьего жира в том же количестве, что и в БЭПС.

В ходе сравнительного органолептического анализа были получены следующие результаты. Контрольный образец имел более гомогенную и плотную и вязкую консистенцию по сравнению с БЭПС М/В/М (рисунок 21), что свойственно двойным эмульсиям.

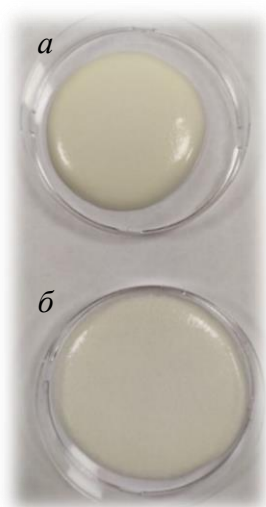


Рисунок 21 – Обратная эмульсия (а) и БЭПС М/В/М (б) с рыбьим жиром

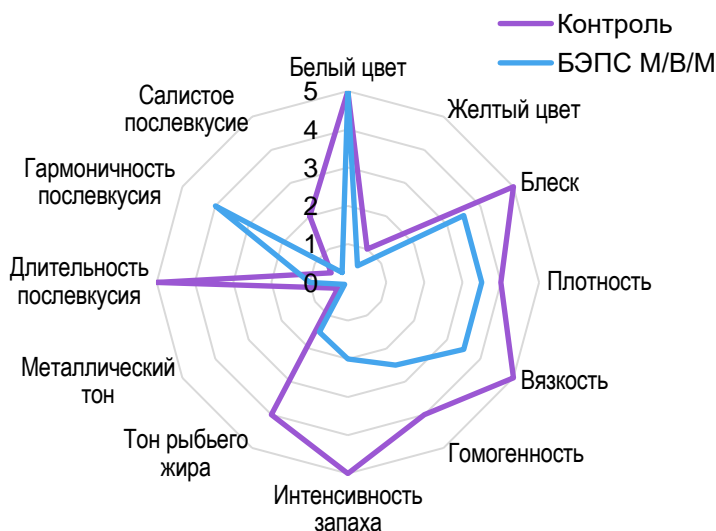


Рисунок 22 – Органолептические профили обратной эмульсии и БЭПС М/В/М с рыбьим жиром

Цвет контрольного образца и БЭПС с рыбьим жиром – белый, однако контрольный образец имел выраженный желтый оттенок. Это свидетельствует о том, что введение рыбьего жира в БЭПС препятствует появлению оттенка, свойственного вносимому ингредиенту.

На рисунке 22 представлены органолептические профили контрольного образца и БЭПС М/В/М.

Запах рыбьего жира у контрольного образца имеет максимальную интенсивность, тогда как у БЭПС она была незначительной; запах рыбьего жира при инкапсулировании в БЭПС практически не ощущался.

Вкус контрольного образца концентрировался на корне языка, имел выраженный тон рыбьего жира (4 балла), характеризовался очень насыщенным, долгим послевкусием рыбьего жира (120 каудаль), негармоничным и слегка салитым. В то же время вкус БЭПС концентрируется на средней части языка, поэтому интенсивность послевкусия выражена меньше (30–40 каудаль), оно гармоничное (4 балла), его долгота непродолжительная (1 балл), отсутствует салитое послевкусие, тон рыбьего жира выражен незначительно.

Сравнительный органолептический анализ контрольного образца – прямой эмульсии с витамином В<sub>1</sub> и БЭПС В/М/В с витамином В<sub>1</sub> показал следующие результаты. Контрольный образец имел менее гомогенную консистенцию по сравнению с БЭПС В/М/В, а также белый цвет (рисунок 23). Это связано с применением ультразвукового диспергирования, способствующего получению тонкодисперсных эмульсий. По вязкости и плотности образцы имели сходные характеристики (рисунок 24).

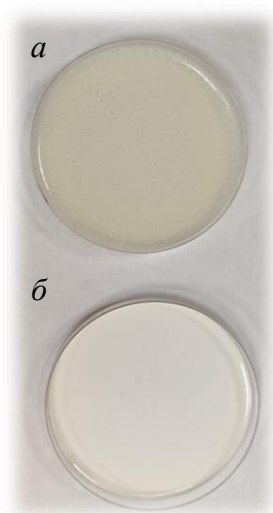


Рисунок 23 – Прямая эмульсия (а) и БЭПС В/М/В с витамином В<sub>1</sub> (б)

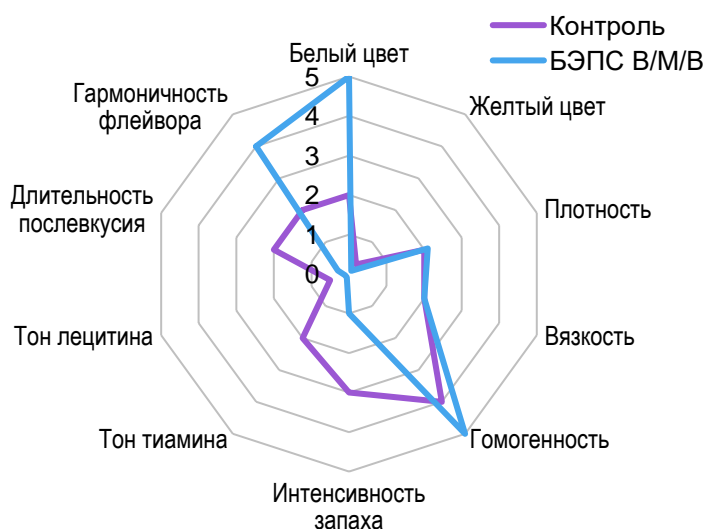


Рисунок 24 – Органолептические профили прямой эмульсии и БЭПС В/М/В с витамином В<sub>1</sub>

Интенсивность запаха более выражена у контрольного образца, разница в значениях с БЭПС составила 2 балла. Тон тиамин был выражен у контрольного образца, оба образца характеризовались незначительно вы-

раженным тоном лецитина. Длительность послевкусия у обоих образцов находилась на одном уровне. БЭПС имела более гармоничный флейвор – 4 балла, что на 2 балла больше, чем у контрольного образца.

**Исследование устойчивости БЭПС к окислению.** Проведен сравнительный анализ устойчивости к окислению обратной эмульсии и БЭПС с рыбьим жиром по значениям перекисного числа в динамике при хранении. Значения перекисного числа были получены на 1; 7; 14; 21; 28 и 35-е сутки хранения исследуемых образцов (рисунок 25).

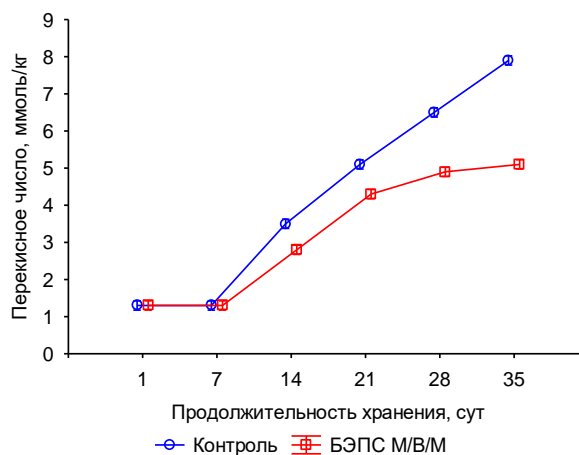


Рисунок 25 – Динамика перекисного числа обратной эмульсии и БЭПС М/В/М с рыбьим жиром в процессе хранения

Результаты исследования свидетельствуют, что рыбий жир в матрице БЭПС М/В/М более устойчив к окислительным процессам в сравнении с рыбьим жиром, введенным в обратную эмульсию. Кроме того, в процессе хранения интенсивность окисления жира контрольного образца увеличивается в большей степени, чем у БЭПС (сила влияния 100 %,  $p < 0,01$ ).

Разница между значениями перекисного числа для обратной эмульсии и БЭПС ( $p < 0,01$ ) на 14-е сутки составила 25 %, на 21-е сутки – 18,6 %, на 28-е сутки – 32,65 %, на 35-е сутки – 54,9 %. На 1-е и 7-е сутки разница между значениями была несущественной.

**Исследование микробиологических показателей биоактивных эмульсионных пищевых систем.** Проведенные микробиологические исследования по показателям безопасности: санитарно значимым (КМАФАнМ, БГКП), патогенным (*Salmonella*) и микроорганизмам порчи (плесневые грибы и дрожжи) дали следующие результаты. Для БЭПС В/М/В и контрольного образца – прямой эмульсии, характерно отсутствие их роста.

У БЭПС М/В/М и контрольного образца – обратной эмульсии в процессе хранения не выявлен рост неспорообразующих бактерий группы кишечных палочек, в том числе патогенных бактерий рода *Salmonella* и грибной микробиоты. Установлен рост в процессе хранения мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов, причем в контрольном образце их количество было больше, а рост более интенсивный. Рост дрожжей у контрольного образца произошел на 14-е сутки хранения и на 21-е сутки их количество значительно увеличилось, тогда как у БЭПС М/В/М рост дрожжей наблюдался только на 21-е сутки.

Анализ влияния факторов «срок хранения» (фактор А) и «вид эмульсии» (фактор В) на микробную контаминацию эмульсионных пищевых систем показал, что степень влияния фактора А на КМАФАнМ составила



28,52 %, фактора В – 23,90 %. Наиболее существенное влияние оказывало их взаимодействие – 47,58 %.

Изучение уровня контаминации образцов эмульсионных пищевых систем дрожжами в процессе хранения показало, что влияние срока хранения (фактор А) составило 20,29 %, влияние типа эмульсии (фактор В) было выше и составило 37,29 % вариации изучаемого признака. Как и при формировании значения показателя КМАФАнМ, существенное влияние выявлено во взаимодействии данных факторов, которое составило 42,42 %.

