

На правах рукописи



ИЩУК ЛАРИСА АЛЕКСЕЕВНА

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СУПРАМОЛЕКУЛЯРНЫХ
И ЭМУЛЬСИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ ФИТОНУТРИЕНТОВ
ДЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ НАПИТКОВ**

Специальность 4.3.3. Пищевые системы

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Кемерово 2026

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Кемеровский государственный университет» (ФГБОУ ВО «КемГУ»)

Научный руководитель: **Сергеева Ирина Юрьевна**
доктор технических наук, профессор

**Официальные
оппоненты:** **Аверьянова Елена Витальевна**
доктор технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Алтайский государственный университет», Институт химии и химико-фармацевтических технологий, директор

Феофилактова Ольга Владимировна
доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный экономический университет», кафедра технологий питания, профессор

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет», г. Иркутск.

Защита диссертации состоится «18» декабря 2026 г. в 11:00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.315.05 при ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет» по адресу: 650056, г. Кемерово, б-р Строителей, 47, 2 лекц. ауд.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке и на официальном сайте ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет» (<https://kemsu.ru/science/dissertation-councils/diss-24-2-315-05/protects/147330/>), на официальном сайте ВАК Минобрнауки РФ (<https://vak.gisnauka.ru>).

Отзывы на автореферат, заверенные печатью организации, отправлять по адресу: 650000, г. Кемерово, ул. Красная, 6, Диссертационный совет 24.2.315.05, e-mail: ds24.2.315.05@mail.ru.

Автореферат разослан «_____» _____ 2026 года

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук



Милентьева Ирина Сергеевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Старение населения и рост распространенности хронических заболеваний диктуют необходимость разработки продуктов, направленных на поддержание здоровья и профилактику заболеваний.

Современные стратегии здоровьесбережения сфокусированы на снижение заболеваемости посредством включения в состав лекарственных средств и функциональных продуктов фитонутриентов – биологически активных веществ растительного происхождения. Это стимулирует научное сообщество к поиску новых источников сырья для их выделения.

В рамках данной работы приоритетным направлением является разработка технологии извлечения фитонутриентов из пряно-ароматического и эфиромасличного сырья с использованием современной технологии сверхкритической экстракции, которая позволит создать новые функциональные компоненты и продукты, соответствующие приоритетным направлениям развития пищевой промышленности (обозначенным в «Стратегии повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года», «Стратегии действий в интересах граждан старшего поколения в Российской Федерации до 2030 года»).

Кроме того, в условиях текущей геополитической ситуации и нестабильности на мировом рынке продовольствия развитие отечественного производства функциональных продуктов является стратегически важной задачей, направленной на снижение зависимости от импорта, что отражено в указе Президента РФ «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года».

Российская пищевая промышленность демонстрирует активное развитие, внедряя инновационные технологии переработки, позволяющие создавать функциональные продукты с заданными свойствами и высокой биодоступностью целевых компонентов. Использование растительных фитонутриентов в составе таких продуктов обеспечивает мягкое и эффективное воздействие на организм, повышая его адаптивные функции и иммунный ответ. Таким образом, актуальность разработки функциональных продуктов в России обусловлена комплексом экономических и социальных факторов.

Степень разработанности темы исследования. Теоретические и практические основы данной темы обобщены в трудах как отечественных, так и зарубежных ученых. Некоторые из ключевых аспектов исследований включают: оптимизацию методов экстрагирования для повышения выхода биологически активных веществ, изучение новых технологий и техник экстрагирования для повышения эффективности процесса (Г. Б. Еляков, Г. И. Касьянов, Т. К. Каленик, М. Н. Дадашев, Н. В. Попова, И. Ю. Потороко, В. Н. Оробинская, Д. А. Коновалов, И. А. Абашкин, Y. Chen, S. Balachandran, Z. Albakry и др.); анализ биохимических и фармакологических свойств экстрагированных веществ (И. Д. Кароматов, Т. Л. Киселева, Н. К. Рудь, Y. Chen, A. Abdel-Moneim, P. N. Paudel и др.).

Однако требуется более подробное изучение таких вопросов, как повышение биодоступности липофильных биологически активных веществ растительного сырья и обоснование научного подхода к разработке технологий функциональных субстанций с использованием биологически активных фитонутриентов.

Тема диссертационного исследования соответствует приоритету научно-технологического развития Российской Федерации, а именно переходу к высокопродуктивному и экологически чистому агрохозяйству, хранению и эффективной переработке сельскохозяйственной продукции, созданию безопасных и качественных, в том числе функциональных, продуктов питания.