**Установление сроков годности биоактивных эмульсионных пищевых систем с использованием метода ASLT.** Для сокращения продолжительности экспериментальных исследований была применена методика ASLT. Исследования показали, что в сравнении с контрольным образцом, хранящимся при температуре  $(4 \pm 2) ^\circ\text{C}$ , в условиях термостатирования при  $(45 \pm 1) ^\circ\text{C}$  ускорение химических процессов составляет порядка 12 раз. При термостатировании образцов при  $(40 \pm 1) ^\circ\text{C}$  химические процессы ускоряются в 10,5 раза по сравнению с контрольным образцом, а при температуре  $(35 \pm 1) ^\circ\text{C}$  химические процессы протекают в 9 раз быстрее по сравнению с контрольным образцом (рисунок 26).

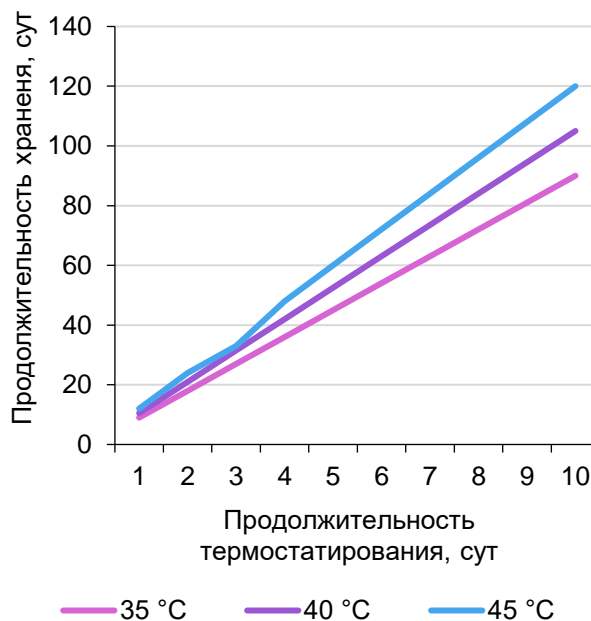


Рисунок 26 – Ускорение химических процессов при термостатировании БЭПС в различных температурных условиях

Критичные различия с контрольным образцом были обнаружены на 12-е сутки хранения при термостатировании образцов БЭПС при  $(35 \pm 1) ^\circ\text{C}$ , что соответствовало 117 сут хранения при  $(4 \pm 2) ^\circ\text{C}$ . При термостатировании при  $(40 \pm 1) ^\circ\text{C}$  критические различия начали проявляться на 11-е сутки (116 сут в реальных условиях), а термостатирование образцов БЭПС при  $(35 \pm 1) ^\circ\text{C}$  привело к возникновению критических различий на 10-е сутки (120 сут в реальных условиях). Коэффициент детерминации составил 0,986, следовательно, используемый метод позволяет моделировать условия хранения образцов БЭПС.

Исходя из полученных данных с учетом коэффициента запаса был установлен срок годности БЭПС – 3 мес. при температуре  $(4 \pm 2) ^\circ\text{C}$ .

**Проектирование биоактивных эмульсионных пищевых систем на основе регрессионного анализа.** В условиях эксперимента установлен перечень факторов, влияющих на результат комплексной органолептической оценки БЭПС:  $X_1$  – мощность ультразвукового диспергирования ( $5000 \leq X_1 \leq 2\,000\,000$ );  $X_2$  – амплитуда ультразвукового диспергирования

( $20 \leq X_2 \leq 100$ );  $X_3$  – продолжительность диспергирования ( $1 \leq X_3 \leq 30$ );  $X_4$  – концентрация эмульгатора 1 ( $0,5 \leq X_4 \leq 10$ );  $X_5$  – концентрация эмульгатора 2 ( $0,5 \leq X_5 \leq 10$ );  $X_6$  – количество масла ( $20 \leq X_6 \leq 80$ );  $X_7$  – количество воды ( $20 \leq X_7 \leq 80$ ).

Согласно плану полного факторного эксперимента, была проведена серия опытов, в которых при различных сочетаниях значений факторов  $X_1$ – $X_7$  фиксировались значения комплексной органолептической оценки БЭПС

Исходя из полученных результатов построена регрессионная модель:

$$y = 3,075 + 0,889x_1 + 0,164x_2 + 0,227x_3 + 0,093x_4 + 0,120x_5 + 0,044x_6 + 0,024x_7.$$

Аналогичным образом установлен перечень факторов, влияющих на сохраняемость БЭПС:  $X_1$  – температура хранения ( $-4 \leq X_1 \leq 4$ );  $X_2$  – КМАФАнМ ( $0 \leq X_2 \leq 10000$ );  $X_3$  – содержание плесневых грибов ( $0 \leq X_3 \leq 50$ );  $X_4$  – содержание дрожжей ( $0 \leq X_4 \leq 50$ );  $X_5$  – перекисное число ( $0 \leq X_5 \leq 10$ ).

Результаты исследования влияния изучаемых факторов на сохраняемость БЭПС выражены с помощью следующей регрессионной модели:

$$y = 31,406 - 2,156x_1 - 1,343x_2 - 1,188x_3 - 1,312x_4 - 1,5x_5 + 0,625x_1x_5.$$

## Глава 6. Определение сохраняемости и биодоступности БАВ в составе БЭПС

**Исследование сохраняемости витаминов в БЭПС.** После формирования БЭПС, а также на 5; 15 и 30-е сутки их хранения определяли количество витаминов и коэффициенты их удержания.

Результаты исследования содержания витамина  $V_1$  представлены на рисунке 27, а.

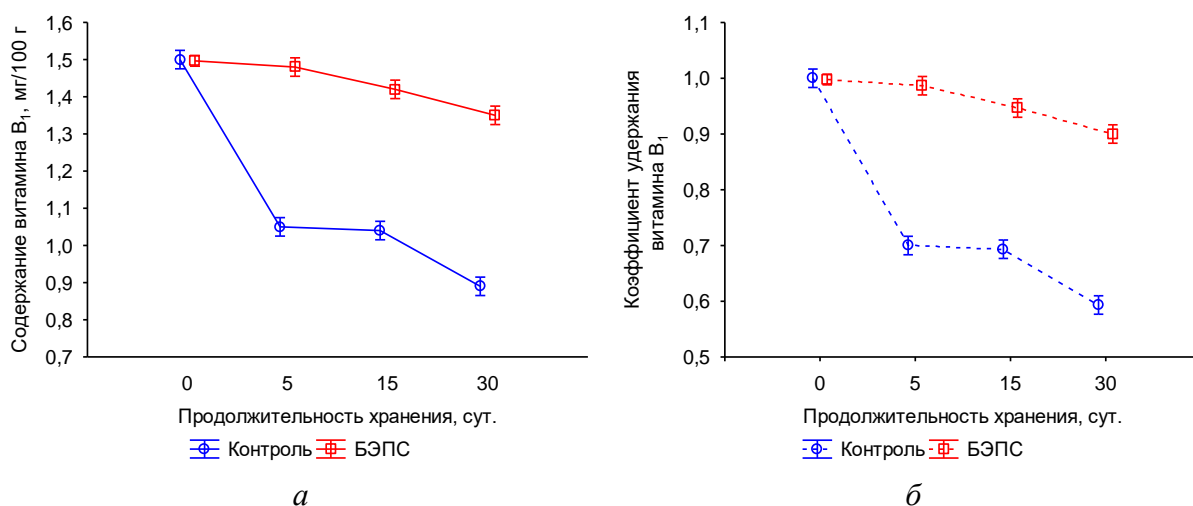


Рисунок 27 – Динамика содержания витамина  $V_1$  (а) и коэффициента его удержания (б) в процессе хранения эмульсионных пищевых систем

В процессе хранения наблюдается снижение количества витамина  $V_1$  как в контрольном образце, так и в БЭПС, однако в БЭПС оно происходит менее интенсивно. Так, на 5-е сутки хранения количество витамина  $V_1$

в БЭПС снизилось на 1,3 %, тогда как в контрольном образце снижение составило 30 %. На 15-е сутки хранения количество витамина В<sub>1</sub> снизилось на 5,3 % для БЭПС и на 30,7 % для контрольного образца. На момент окончания хранения содержание витамина В<sub>1</sub> в контрольном образце снизилось на 40,7 % до 0,89 мг/100 г, тогда как в БЭПС снижение составило только 10 % (сила влияния продолжительности хранения более 99 %,  $p < 0,01$ ).

Коэффициент удержания витамина В<sub>1</sub> в БЭПС находится в пределах 1–0,9 в течение 30 сут хранения, тогда как у контрольного образца на 30-е сутки хранения он составил 0,59 (рисунок 27, б). Разница в значениях коэффициента составила 34,4 % (сила влияния более 99 %,  $p < 0,01$ ).

Результаты исследования содержания аскорбиновой кислоты представлены на рисунке 28.

Поскольку изначально количество аскорбиновой кислоты в БЭПС составляло 1 мг на 100 г, значения ее содержания и коэффициента удержания в процессе хранения были идентичны.

Коэффициент удержания аскорбиновой кислоты в БЭПС находился в пределах 1–0,74 в течение 30 сут хранения. Значение коэффициента на 30-е сутки хранения БЭПС на 45,1 % превышало аналогичное значение контрольного образца (сила влияния более 99 %,  $p < 0,01$ ).

Для исследования эффективности инкапсулирования липофильных БАВ использовали БЭПС М/В/М, фортифицированные БЭФ с витамином Е в количестве 6,4 мг/100 г или витамин D в количестве 0,097 мг/100 г, и прямые эмульсии в качестве контрольных образцов, содержащие аналогичное количество соответствующих витаминов.

Сразу после формирования ЭПС, а также на 5; 15 и 30-е сутки их хранения определяли динамику содержания витамина Е (рисунок 29, а).

Результаты исследования показали, что в процессе хранения наблюдается снижение количества витамина Е и в контрольном образце, и в БЭПС (сила влияния более 99 %,  $p < 0,01$ ). На 5-е сутки хранения произошло снижение количества витамина Е: в БЭПС на 6,6 %, а в контрольном образце – на 27,7 %. При дальнейшем хранении темп снижения количества витамина замедлился и на 15-е сутки по сравнению с начальным значением его остаточное количество составило 40,6 % для БЭПС и 35,1 % для контрольного образца. На момент окончания хранения содержание витамина Е в контрольном образце снизилось до 70,3 %, в БЭПС – до 60,6 %.

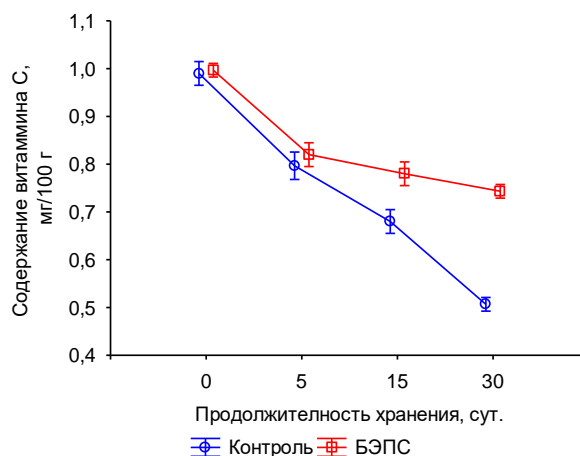


Рисунок 28 – Динамика содержания аскорбиновой кислоты в процессе хранения эмульсионных пищевых систем

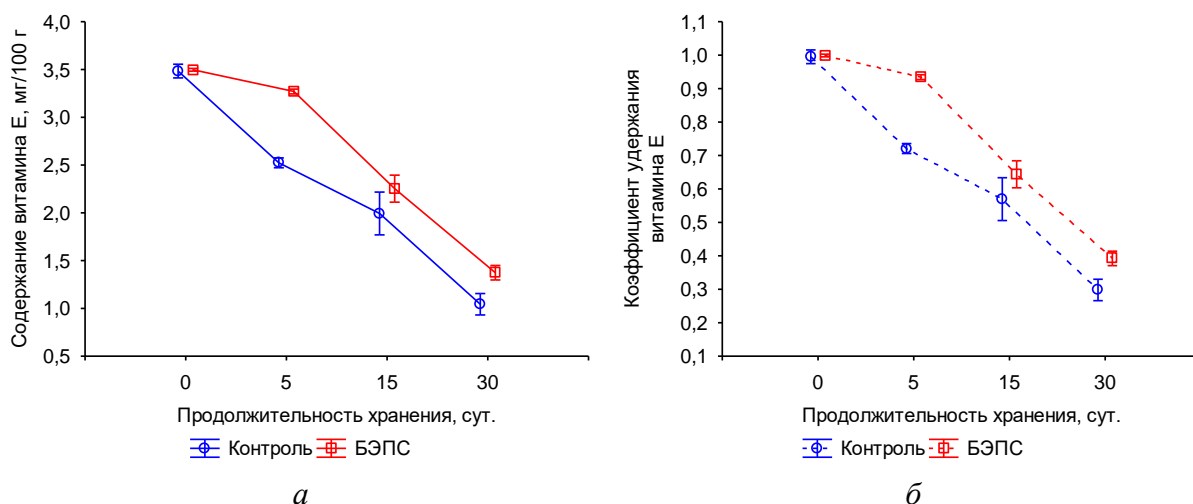


Рисунок 29 – Динамика содержания витамина E (*a*) и коэффициента его удержания (*б*) в процессе хранения эмульсионных пищевых систем

Анализ динамики коэффициента удержания витамина E, представленной на рисунке 29, *б*, показывает, что на 30-е сутки хранения значение коэффициента удержания витамина E в БЭПС было на 30 % выше значения контрольного образца – прямой эмульсии. Следовательно, снижение содержания витамина E в БЭПС под воздействием внешних факторов происходит менее интенсивно в сравнении с прямой эмульсией.

Анализ динамики содержания витамина D показал аналогичную тенденцию (рисунок 30, *a*). Снижение количества витамина D в прямой эмульсии происходит более интенсивно, чем в БЭПС, и на момент окончания периода хранения достигает 22,7 %, что на 10,3 % превышает снижение количества данного витамина при хранении БЭПС (сила влияния более 99 %,  $p < 0,01$ ).

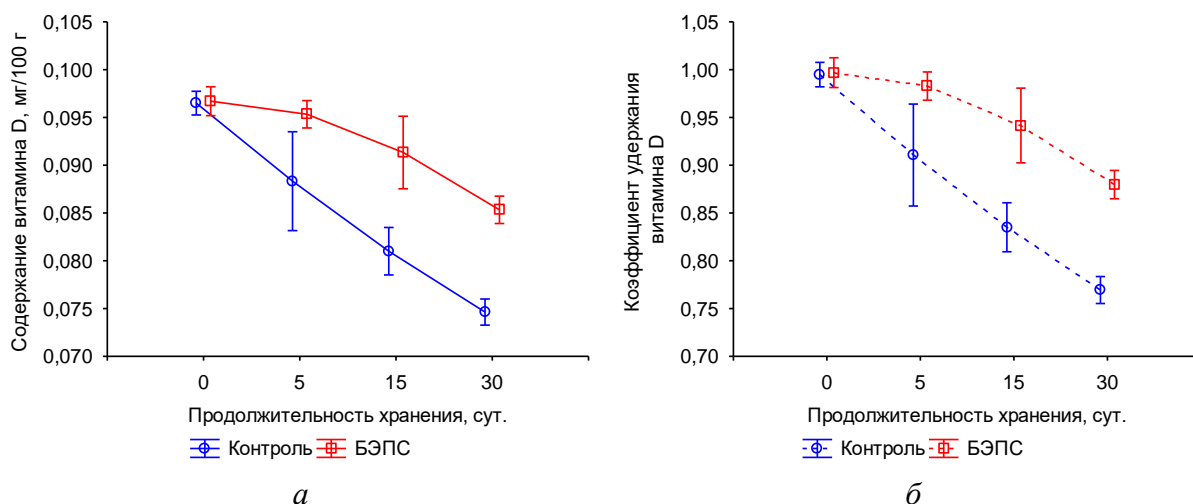


Рисунок 30 – Динамика содержания витамина D (*a*) и коэффициента его удержания (*б*) в процессе хранения эмульсионных пищевых систем

Динамика коэффициента удержания витамина D имеет аналогичную тенденцию к снижению (рисунок 30, *б*). Значение коэффициента удержания

витамина D в БЭПС на 14,3 % выше аналогичного значения прямой эмульсии (сила влияния более 99 %,  $p < 0,01$ ).

**Оценка биодоступности БАВ в составе биоактивных эмульсионных пищевых систем.** В качестве маркера для определения биодоступности использовали витамин В<sub>12</sub> (цианкобаламин), который вводили в ЭПС в количестве 0,12 мкг/мл. В эксперименте использовались три вида ЭПС: БЭПС с витамином В<sub>12</sub>; прямая эмульсия с витамином В<sub>12</sub>; контроль – прямая эмульсия. Биодоступность БАВ оценивали по сыворотке крови лабораторных животных – крыс линии *Wistar* после употребления различных видов ЭПС.

Исследования проводили в два этапа. На первом этапе (пилотный эксперимент) определяли оптимальный период биодоступности витамина В<sub>12</sub> с помощью анализа крови через 1; 2; 3 и 4 ч после введения в ЭПС. Результаты исследований представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты определения оптимального периода концентрации витамина В<sub>12</sub> в сыворотке крови после перорального приема прямой эмульсии и БЭПС

Вид эмульсии	Концентрация витамина В <sub>12</sub> в сыворотке крови, пг/л			
	через 1 ч	через 2 ч	через 3 ч	через 4 ч
Контроль	600,67 ± 91,68	–	–	–
Прямая эмульсия с витамином В <sub>12</sub>	616,67 ± 8,50	622,00 ± 133,76	627,33 ± 153,70	705,00 ± 102,59
БЭПС с витамином В <sub>12</sub>	647,33 ± 32,72	671,33 ± 127,70	672,67 ± 111,96	749,00 ± 120,40

Исследования показали, что наибольшая концентрация витамина В<sub>12</sub> определяется в сыворотке крови через 4 ч. В связи с этим оптимальным для определения биодоступности по результатам пилотного эксперимента был выбран период в 4 ч.

На втором этапе проводили анализ содержания витамина В<sub>12</sub> в крови лабораторных животных через 4 ч после введения БЭПС, прямой и контрольной эмульсий. Результаты исследования крови лабораторных животных на количественное содержание витамина В<sub>12</sub> отражены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты исследования крови лабораторных животных на содержание витамина В<sub>12</sub> через 4 ч после введения прямой эмульсии с витамином В<sub>12</sub> и БЭПС

Показатель	Концентрация витамина В <sub>12</sub> , пг/мл
Прямая эмульсия с витамином В <sub>12</sub>	625,33 ± 111,83
БЭПС	690,0 ± 150,91
<i>P</i> -значение	0,0487*
Примечание – * Различия статистически значимы на уровне 0,05.	

Сравнительный анализ концентрации витамина В<sub>12</sub> в крови лабораторных животных через 4 ч после введения прямой эмульсии с витамином В<sub>12</sub> и БЭПС показал ее достоверное различие.