Целью данной работы является разработка технологии применения фитонутриентов в пищевых системах посредством моделирования супрамолекулярных комплексов типа «ядро-оболочка» и эмульсионных систем, обеспечивающих защиту целевых компонентов и их биодоступность.

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

1. Изучить влияние параметров процесса экстракции (давления в рабочей колонне и сепараторах) на физико-химические показатели и компонентный состав экстрактов.

2. Установить технологические режимы для получения экстрактов с повышенным содержанием целевых биологически активных соединений из *Coriandrum sativum* L. (кориандра), *Zingiber officinale* (имбиря) и *Nigella sativa* L. (черного тмина) с использованием фракционирования методом сверхкритической CO₂-экстракции.

3. Разработать технологию получения супрамолекулярных комплексов типа «ядро-оболочка» и стабильной эмульсионной системы на основе флюидных экстрактов *Coriandrum sativum* L., *Zingiber officinale* и *Nigella sativa* L.

4. Оценить сохранность «ядра» супрамолекулярных комплексов, полученных на основе CO₂-экстрактов *Coriandrum sativum* L. и *Nigella sativa* L. в модели последовательной инкубации в средах, имитирующей желудочный и кишечный этапы пищеварения.

5. Разработать технологии функциональных напитков с использованием супрамолекулярных и эмульсионных систем фитонутриентов *Coriandrum sativum* L., *Zingiber officinale* и *Nigella sativa* L.

6. Оценить показатели качества и безопасности разработанных напитков, разработать комплект технической документации и осуществить промышленную апробацию созданной технологии.

7. Провести оценку экономической целесообразности внедрения разработанной технологии на предприятиях пищевой промышленности.

Научная новизна исследования заключается в углублении знаний о селективном извлечении биоактивных фитонутриентов из эфиромасличного и пряно-ароматического сырья с использованием сверхкритической экстракции и формировании систем их доставки (супрамолекулярных комплексов типа «ядро-оболочка» и эмульсий) для создания функциональных пищевых продуктов с улучшенными потребительскими свойствами.

К ключевым элементам научной новизны относятся следующие результаты диссертационной работы:

1. Технологические параметры экстракции фитонутриентов из *Coriandrum sativum* L., *Zingiber officinale* и *Nigella sativa* L., определенные методом флюидной углекислотной экстракции с фракционированием по давлению в приемных сепараторах (п. 13 паспорта научной специальности 4.3.3 – Пищевые системы).

2. Установленные зависимости влияния физических факторов экстракции (давление и температура в рабочих элементах установки сверхкритической экстракции) на компонентный состав экстрактов *Coriandrum sativum* L., *Zingiber officinale* и *Nigella sativa* L. (п. 15 паспорта научной специальности 4.3.3 – Пищевые системы).

3. Технологические параметры создания пищевой субстанции типа «ядро-оболочка» супрамолекулярного комплекса полисахарид/белок/масло – для повышения биодоступности и защиты липофильных фитонутриентов из растительного сырья (п. 8 паспорта научной специальности 4.3.3 – Пищевые системы).

4. Обоснованный компонентный состав эмульсионной системы на основе отдельных фракций *Zingiber officinale* для повышения биодоступности и защиты липофильных фитонутриентов (п. 8 паспорта научной специальности 4.3.3 – Пищевые системы).

5. Состав функциональных безалкогольных напитков с биологически активными фитонутриентами *Coriandrum sativum* L., *Zingiber officinale* и *Nigella sativa* L. в биодоступной форме (п. 29 паспорта научной специальности 4.3.3 – Пищевые системы).

Теоретическая и практическая значимость диссертационного исследования заключается в углубленном изучении процесса сверхкритической флюидной экстракции пряно-ароматического и эфиромасличного сырья, применении научно обоснованного подхода к формированию супрамолекулярных и эмульсионных систем, полученных на основе флюидных экстрактов *Coriandrum sativum* L., *Zingiber officinale* и *Nigella sativa* L.

На основании комплексного анализа полученных результатов разработаны технологии функциональных напитков с применением биоактивных фитонутриентов *Coriandrum sativum* L., *Zingiber officinale* и *Nigella sativa* L.

Разработан комплект технической документации:

– ТУ, ТИ 11.07-304-02068309-2026 «Напиток безалкогольный ферментированный с CO₂-экстрактом имбиря»;

– ТУ, ТИ 11.07.19-302-02068309-2026 «Напиток безалкогольный таблетированный функциональный (варианты)».

Проведены производственные испытания разработанных технологий и выработка опытной партии напитков на ООО «Алтай-Селигор» (г. Бийск, Россия), ООО «Мануфактура» (г. Кемерово, Россия).