Далее выявляли различия в значениях параметров общего анализа крови (основных гематологических параметров) лабораторных животных после введения БЭПС, прямой и контрольной эмульсий.

В отличие от прямой эмульсии, после введения лабораторным животным БЭПС количество лейкоцитов, моноцитов, эозинофилов, базофилов, незрелых клеток, а также содержание гемоглобина и гематокрита стали достоверно больше. Сравнительный анализ показателей общего анализа крови лабораторных животных через 4 ч после введения прямой эмульсии с витамином В<sub>12</sub> и БЭПС представлен в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты общего анализа крови лабораторных животных через 4 ч после введения прямой эмульсии с витамином В<sub>12</sub> и БЭПС

Показатель	Прямая эмульсия с витамином В <sub>12</sub>	БЭПС	P-значение
Ретикулоциты, ·10 <sup>9</sup> /л	1,23 ± 0,53	1,13 ± 0,65	0,6030
WBC (лейкоциты), ·10 <sup>9</sup> /л	1,37 ± 0,11	1,71 ± 0,52	0,0327*
LYM (процент лимфоцитов), ·10 <sup>9</sup> /л	1,03 ± 0,46	1,25 ± 0,46	0,0880
MID (смесь содержания моноцитов, эозинофилов, базофилов и незрелых клеток), ·10 <sup>9</sup> /л	0,17 ± 0,33	0,14 ± 0,02	0,4140
GRA (гранулоциты), ·10 <sup>9</sup> /л	0,47 ± 0,37	0,33 ± 0,23	0,3360
LYM (лимфоциты), %	60,54 ± 6,38	71,85 ± 5,16	0,0178*
MID (смесь содержания моноцитов, эозинофилов, базофилов и незрелых клеток, %)	9,27 ± 3,71	8,43 ± 2,70	0,3000
GRA (гранулоциты), %	26,19 ± 13,08	19,72 ± 12,58	0,1200
RBC (эритроциты), ·10 <sup>12</sup> /л	4,57 ± 0,25	4,64 ± 0,27	0,7400
HGB (гемоглобин), г/л	86,60 ± 3,46	<b>87,93 ± 2,34</b>	0,3690
MCHC (средняя концентрация гемоглобина в эритроците), г/л	348,47 ± 9,47	346,07 ± 8,86	0,5200
MCH (среднее содержание эритроцитов), пг	19,04 ± 0,76	18,96 ± 0,43	0,8180
MCV (средний объем эритроцитов), 10 <sup>-15</sup> /л	54,63 ± 1,68	54,80 ± 1,26	0,9830
RDW-CV (индекс распределения тромбоцитов), %	11,07 ± 0,38	11,10 ± 0,33	0,4370
RDW-SD (индекс распределения тромбоцитов), 10 <sup>-15</sup> /л	28,53 ± 1,02	28,63 ± 0,89	0,8030
HCT (гематокрит), %	24,92 ± 1,32	<b>25,42 ± 0,36</b>	0,1710
PLT (тромбоциты), ·10 <sup>9</sup> /л	418,93 ± 10,65	444,33 ± 13,41	0,0387*
MPV (средний объем тромбоцитов), 10 <sup>-15</sup> /л	6,05 ± 0,22	6,07 ± 0,33	0,8660
PDW (индекс распределения тромбоцитов), 10 <sup>-15</sup> /л	11,47 ± 0,63	11,71 ± 1,05	0,9470
PCT (тромбокрит), %	0,26 ± 0,03	0,26 ± 0,02	0,6780
P-LCR, %	4,55 ± 3,22	3,83 ± 3,46	0,2990
Примечание – * Различия статистически значимы на уровне 0,05.			

Результаты свидетельствуют о достоверном увеличении количества клеток белых кровяных телец (лейкоцитов и лимфоцитов), а также тромбо-

цитов после введения БЭПС по сравнению с их количеством после введения прямой эмульсии с витамином В<sub>12</sub>.

Количественное содержание витамина В<sub>12</sub> в крови лабораторных животных, получавших БЭПС, на 10,4 % превышает его содержание в крови животных, получавших прямую эмульсию с данным витамином. Контрольная группа животных, получавшая эмульсию без витамина, характеризовалась содержанием витамина В<sub>12</sub> в крови в количестве меньшем на 33 % по сравнению с группой, получавшей БЭПС. При этом у контрольной группы наблюдались более низкие значения гемоглобина и гематокрита. Это подтверждает эффективность применения витамина В<sub>12</sub> для процессов деления, роста и созревания клеток, в частности лейкоцитов, тромбоцитов, участвующих в клеточном и тканевом обмене, что способствует улучшению сопротивляемости организма, а повышение уровня гемоглобина – насыщению организма кислородом и профилактике гипоксии тканей.

**Глава 7. Практическое применение БЭПС: разработка рецептур и технологий пищевых продуктов на основе БЭПС.** На основе прогноза качественных характеристик с использованием построенных регрессионных математических моделей разработаны рецептуры и технологии пяти эмульсионных пищевых продуктов (эмульсионный биосоус; эмульсионный соус, обогащенный  $\omega$ -3 жирными кислотами; крем на растительных маслах; сывороточный коктейль с витаминами; напитки на растительной основе), которые исследовали по показателям качества и безопасности, в том числе в процессе хранения. На основе полученных результатов установлены регламентируемые показатели качества, сроки годности и разработана нормативно-техническая документация на каждый продукт, проведена промышленная апробация.

Практическое применение БЭПС представлено в автореферате на примере эмульсионного соуса, обогащенного  $\omega$ -3 жирными кислотами.

Основу эмульсионного соуса составляет БЭПС М/В/М, содержащая в качестве непрерывной внешней масляной фазы купаж масел (варианты 1–3), оптимизированных по соотношению  $\omega$ -3 и  $\omega$ -6 жирных кислот, и внутреннюю масляную фазу, состоящую из рыбьего жира, диспергированную в водной фазе. Технология приготовления соуса представлена на рисунке 31.

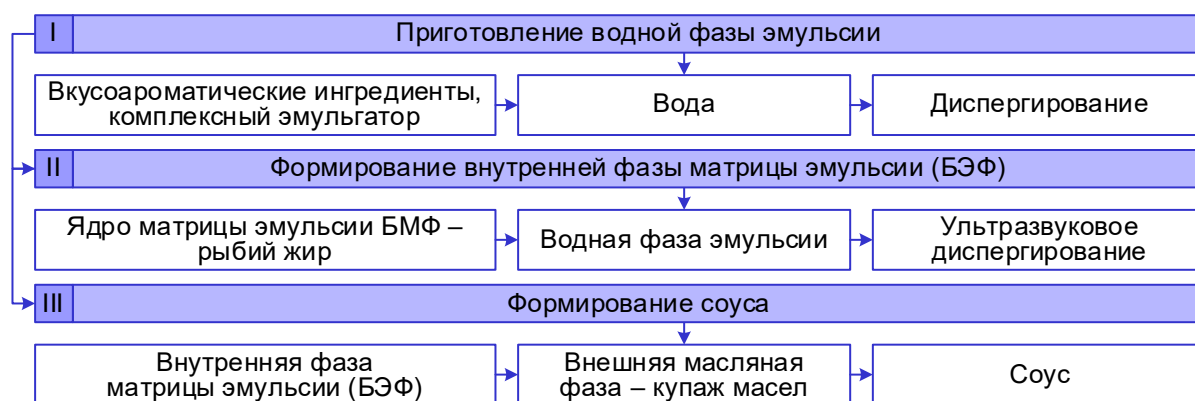


Рисунок 31 – Технология приготовления эмульсионного соуса, обогащенного  $\omega$ -3 жирными кислотами

При отработке рецептуры эмульсионного соуса, обогащенного  $\omega$ -3 жирными кислотами, применяли разные соотношения ингредиентов с учетом отработанного пропорционального состава БЭПС М/В/М. В таблице 5 представлены оптимальные рецептуры трех опытных образцов эмульсионных соусов.

Таблица 5 – Рецептуры опытных образцов эмульсионного соуса, обогащенного  $\omega$ -3 жирными кислотами

Ингредиент	Содержание, мас. %					
	Образец 1		Образец 2		Образец 3	
	Внутренняя фаза (М/В)	Внешняя фаза (М)	Внутренняя фаза (М/В)	Внешняя фаза (М)	Внутренняя фаза (М/В)	Внешняя фаза (М)
Купаж масел 1	–	56,5	–	–	–	–
Купаж масел 2	–	–	–	56,5	–	–
Купаж масел 3	–	–	–	–	–	56,5
Вода	20,0	–	20,0	–	20,0	–
Комплексный эмульгатор	1,0	–	1,0	–	1,0	–
Лимонная кислота	0,3	–	0,3	–	0,3	–
Соль	1,15	–	1,15	–	1,15	–
Пряноароматические добавки (горчичный порошок)	1,0	–	1,0	–	1,0	–
Смесь глицеридов жирных кислот	–	6,5	–	6,5	–	6,5
Сахар-песок	1,5	–	1,5	–	1,5	–
Натрий двууглекислый	0,05	–	0,05	–	0,05	–
Рыбий жир	12,0	–	12,0	–	12,0	–
<i>Итого</i>	37,0	63,0	37,0	63,0	37,0	63,0

Морфология эмульсионного соуса на основе БЭПС М/В/М представлена на рисунке 32.