Методология и методы исследования. При выполнении диссертационного исследования использовались стандартные методы химического, физико-химического, органолептического и микробиологического исследования сырья и готовых продуктов.

Для реализации поставленных целей в работе применены современные методы и подходы к созданию биодоступных субстанций фитонутриентов пряно-ароматического и эфиромасличного сырья:

– извлечение биологически активных веществ из растительного сырья путем направленного физического воздействия с использованием сверхкритической флюидной экстракции;

– использование современной приборно-аналитической базы для исследования физико-химических свойств продуктов экстракции (высокоэффективная газовая хроматография, tandemная масс-спектрометрия, оптическая микроскопия);

– комплексная коацервация для повышения стабильности и биодоступности субстанций.

Положения, выносимые на защиту:

1. Технологические параметры процесса флюидной углекислотной экстракции фитонутриентов из растительного сырья *Coriandrum sativum* L., *Zingiber officinale* и *Nigella sativa* L., включающие режимы фракционирования по давлению в приемных сепараторах, обеспечивающие селективное извлечение целевых биологически активных компонентов.

2. Технологические параметры создания пищевой субстанции типа «ядро-оболочка» – супрамолекулярного комплекса полисахарид/белок/масло – обеспечивающего повышение биодоступности и защиту липофильных CO₂-экстрактов при прохождении через желудочно-кишечный тракт.

3. Экспериментально обоснованный компонентный состав эмульсионной системы на основе отдельных фракций сверхкритического экстракта *Zingiber officinale*, позволяющий обеспечить стабильность липофильных фитонутриентов в процессе производства и хранения.

4. Технологическое решение и рецептуры безалкогольных напитков, обогащенных биологически активными фитонутриентами *Coriandrum sativum* L., *Zingiber officinale* и *Nigella sativa* L.

5. Результаты оценки экономической целесообразности внедрения разработанных напитков, обогащенных биологически активными фитонутриентами *Coriandrum sativum* L., *Zingiber officinale* и *Nigella sativa* L.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность полученных результатов достигалась путем метрологического обеспечения экспериментальных исследований с последующей статистической обработкой данных трехкратной повторности стандартным методом в программе MS Excel.

Результаты работы обсуждались на конференциях и симпозиумах различного уровня, включая II и III Международные симпозиумы «Пищевые здоровьесберегающие технологии» (Кемерово, 2023 и 2024), Всероссийскую научно-практическую конференцию по безопасности и качеству сырья (Москва, 2023), XIII Инновационный конвент «Кузбасс» (Кемерово, 2025), IX Всероссийскую конференцию с международным участием в Иркутске (2025), а также конференцию имени Д. И. Менделеева (Тюмень, 2025).

Публикации. По результатам диссертационного исследования опубликовано 15 печатных работ, в том числе 5 статей в журналах, рекомендованных ВАК (категории K1, K2); получено 2 патента.

Соответствие темы паспорту научной специальности. Содержание диссертационной работы соответствует пунктам 8, 13, 15, 29 паспорта научной специальности 4.3.3 «Пищевые системы».

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из следующих основных глав: введение, аналитический обзор, методология исследования, практическая реализация результатов исследования, выводы по результатам исследования, список использованных источников и приложений. Основное содержание работы изложено на 142 страницах машинописного текста; иллюстрационный материал представлен 50 таблицами и 34 рисунками. Список использованных источников включает 151 публикацию, в том числе 68 зарубежных.

ОРГАНИЗАЦИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Теоретические и экспериментальные исследования выполнены на базе кафедры технологии продуктов питания из растительного сырья Технологического института пищевой промышленности Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кемеровский государственный университет». Схема проведения исследований представлена на рисунке 1.

Первый этап работы посвящен теоретическим исследованиям. Представлено обоснование применения растительного сырья в качестве объекта для выделения биологически активных веществ. Дана характеристика различных методов экстракции биологически активных веществ. Рассмотрены теоретические аспекты повышения биодоступности фитонутриентов, а также текущее состояние и перспективы развития рынка функциональных продуктов.

Второй этап включает проработку методологии исследований, описание объектов и методов исследований.

Третий этап (экспериментальный) включает решение поставленных задач:

- установление оптимальных параметров выделения биологически активных веществ из *Coriandrum sativum* L., *Zingiber officinale* и *Nigella sativa* L. с использованием сверхкритической экстракции;
- определение зависимости компонентного состава экстрактов от технологических параметров;
- разработка технологии получения супрамолекулярных комплексов и эмульсионных систем на основе CO₂-экстрактов растительного сырья;
- оценке сохранности CO₂-экстрактов при различных значениях pH среды, имитирующей желудочный и кишечный этапы пищеварения.

Четвертый этап посвящен практической реализации результатов исследований: обоснованию состава функционального напитка с применением полученных супрамолекулярных форм и эмульсионных систем CO₂-экстрактов, разработке технической документации, обоснованию экономической целесообразности внедрения разработанных технологий напитков, а также промышленной апробации результатов исследований.

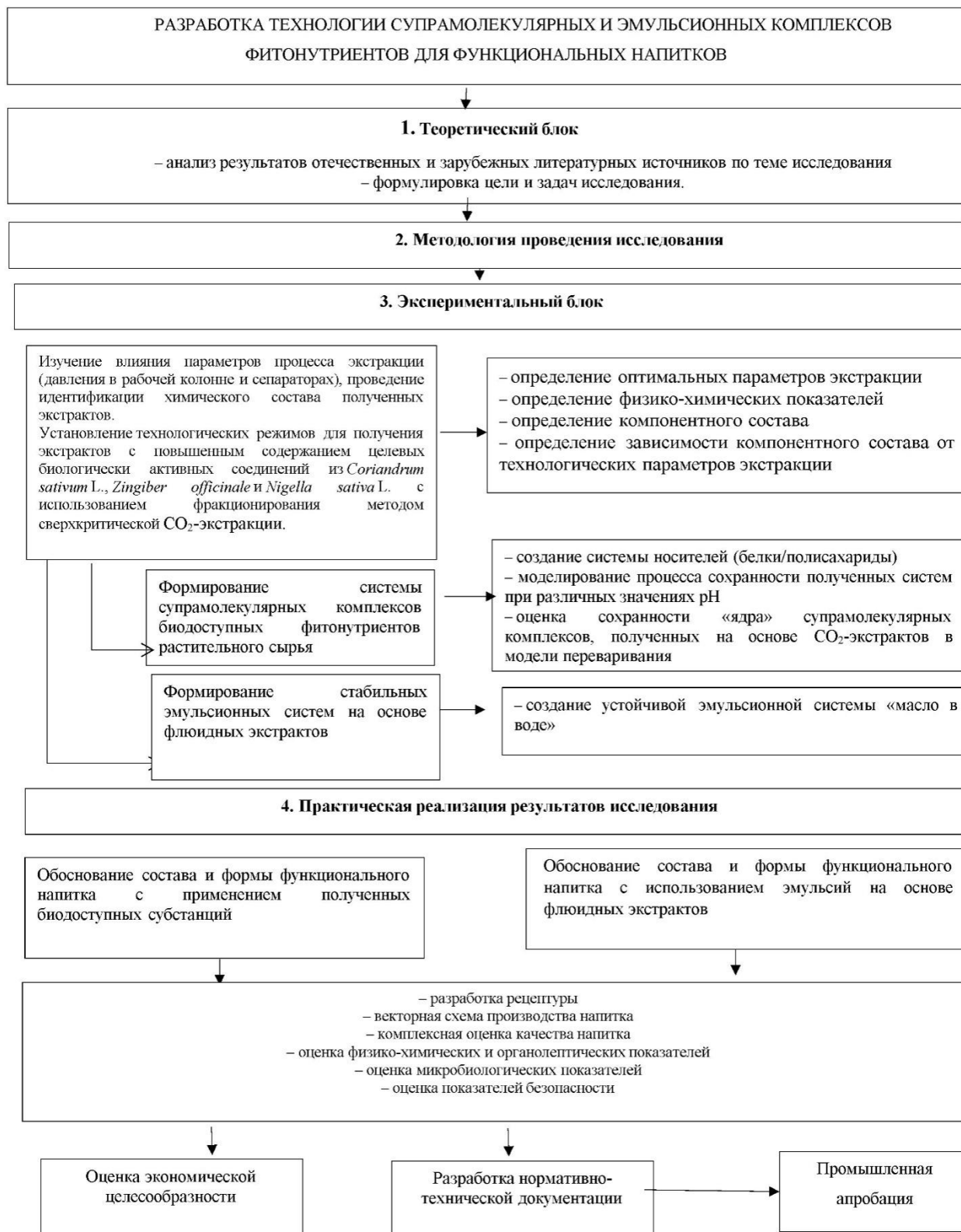


Рисунок 1 – Схема проведения исследования

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследование влияния параметров сверхкритической углекислотной экстракции на процесс экстрагирования и фракционирования биологически активных веществ *Coriandrum sativum* L., *Zingiber officinale* и *Nigella sativa* L.