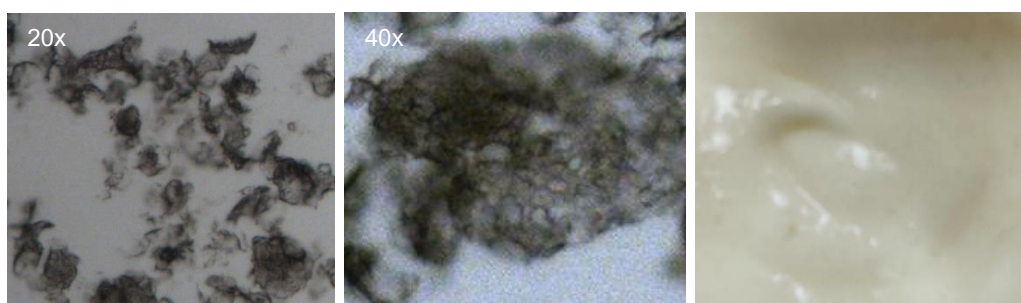


Рисунок 32 – Морфология (оптическая микроскопия) (а, б) и внешний вид (в) эмульсионного соуса на основе БЭПС М/В/М

**Оценка качества эмульсионного соуса, обогащенного омега-3 жирными кислотами.** Проведен сенсорный анализ опытных образцов эмульси-



онного соуса, обогащенного  $\omega$ -3 жирными кислотами, по результатам которого составлены органолептические профили (рисунок 33).

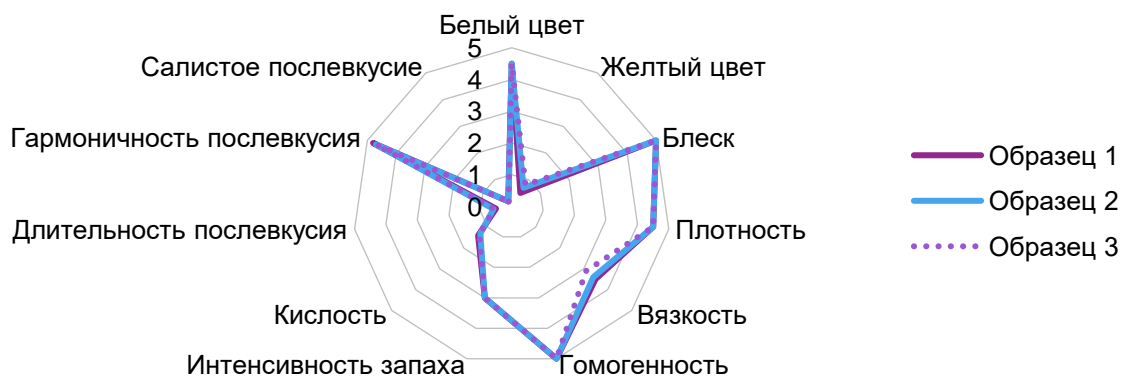


Рисунок 33 – Органолептические профили опытных образцов эмульсионного соуса, обогащенного  $\omega$ -3 жирными кислотами

Интенсивность запаха у всех опытных образцов была незначительной (3 балла), запах рыбьего жира не ощущался.

Вкус концентрировался на средней части языка, в связи с чем интенсивность послевкусия была выражена меньше (30–40 каудаль), оно было гармоничным (4 балла), с непродолжительной длительностью (1 балл), салистое послевкусие отсутствовало (0,3 балла), тон рыбьего жира был практически не выражен (1,3–1,4 балла).

Цвет опытных образцов соуса был белым с более выраженным желтым оттенком для образцов 2 и 3 согласно используемым в рецептуре купавам масел.

Из анализа газовых хроматограмм и идентификации масс-спектров жирных кислот выявлено, что основными жирными кислотами опытных образцов эмульсионных соусов являются пальмитиновая – C16:0, стеариновая – C18:0, олеиновая – C18:1  $\omega$ -9, линолевая – C18:2  $\omega$ -6,  $\alpha$ -линоленовая – C18:2  $\omega$ -3, эйкозапентаеновая – C20:5  $\omega$ -3 и докозагексаеновая – C22:6  $\omega$ -3 (таблица 6).

Таблица 6 – Жирнокислотный состав эмульсионных соусов, обогащенных  $\omega$ -3 жирными кислотами

Наименование кислоты	Содержание, % от суммы		
	Образец 1	Образец 2	Образец 3
Сумма насыщенных жирных кислот	6,97 ± 0,15	6,79 ± 0,34	5,62 ± 0,34
Пальмитиновая	4,99 ± 0,13	4,97 ± 0,35	4,52 ± 0,11
Стеариновая	1,98 ± 0,05	1,82 ± 0,07	1,10 ± 0,10
Сумма ненасыщенных жирных кислот	48,27 ± 0,20	47,82 ± 0,47	45,87 ± 0,33
Олеиновая	14,62 ± 0,06	14,84 ± 0,19	18,74 ± 0,10
Линолевая	26,93 ± 0,04	27,19 ± 0,13	20,26 ± 0,13
$\alpha$ -линоленовая	4,11 ± 0,10	3,20 ± 0,09	4,27 ± 0,08
ЭПК и ДГК	2,61 ± 0,04	2,59 ± 0,16	2,60 ± 0,09

Общее количество насыщенных жирных кислот в эмульсионных соусах находилось в пределах 5,28–7,12 %, ненасыщенных жирных кислот – 45,5–48,5 %. Доля ЭПК и ДГК вместе взятых различалась незначительно у опытных образцов (ввиду одинакового содержания в их рецептуре источника ЭПК и ДГК – рыбьего жира) и составила в среднем 2,60 %.

Содержание ПНЖК в эмульсионных соусах различалось незначительно и составило 48,27; 47,82 и 45,87 г/100 г у образцов 1, 2 и 3 соответственно, что в 2 раза превышает суточную норму потребления; степень удовлетворения потребности в ПНЖК составляет от 204,4 % до 215,11 %. Порция эмульсионного соуса позволяет удовлетворить в среднем 32 % суточной потребности в ПНЖК (за норму суточной потребности принимали среднее значение установленных нормативов для взрослого человека; степень удовлетворения суточной потребности рассчитывали на 100 г эмульсионных соусов и на порцию 15 г) (рисунок 34).

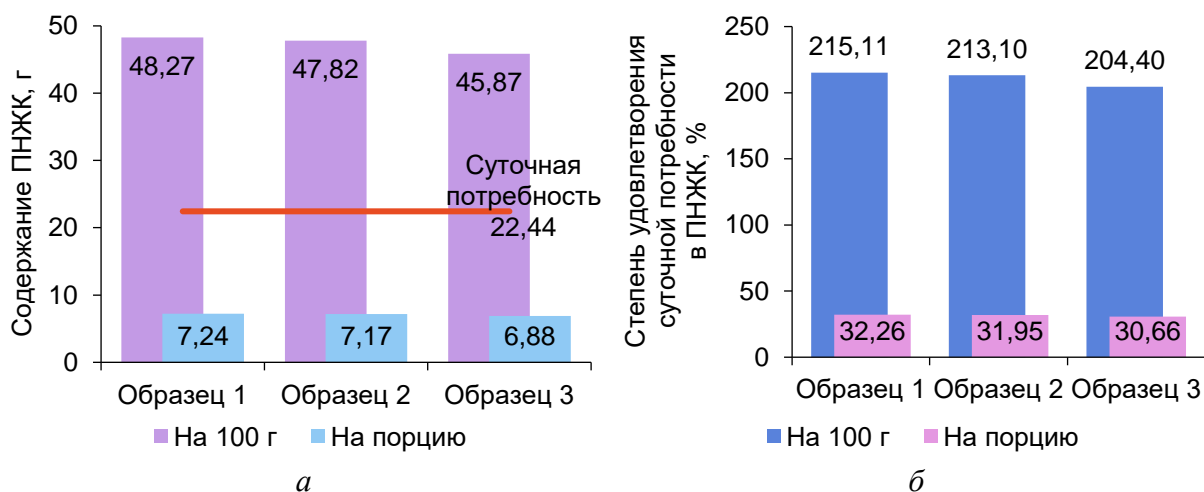


Рисунок 34 – Содержание ПНЖК (а) и степень удовлетворения суточной потребности в них при употреблении эмульсионных соусов (б)

Результаты анализа показывают, что опытный образец 3 содержит количество  $\omega$ -3 жирных кислот, чуть превышающее среднюю норму их потребления, и, таким образом, позволяет удовлетворить 101,18 % суточной потребности при употреблении его в количестве 100 г/сут. При употреблении одной порции данного образца эмульсионного соуса суточная потребность в  $\omega$ -3 жирных кислотах удовлетворяется на 15,2 %. Опытный образец 1 удовлетворяет суточную потребность в  $\omega$ -3 жирных кислотах практически на 100 % за счет их содержания, близкого к суточной норме. Порция же данного соуса позволяет удовлетворить 15 % суточной нормы в  $\omega$ -3 жирных кислотах. Образец 2 содержит меньшее количество  $\omega$ -3 жирных кислот – 3,2 г в 100 г и 0,48 г в порции, поэтому употреблении порции такого соуса потребность в  $\omega$ -3 удовлетворяется на 11,4 %, а 100 г – на 75,83 % (рисунок 35).