При использовании метода сверхкритической флюидной экстракции плодов *Coriandrum sativum* L. установлено, что содержание липофильных компонентов составляет 10,8 % (суммарно при давлениях 10 и 20 МПа) (рис. 2). Максимальный массовый выход липидной фракции зафиксирован в сепараторе № 2, где при давлении 10 МПа выход составил 3,86 %, а при 20 МПа – 3,79 % (рис. 2).

В процессе фракционирования при экстракции *Coriandrum sativum* L. получены отдельные фракции, физико-химические показатели которых представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Физико-химические показатели липофильных фракций *Coriandrum sativum* L.

Номер фракции	P _p , МПа	T _p , °C	Давление в сепараторе (P), МПа	Температура в сепараторе (T), °C	Коэффициент преломления	Массовая доля летучих веществ, %
1	10,0	35,0	6,0	35,0	1,4091 ± 0,0005	17,81 ± 0,02
2	10,0		5,0	30,0	1,4091 ± 0,0005	20,78 ± 0,02
3	20,0		6,0	35,0	1,4619 ± 0,0005	24,59 ± 0,02
4	20,0		5,0	30,0	1,4669 ± 0,0005	12,17 ± 0,02

P_p – давление в рабочей колонне; T_p – температура. в рабочей колонне

На основе физико-химических характеристик (табл. 1) принято решение о формировании двух образцов:

- образец 1, включающий фракции № 1 и № 2;
- образец 2, сформированный из фракций № 3 и № 4.

В анализируемых образцах методом газовой хроматографии обнаружено 42 соединения различной химической структуры.

Содержание половины компонентов находится в диапазоне 0,1–0,5 % от общей суммы веществ. Систематизированные данные по основным компонентам эфирного масла *Coriandrum sativum* L. представлены в таблице 2.

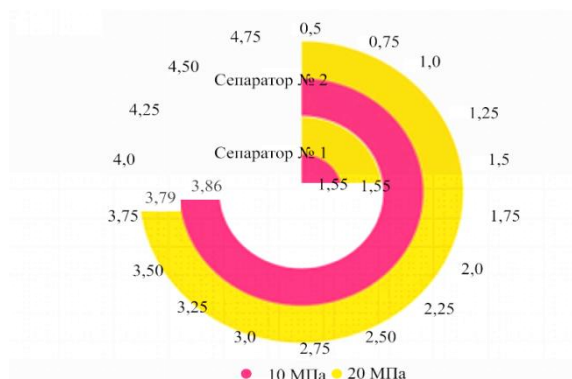


Рисунок 2 – Суммарный выход экстракта *Coriandrum sativum* L., г/100 г сухого вещества

Таблица 2 – Основные вещества, обнаруженные в CO₂-экстракте *Coriandrum sativum* L.

Компонент	Номер CAS	Массовая доля от суммы компонентов, %	
		Образец 1	Образец 2
Linalool (Линалоол)	78-70-6	39,04	75,90
Alpha-Pinene (α -Пинен)	80-56-8	0,00	0,22
Gamma-Terpinene (γ -Терпинен)	99-85-4	—*	0,87
Bornanone (Борнанон (камфора))	76-22-2	—*	3,97
Geranylacetate (Геранилацетат)	105-87-3	0,11	0,23
D-Limonene (D-Лимонен)	5989-27-5	—*	0,26
Сумма жирных кислот		43,30	14,10

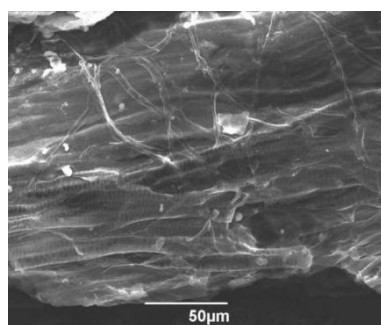
* – компонент в образце не обнаружен.

Как следует из данных, представленных в таблице, состав целевых компонентов различен. Образец 1 содержит в своем составе 43,30 % жирных кислот. Из основных компонентов эфирного масла в первой фракции представлен линалоол (39,04 %) и в небольшом количестве геранилацетат.

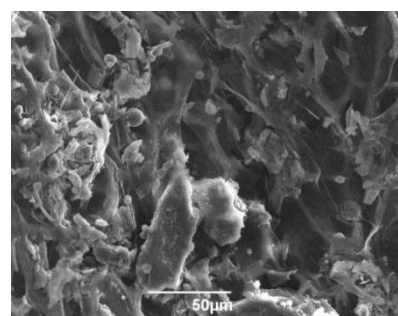
Образец 2 представляет собой многокомпонентную смесь, состоящую преимущественно из веществ терпенового ряда. При этом содержание линалоола в нем составляет 75,9 %, что на 48 % больше, чем в образце 1.

Давление экстракции оказывает существенное влияние на морфологические и микроструктурные характеристики растительного сырья. В процессе экстракции наблюдается деструкция клеточных стенок; в частности, происходит нарушение целостности целлюлозных микрофибрилл и других компонентов клеточной структуры.

Для иллюстрации этих изменений на примере *Coriandrum sativum* L. представлена сравнительная микроскопическая картина образцов до и после обработки (рис. 3).



а



б

Рисунок 3 – Растровая электронная микроскопия плодов *Coriandrum sativum* L. (увеличение $\times 50$ мкм): а – измельченные плоды до обработки CO_2 ; б – после обработки CO_2

Влияние параметров сверхкритической экстракции *Zingiber officinale* на выход и физико-химические показатели продукта представлено в таблице 3.

На основании полученных результатов можно утверждать, что процесс извлечения веществ из *Zingiber officinale* стоит проводить при повышенном давлении (от 15 МПа и выше). Наибольший выход – 2,80 и 4,10 % – достигнут при рабочем

давлении экстракции 15,0 и 30,0 МПа соответственно. При этом суммарный выход составил 9,30 %.

Для дальнейших исследований принято решение объединить фракции, значения физико-химических показателей которых были близкими. При купажировании фракции 3 и 6 были исключены, так как они представляли собой межклеточную воду, выделившуюся в течение первого часа экстракции. В ходе работы получено 4 образца, характеристика которых представлена в таблице 4. В результате оценки влияния давления экстракции на компонентный состав методом ГХ-МС обнаружено 106 веществ; при этом не идентифицировано 12 соединений; 81 вещество присутствует в следовых количествах (менее 1 %). Определяющими компонентами исследуемого объекта являются: зингиберен, гингерол, α -цингиберен, β -бисаболен, α -куркумен и фарнезен. Содержание основных компонентов в различных образцах, полученных в ходе сверхкритической флюидной экстракции, представлено в таблице 5.

Фракционирование экстракта *Zingiber officinale* в сепараторах позволяет целенаправленно изменять состав извлекаемых биологически активных соединений. В частности, образец 3 характеризуется преобладанием zingiberene (17,14 %) и β -sesquiphellandrene (10,92 %), по сравнению с другими фракциями. Наиболее сложным составом отличается образец 1, содержащий 10 из 13 идентифицированных компонентов (табл. 5).

Флюидная экстракция при заданных технологических параметрах наиболее рациональна для выделения следующих биологически активных веществ: farnesene, β -sesquiphellandrene, zingiberene (образец 3, табл. 5). Выход gingerol при использовании флюидной экстракции соизмерим с другими физическими методами экстрагирования.

Таблица 3 – Влияние параметров сверхкритической экстракции *Zingiber officinale* на выход и физико-химические показатели

№	Давление в рабочей колонке, МПа	№ сепаратора	Давление в сепараторе, МПа	Выход экстракта		Коэффициент преломления
				г/100 г сухого вещества	% от массы общего экстракта	
1	2	3	4	5	6	7
1	8,00	1	6,00	0,20± 0,04	2,20± 0,04	1,5081 ± 0,0005
2		2	5,00	—*	—*	—*
3		3	4,00	0,10 ± 0,02	0,60± 0,01	1,3333 ± 0,0005**
Итого				0,30± 0,02	2,80 ± 0,02	
4	15,00	1	6,00	1,30 ± 0,03	13,90 ± 0,27	1,5079 ± 0,0005
5		2	5,00	0,80 ± 0,016	8,30 ± 0,16	1,4980 ± 0,0005
6		3	4,00	0,70 ± 0,14	7,80 ± 0,15	1,333 ± 0,0005**
Итого				2,80± 0,02	30,00 ± 0,02	
7	20,00	1	6,00	0,10 ± 0,01	0,60 ± 0,01	1,5064 ± 0,0005
8		2	5,00	0,70 ± 0,01	7,80 ± 0,15	1,4875 ± 0,0005
9		3	4,00	0,20 ± 0,01	1,70 ± 0,03	1,4869 ± 0,0005
Итого				0,60 ± 0,02	10,10 ± 0,02	

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7
10	25,00	1	6,00	0,10 ± 0,01	0,60 ± 0,01	1,5069 ± 0,0005
11		2	5,00	1,30 ± 0,03	13,90 ± 0,27	1,4892 ± 0,0005
12		3	4,00	0,10 ± 0,02	0,60 ± 0,01	1,3995 ± 0,0005
Итого				1,50 ± 0,02	15,10 ± 0,02	
13	30,00	1	6,00	1,80 ± 0,04	19,40 ± 0,38	1,3997 ± 0,0005
14		2	5,00	1,30 ± 0,04	13,30 ± 0,26	1,3977 ± 0,0005
15		3	4,00	1,00 ± 0,02	11,10 ± 0,22	1,3984 ± 0,0005
Итого				4,10 ± 0,02	43,80 ± 0,02	

* – выход отсутствовал; ** – водная фракция.