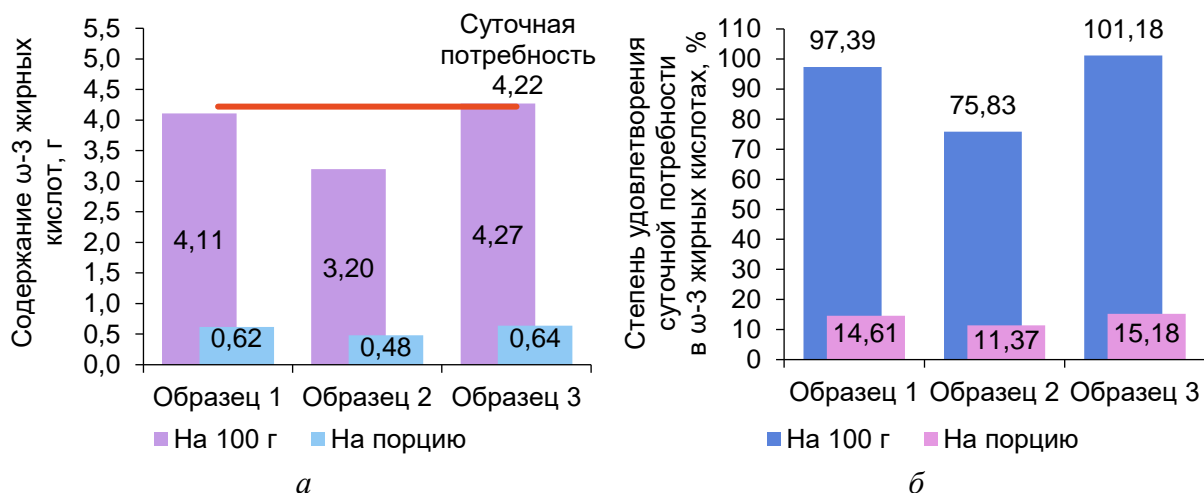


Рисунок 35 – Содержание  $\omega$ -3 жирных кислот (а) и степень удовлетворения суточной потребности в них при употреблении эмульсионных соусов (б)

На рисунке 36 представлены результаты анализа содержания ЭПК и ДГК в опытных образцах эмульсионных соусов и степень удовлетворения суточной потребности в них при употреблении 100 г и одной порции – 15 г в составе блюд.

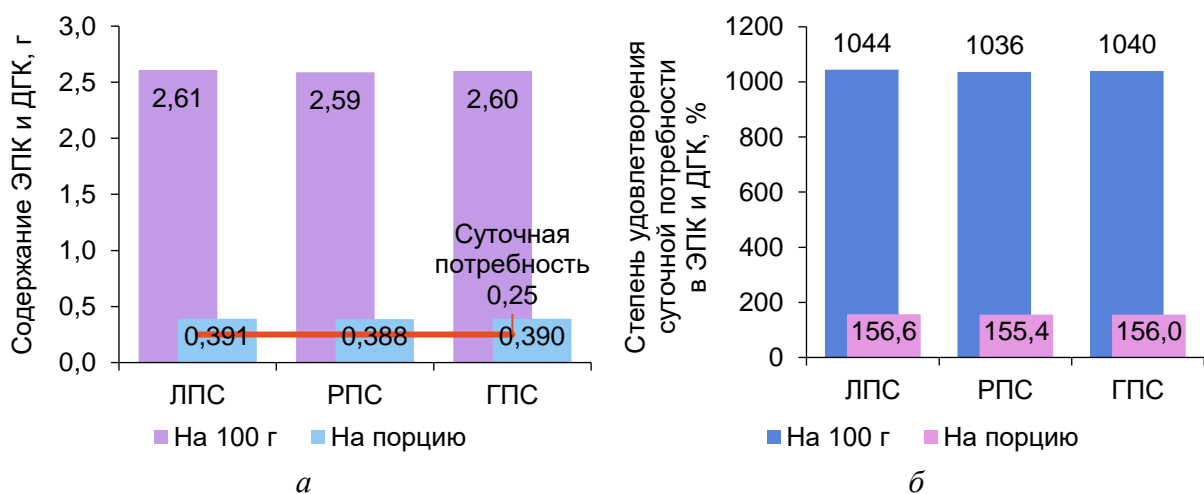


Рисунок 36 – Содержание ЭПК и ДГК (а) и степень удовлетворения суточной потребности в них при употреблении эмульсионных соусов (б)

Результаты исследования показали, что содержание ЭПК и ДГК во всех опытных образцах эмульсионных соусов находится на одном уровне ввиду того, что в рецептурах соусов находится одинаковое количество (10 мас.%) основного их источника – рыбьего жира. Такое количество позволяет удовлетворить суточную потребность в ЭПК и ДГК в среднем на 156 % при употреблении одной порции любого из опытных образцов эмульсионных соусов.

**Установление регламентируемых показателей качества и сроков годности эмульсионного соуса, обогащенного омега-3 жирными кислотами.** На основе проведенных исследований для эмульсионных соусов, обо-

гащенных  $\omega$ -3 жирными кислотами, установлены регламентируемые показатели качества (таблица 7).

Таблица 7 – Регламентируемые показатели качества эмульсионных соусов, обогащенных омега-3 жирными кислотами

Показатель	Характеристика
Внешний вид, консистенция	Однородный продукт с консистенцией типа густой сметаны с единичными пузырьками воздуха. Допускается наличие точечных вкраплений от горчицы
Вкус и запах	Гармоничные, слегка острый вкус, без следов горечи, свойственные продукту, без посторонних привкуса и запаха
Цвет	От светло-кремового до желтовато-кремового
Массовая доля влаги, %	Не более 25
Массовая доля жира, %	Не менее 62
Кислотность в пересчете на лимонную кислоту, %	Не более 0,70
Стойкость эмульсии, % выделившегося жира	Не менее 97
Содержание ЭПК и ДГК, мас.%	Не менее 2,5

Опытные образцы соусов, выработанные в условиях ООО «ПРО-питание», расфасованные в стерилизованные стеклянные бутылки и укупореженные пластиковой крышкой, были заложены на хранение в течение 4 мес. при температуре  $(4 \pm 2)$  °С.

Оценка органолептических показателей качества опытных образцов эмульсионных соусов проводилась по пятибалльной шкале с применением профильного метода (коэффициент согласованности 0,7, доверительная вероятность 0,95). Профилограммы органолептических показателей качества эмульсионных соусов представлены на рисунке 37.

Сенсорный анализ показал, что все опытные образцы имеют высокие значения органолептических показателей: однородную консистенцию, приятные вкус и запах, свойственные входящим в рецептуру компонентам, практически не изменяющиеся на протяжении 90 сут.

С целью установления сроков годности разработанных соусов определяли динамику окисления в процессе хранения (рисунок 38).

Из представленного графика видно, что значения перекисного числа стабильно увеличиваются примерно с одинаковым темпом с даты производства соусов в течение всего периода хранения (сила влияния более 99 %,  $p < 0,01$ ). Учитывая, что регламентируемое значение перекисного числа составляет не более 10 мэкв/кг, на 105-е сутки хранения у опытных образцов 1 и 2 уже отмечалось несоответствие установленным требованиям.

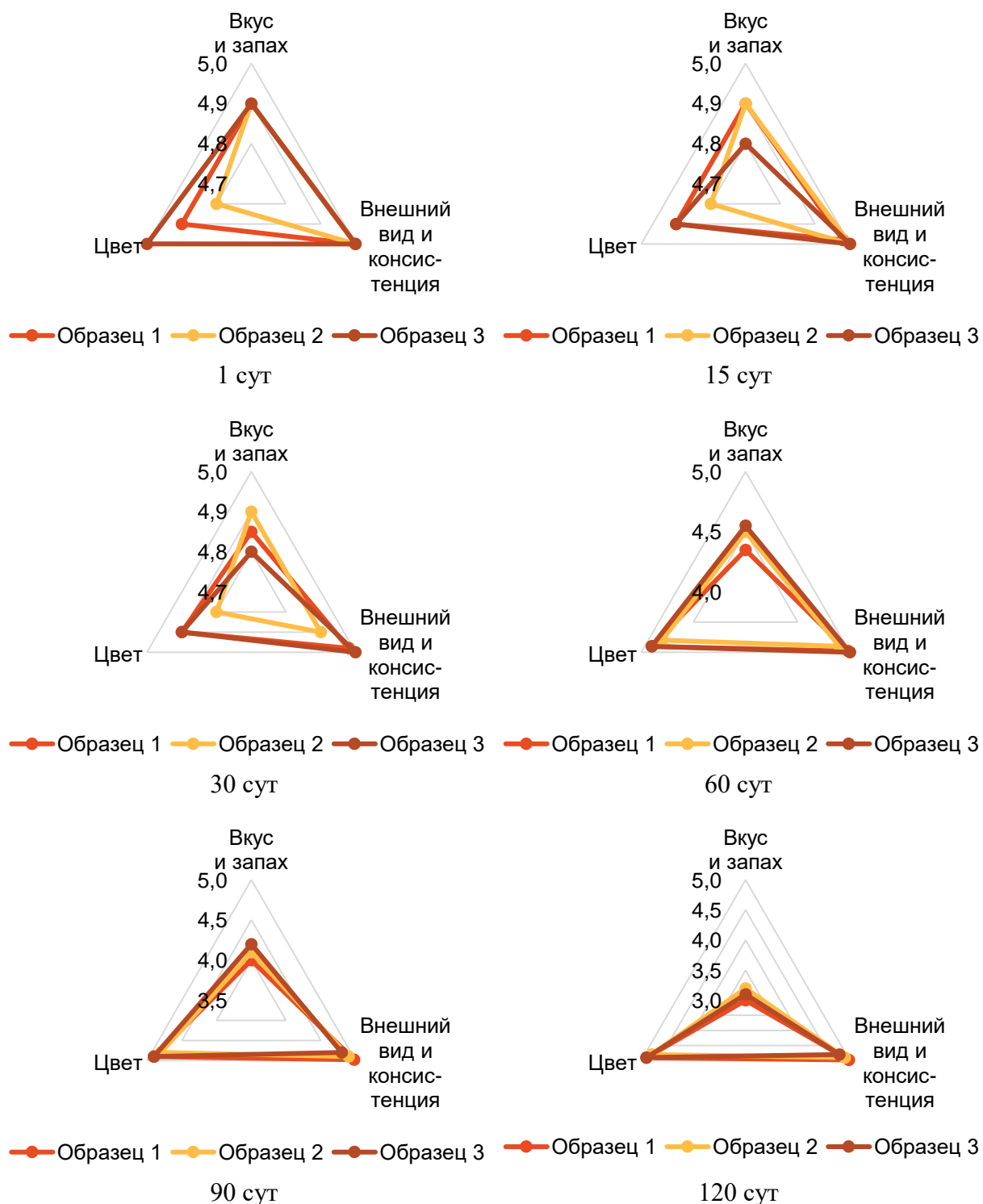


Рисунок 37 – Профилограммы органолептических показателей опытных образцов эмульсионных соусов в процессе хранения

Стойкость эмульсии свежеприготовленных соусов находилась в диапазоне 99,3–99,8 % (рисунок 39). Продолжительность хранения оказывает значимое влияние на стойкость эмульсии исследуемых образцов соуса: сила влияния для образца 1 – 98,71 %, для образцов 2 и 3 – более 99 % ( $p < 0,01$ ).