Таблица 4 – Характеристика образцов, полученных при экстракции *Zingiber officinale*

№ образца	№ фракций	Характеристика внешнего вида	Коэффициент преломления (среднее значение)	Массовая доля летучих веществ, % (среднее значение)
1	1, 4, 7, 10	Густая масса темно-коричневого цвета	$1,5080 \pm 0,0005$	$15,39 \pm 0,02$
2	2, 5	Густая масса коричневого цвета со свойственным сырью ароматом	$1,4907 \pm 0,0005$	$21,27 \pm 0,02$
3	8, 9, 11	Полужидкая прозрачная масса светло-коричневого цвета с ярко выраженным ароматом, свойственным сырью	$1,4883 \pm 0,0005$	$21,57 \pm 0,02$
4	12, 13, 14, 15	Жидкая масса темно-коричневого цвета со свойственным сырью ароматом	$1,3983 \pm 0,0005$	$83,60 \pm 0,02$

Таблица 5 – Сравнительное содержание компонентов эфирного масла *Zingiber officinale* в полученных образцах

Вещество	Номер CAS	Содержание компонента, % от массы всех компонентов смеси			
		Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4
1	2	3	4	5	6
Zingiberene(Зингиберен)	495-60-3	8,38	11,04	17,14	12,4
β -Sesquiphellandrene (β-Сесвифелландрен)	1713-97-3	4,79	6,32	10,92	7,17
α -Curcumen(α-Куркумен)	2508-55-9	4,61	6,32	9,27	8,24
Gingerol(Гингерол)	2385-73-8	12,15	12,14	—*	4,86
Zingerone(Зингерон)	109-68-6	11,75	9,21	—*	—*
β -Bisabolene (β-Бисаболен)	1578-77-9	2,88	5,45	—*	5,56
Bornylene(Борнилен)	99-49-0	—*	—*	3,28	4,99
l-Carvone(l-Карвон)	70-70-5	—*	—*	3,59	4,82
Farnesene(Фарнезен)	559-17-4	—*	—*	12,28	—*
Shogaol(Шогаол)	6118-03-4	5,00	—*	—*	—*
Decanal(Деканаль)	110-41-8	3,39	—*	—*	—*
Cedreneepoxide(Эпоксидцедрена)	491-04-3	3,03	—*	—*	—*

* – компонент не обнаружен.

Влияние разной вариации рабочего давления на характеристики фракций *Nigella sativa* L. представлено в таблице 6. Экстракты представляют собой гидрофильную и гидрофобную фракции. Суммарно при давлении экстракции 10–30 МПа выход гидрофобной части экстракта составил $34,50 \pm 0,69$ % (табл. 6).

Оптимальными параметрами для выделения флюидного экстракта *Nigella sativa* L. являются следующие: давление экстракции – 20 МПа, давление в сепараторе – 6 МПа. Повышение давления до 20 МПа представляется рациональным, так как позволяет увеличить выход липофильной фракции почти в 2,5 раза относительно давления 10 МПа.

Однако вместе с тем повышение давления приводит к разрыву клеточной структуры, за счет чего увеличивается выход гидрофильной фракции (табл. 6).

Таблица 6 – Влияние параметров сверхкритической экстракции *Nigella sativa* L. на выход и физико-химические показатели