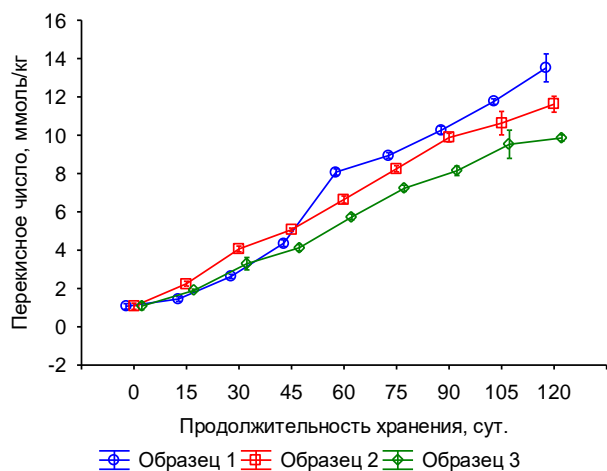


Рисунок 38 – Динамика значений перекисного числа опытных образцов эмульсионных соусов в зависимости от продолжительности хранения

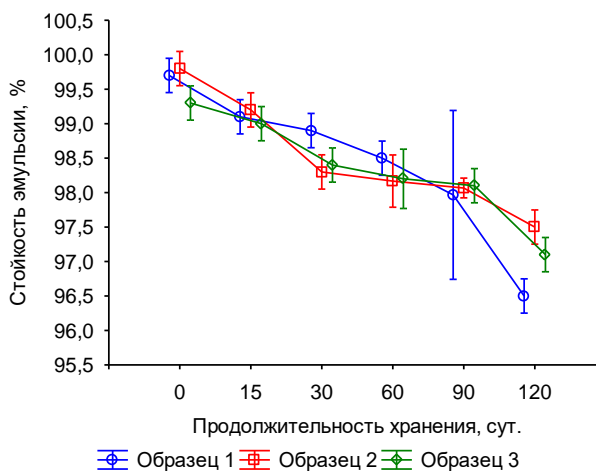


Рисунок 39 – Динамика стойкости эмульсии опытных образцов эмульсионных соусов в зависимости от продолжительности хранения

В последующие 90 сут наблюдалось некоторое снижение доли неразрушенной эмульсии на 2,3–2,4 %. Однако значения находились в рамках регламентируемых. На 120-е сутки хранения произошло значительное снижение значений, которые находились за пределами установленных требований.

На протяжении всего периода хранения (120 сут) при температуре  $(4 \pm 2) ^\circ\text{C}$  микробиологические показатели опытных образцов соусов оставались в пределах допустимых уровней.

Исследования органолептических, микробиологических показателей, показателя, характеризующего степень окисления, и стойкости эмульсии позволили установить срок годности разработанных соусов – 75 сут с учетом коэффициента запаса 1,2.

## Заключение

1. На основе обобщения имеющихся теоретических концепций и результатов экспериментальных исследований обоснована необходимость разработки фортифицированных эмульсионных пищевых продуктов.

2. Предложена методология разработки БЭПС, основанная на фортификации БАВ, инкапсулированными в матрицу по технологии двойных эмульсий с использованием ультразвукового диспергирования для производства фортифицированных эмульсионных пищевых продуктов.

3. Предложны понятийный аппарат и классификация эмульсионных пищевых систем, которая может быть применима для целей систематизации и расширения ассортимента фортифицированных эмульсионных пищевых продуктов.

4. Разработана программа ЭВМ, позволяющая оперативно формировать оптимизированные составы биоактивной масляной фазы (среды) БЭПС

с заданным соотношением БАВ липидной природы на основе комбинирования имеющихся сырьевых ресурсов и БАВ при заданных свойствах (характеристиках).

5. Разработана технология фортификации эмульсионных пищевых систем, способствующая увеличению сохраняемости и биодоступности БАВ. Определены оптимальные технологические решения, предусматривающие применение инкапсулирования БАВ в матрицу БЭПС по технологии двойных эмульсий и ультразвуковое диспергирование для обеспечения сохраняемости и биодоступности БАВ. Получены результаты исследования зависимости реологических характеристик, вносимого эмульгатора, комбинации масел и технологических параметров ультразвукового диспергирования на дисперсность и стабильность БЭПС. Определены оптимальные технологические параметры получения стабильных БЭПС с использованием комплексного эмульгатора на основе Tween 80 (Polysorbate 80) и соевого лецитина: рабочая частота 20 кГц, амплитуда 40–70 %, мощность 550–750 Вт, продолжительность – 2–10 мин, массовая доля комплексного эмульгатора – 1 %. Показана кинетическая стабильность БЭПС: отсутствие седиментации и максимально однородное распределение капель дисперсной фазы, средний диаметр которых находится в пределах 6,1–7,7 мкм на протяжении всего периода хранения.

6. Установлен перечень факторов, влияющих на комплексный показатель качества и сохраняемость БЭПС (технические параметры ультразвукового диспергирования, вид и количество эмульгатора, соотношение масляной и водной фазы, температура, перекисное число, микробиологические показатели) и механизмы их влияния на формирование стабильных БЭПС; построены регрессионные математические модели, позволяющие прогнозировать качественные характеристики и устойчивость в хранении фортифицированных БЭПС.

7. Установлена возможность коррекции специфического флейвора БАВ при их инкапсулировании в матрицу БЭПС: устранение неприятного запаха и послевкусия рыбьего жира и витамина В<sub>1</sub>, посторонних привкусов, а также улучшение цвета ЭПП. Данный факт способствует формированию заданных потребительских характеристик и расширяет возможности использования БАВ, обладающих специфическими органолептическими характеристиками. Экспериментально доказано, что инкапсулирование способствует увеличению сохраняемости БАВ, за счет формирования межфазного слоя и обеспечения их защиты в составе матрицы эмульсионных пищевых продуктов от преждевременной деградации. Увеличение сохраняемости БАВ составило для водорастворимых и жирорастворимых витаминов – 34 % и 24 % соответственно; пробиотиков – 90 %. Устойчивость к окислению ПНЖК увеличилась на 35,4 %. Определено, что ультразвуковое диспергирование в технологии получения БЭПС способствует снижению контаминации микроорганизмами и меньшему темпу их роста.

8. В доклинических испытаниях экспериментально подтверждено повышение биодоступности БАВ, инкапсулированных в матрицу БЭПС. Количественное содержание витамина В<sub>12</sub> в крови лабораторных животных, получавших БЭПС на 10,4 % превышает его содержание в крови лабораторных животных, получавших прямую эмульсию с данным витамином. Контрольная группа животных, получавшая эмульсию без витамина, характеризовалась содержанием витамина В<sub>12</sub> в крови в количестве меньшем на 33 % по сравнению с группой, получавшей БЭПС.

9. Научно обоснованы рецептуры и технологии получения фортифицированных эмульсионных пищевых продуктов: эмульсионный биосоус с инкапсулированным пробиотическим комплексом, эмульсионный соус с инкапсулированными ЭПК и ДГК в составе рыбьего жира, крем на растительных маслах с инкапсулированными витаминами А и D, сывороточный коктейль с инкапсулированными водорастворимыми витаминами, напитки на растительной основе с инкапсулированным витамином D и кальцием. Проведена оценка качества фортифицированных эмульсионных пищевых продуктов, установлены регламентируемые показатели качества, режимы и сроки хранения. Рецептуры и технологии апробированы на промышленных предприятиях и предприятиях индустрии питания.

## Список работ, опубликованных автором по теме диссертации

### Статьи в журналах, входящих в базу данных RSCI

1. **Феофилактова, О. В.** Разработка соусов с применением эубиотических микроорганизмов и их метаболитов / О. В. Феофилактова, А. В. Казаков // Пищевая промышленность. – 2009. – № 9. – С. 38–39.

2. **Феофилактова, О. В.** Установление сроков годности и сохраняемость биоресурсов / О. В. Феофилактова, Н. В. Лейберова, Н. В. Заворохина, Е. В. Пастушкова // Пищевая промышленность. – 2013. – № 11. – С. 38–41.

3. Заворохина, Н. В. Использование дескрипторно-профильного метода дегустационного анализа при разработке сывороточных напитков / Н. В. Заворохина, Ю. И. Богомазова, **О. В. Феофилактова**. – DOI 10.24411/0235-2486-2019-10100 // Пищевая промышленность. – 2019. – № 7. – С. 50–53.

4. **Феофилактова, О. В.** Коктейли на основе молочной сыворотки с инкапсулированным витамином С / О. В. Феофилактова, Н. В. Заворохина. – DOI 10.31515/1019-8946-2021-12-38-40 // Молочная промышленность. – 2021. – № 12. – С. 38–40.

5. Заворохина, Н. В. Сенсорный анализ при сравнительной оценке жировой продукции Европейского союза: инновации и тренды / Н. В. Заворохина, **О. В. Феофилактова**. – DOI 10.31515/2073-4018-2022-6-38-41 // Сыроделие и маслоделие. – 2022. – № 6. – С. 38–41.

6. **Feofilaktova, O. V.** Ultrasonic cavitation effect on the fatty acid composition of linseed oil-based emulsions / O. V. Feofilaktova, V. L. Feigelman, S. A. S. Aboushab, E. G. Kovaleva. – DOI 10.14258/jcprm.20230311781 // Химия растительного сырья. – 2023. – № 3. – С. 311–316.



**Публикации в изданиях, входящих  
в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК РФ**

7. **Феофилактова, О. В.** Анализ ассортимента и потребительских мотиваций на рынке соусов Екатеринбурга / О. В. Феофилактова, О. В. Голуб // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. – 2011. – № 2 (7). – С. 97–103.
8. Лазарев, В. А. Анализ аминокислотного состава молочной сыворотки концентрированной баромембранными методами / В. А. Лазарев, **О. В. Феофилактова** // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. – 2016. – № 2 (37). – С. 14–19.
9. **Феофилактова, О. В.** Применение комплекса омега-3, омега-6 жирных кислот в производстве эмульсионных соусов / О. В. Феофилактова, Л. Г. Протасова, Д. А. Карх, К. Я. Мотовилов // АПК России. – 2017. – Т. 24, № 4. – С. 856–863.
10. **Феофилактова, О. В.** Системный подход к моделированию эмульсионных функциональных пищевых продуктов высокой биодоступности / О. В. Феофилактова. – DOI 10.29141/2500-1922-2020-5-4-7 // Индустрия питания. – 2020. – Т. 5, № 4. – С. 45–51.
11. **Феофилактова, О. В.** Получение стабильных эмульсионных систем / О. В. Феофилактова, Н. В. Заворохина, В. В. Лабецкий. – DOI 10.29141/2500-1922-2021-6-3-9 // Индустрия питания. – 2021. – Т. 6, № 3. – С. 76–83.
12. **Feofilaktova, O. V.** Flavor formation of stable double emulsion systems with encapsulated biologically active substances / O. V. Feofilaktova, N. V. Zavorokhina. – DOI 10.29141/2500-1922-2022-7-4-9 // Food Industry. – 2022. – Vol. 7, no. 4. – P. 74–82.
13. **Феофилактова, О. В.** Влияние ультразвукового диспергирования на реологические свойства двойных эмульсионных пищевых систем с высоким содержанием полиненасыщенных жирных кислот / О. В. Феофилактова. – DOI 10.29141/2500-1922-2022-7-2-6 // Индустрия питания. – 2022. – Т. 7, № 2. – С. 52–60.
14. **Феофилактова, О. В.** Моделирование аналога молока на растительной основе с повышенной пищевой ценностью / О. В. Феофилактова, Н. В. Заворохина. – DOI 10.24412/2311-6447-2022-4-31-38 // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2022. – № 4. – С. 31–38.
15. **Феофилактова, О. В.** Разработка эмульсионных соусов, оптимизированных по составу ПНЖК / О. В. Феофилактова, Н. В. Заворохина. – DOI 10.14529/food220410 // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. – 2022. – Т. 10, № 4. – С. 100–108.
16. **Феофилактова, О. В.** Анализ динамики микробиологических показателей эмульсионных пищевых систем в процессе хранения / О. В. Феофилактова, Г. П. Чекрыга, Н. В. Заворохина. – DOI 10.36718/1819-4036-2023-1-178-184 // Вестник КрасГАУ. – 2023. – № 1 (190). – С. 178–184.
17. Feofilaktova, O. V. Methodological approach to the bioactive emulsion food systems development / O. V. Feofilaktova. – DOI 10.29141/2500-1922-2024-9-1-4 // Food Industry. – 2024. – Vol. 9, no. 1. – P. 35–40.
18. **Феофилактова, О. В.** Оценка биодоступности БАВ в составе биоактивных эмульсионных пищевых систем / О. В. Феофилактова, Т. В. Мажаева, С. В. Бегичева, Н. В. Заворохина. – DOI 10.14529/food240206 // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. – 2024. – Т. 12, № 2. – С. 48–57.

## Статьи в изданиях, индексируемых в международных базах данных

19. **Feofilaktova, O.** Experimental justification for the experimental justification for the development of new types of emulsion products for the food industry enterprises / O. Feofilaktova // *Advances in social science, education and humanities research*. – 2019. – Vol. 240. – P. 558–561.

20. **Feofilaktova, O.** Creating a functional basis for the production of food emulsions / O. Feofilaktova, D. Grashchenkov, D. Karkh, M. Lukinykh. – DOI 10.1051/e3sconf/202017601015 // *E3S Web of Conferences*. – 2020. – Vol. 176. – Art. 01015.

21. **Feofilaktova, O.** Optimization of technological parameters for the stable base formation of emulsion food products / O. Feofilaktova, N. Zavorokhina, D. Karkh. – DOI 10.1063/5.0069259 // *AIP Conference Proceedings*. – 2021. – Vol. 2419. – Art. 020016.

22. Zavorokhina, N. Innovative functional products development as an element for the Russian Federation population health preservation / N. Zavorokhina, E. Minnikhanova, **O. Feofilaktova**, O. Chugunova. – DOI 10.1051/e3sconf/202125410016 // *E3S Web of Conferences*. – 2021. – Vol. 254. – Art. 10016.

23. **Feofilaktova, O.** Application of Accelerated Shelf-Life Testing for determination of bioactive emulsion food systems' shelf life / O. Feofilaktova, N. Zavorokhina, E. Makarova. – DOI 10.1051/e3sconf/202453710017 // *E3S Web of Conferences*. – 2024. – Vol. 537. – Art. 10017.

## Монография

24. **Феофилактова, О. В.** Научные и практические аспекты разработки биоактивных эмульсионных пищевых систем / О. В. Феофилактова. – Курск : Университетская книга, 2024. – 230 с. – ISBN 978-5-907916-12-8.

## Свидетельства и патенты

25. Патент № 2416342 Российская Федерация, МПК А23L 1/24, А23L 1/30. Способ получения биосоуса : № 2009147594/10 : заявл. 21.12.2009 : опубл. 20.04.2011 / А. В. Казаков, **О. В. Феофилактова**.

26. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021661916 Российская Федерация. Компьютерная программа проектирования оптимального соотношения полиненасыщенных жирных кислот жирной основы : № 2021660827 : заявл. 08.07.2021 : опубл. 19.07.2021 / **О. В. Феофилактова**, Д. В. Гращенко.

## Список сокращений и условных обозначений

БАВ – биологически активные вещества.

БМФ – биоактивная масляная фаза.

БЭПС – биоактивные эмульсионные пищевые системы.

БЭФ – биоактивный эмульсионный фортификат.

В/М – обратная эмульсия «вода в масле».

В/М/В – двойная эмульсия (обратная эмульсия в водной среде).

ГЛБ – гидрофильно-липофильный баланс.  
 ДГК – докозагексаеновая кислота.  
 М/В – прямая эмульсия «масло в воде».  
 М/В/М – двойная эмульсия (прямая эмульсия в масляной среде).  
 МСТ – medium chain tryglycerides (среднецепочечные триглицериды).  
 ПАВ – поверхностно-активное вещество.  
 ПНЖК – полиненасыщенные жирные кислоты.  
 ЭПК – эйкозапентаеновая кислота.  
 ЭПП – эмульсионный пищевой продукт.  
 ЭПС – эмульсионные пищевые системы.

## Словарь терминов

**Биоактивная эмульсионная пищевая система** – эмульсионные пищевые системы, дополнительно обогащенные биологически активными веществами до уровня, превышающего их естественное содержание в них.

**Диспергирование** – тонкое измельчение твердых тел или жидкостей, в результате чего получают порошки, суспензии, эмульсии.

**Инкапсулирование (инкапсуляция)** – процесс иммобилизации частиц твердого тела, жидкости или газа (ингредиента, ядра или активной части материала) во вторичный материал, называемый матрицей, оболочкой, стенкой, инкапсулянтном или материалом-носителем.

**Обратная эмульсия** – капли воды в масле.

**Пищевая эмульсия** – комплекс взаимодействующих пищевых компонентов, состоящий из двух несмешивающихся жидкостей.

**Прямая эмульсия** – капли масла в воде.

**Флейвор** – комплексное ощущение в полости рта, вызываемое вкусом, запахом и текстурой пищевого продукта.

**Фортификация**, или усиление (от англ. amplification), – дополнительное обогащение продуктов питания недостающими пищевыми веществами до уровня, превышающего их естественное содержание.

**Эмульгаторы** – химические соединения или их смеси, обеспечивающие создание стабильных эмульсий из несмешивающихся жидкостей.

**Эмульсия** – дисперсная система, состоящая из микроскопических капель жидкости – дисперсной фазы, распределенных в другой жидкости – дисперсионной среде), которая может быть образована двумя любыми несмешивающимися жидкостями.

**Эмульсионная пищевая система** – комплекс взаимодействующих пищевых компонентов, состоящий из двух несмешивающихся жидкостей.

**Accelerated Shelf Life Testing (ASLT)** – метод исследований, основанный на увеличении скорости химических процессов, протекающих в пищевых системах, посредством создания особо неблагоприятных условий хранения.

Подписано в печать 20.09.2024.  
Формат 60 × 84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Гарнитура Таймс. Бумага офсетная. Печать плоская.  
Уч.-изд. л. 2,0. Тираж 150 экз. Заказ

Отпечатано с готового оригинал-макета в подразделении оперативной полиграфии  
Уральского государственного экономического университета  
620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта/Народной Воли, 62/45