Давление в рабочей колонке, МПа	Давление в сепараторе, МПа	Вид фракции	Выход, г/100 г сухого вещества	Коэффициент преломления	Массовая доля летучих веществ, %
10,00	6,00	Гидрофобная	$4,40 \pm 0,06$	$1,4714 \pm 0,0005$	$1,87 \pm 0,02$
		Гидрофильная	—*		
	5,00	Гидрофобная	$3,00 \pm 0,05$	$1,4723 \pm 0,0005$	$4,53 \pm 0,02$
		Гидрофильная	—*		
	4,00	Гидрофобная	—*		
		Гидрофильная	$0,30 \pm 0,01$	$1,3373 \pm 0,0005$	$100,00 \pm 0,02$
	Итого	Гидрофобная	$7,40 \pm 0,02$		
		Гидрофильная	$0,30 \pm 0,01$		
20,00	6,00	Гидрофобная	$15,80 \pm 0,15$	$1,4874 \pm 0,0005$	$2,84 \pm 0,02$
		Гидрофильная	—*		
	5,00	Гидрофобная	$4,00 \pm 0,06$	$1,4698 \pm 0,0005$	$6,72 \pm 0,02$
		Гидрофильная	$0,20 \pm 0,01$	$1,3325 \pm 0,0005$	$100,00 \pm 0,02$
	4,00	Гидрофобная	$0,70 \pm 0,02$	$1,4740 \pm 0,0005$	$31,19 \pm 0,02$
		Гидрофильная	$0,20 \pm 0,01$	$1,3334 \pm 0,0005$	$100,00 \pm 0,02$
	Итого	Гидрофобная	$20,50 \pm 0,02$		
		Гидрофильная	$0,40 \pm 0,01$		
30,00	6,00	Гидрофобная	$4,00 \pm 0,06$	$1,4834 \pm 0,0005$	$2,84 \pm 0,02$
		Гидрофильная	—*		
	5,00	Гидрофобная	$2,20 \pm 0,03$	$1,4701 \pm 0,0005$	$32,44 \pm 0,02$
		Гидрофильная	$0,30 \pm 0,01$	$1,3345 \pm 0,0005$	$100,00 \pm 0,02$
	4,0	Гидрофобная	$0,40 \pm 0,02$	$1,4729 \pm 0,0005$	$32,03 \pm 0,02$
		Гидрофильная	—*		
	Итого	Гидрофобная	$6,60 \pm 0,02$		
		Гидрофильная	$0,30 \pm 0,01$		

* – выход отсутствовал.

Влияние параметров сверхкритической экстракции *Nigella sativa* L. на показатель массовой доли летучих веществ представлено на рисунке 4.

При хроматографическом исследовании обнаружено более 100 веществ в каждой фракции, большая часть из которых представлена жирными кислотами. Распределение жирных кислот в разных фракциях представлено в таблице 7. Основной целевой компонент *Nigella sativa* L. – тимохинон – в режиме сверхкритической экстракции

выделяется в значительном количестве (18 %) только при высоком давлении экстракции 30 МПа, а его «конденсация» происходит в сепараторе при давлении 5 МПа и температуре 35 °С.

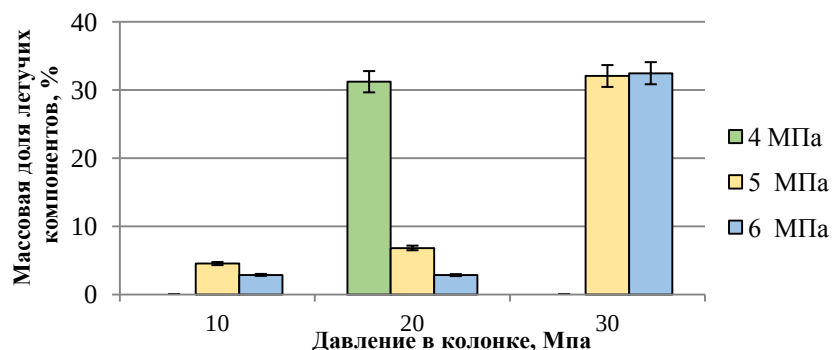


Рисунок 4 – Влияние параметров сверхкритической экстракции *Nigella sativa* L. на показатель массовой доли летучих веществ

Таблица 7 – Жирнокислотный состав различных гидрофобных фракций, полученных в ходе экстракции *Nigella sativa* L., в зависимости от рабочего давления экстракции и давления в сепараторах

Жирные кислоты	Содержание, % от суммы жирных кислот					
	10,0 МПа		20,0 МПа		30,0 МПа	
	6,0 МПа	5,0 МПа	6,0 МПа	5,0 МПа	6,0 МПа	5,0 МПа
Олеиновая кислота	30,20	27,00	13,60	27,00	24,29	29,20
Стеариновая кислота (октадекановая)	38,80	45,00	68,00	52,30	60,90	51,90
Пальмитиновая кислота (гексадекановая)	30,40	18,70	18,17	19,00	14,00	13,70
Терефталевая кислота	0,60	–	–	0,80	0,25	–
Миристиновая кислота	–	1,10	–	–	–	–
Масляная кислота	–	0,60	–	0,90	–	2,98
Эйкозодиеновая кислота (омега-6)	–	–	0,26	–	–	–
Линолевая кислота	–	–	–	–	–	2,20

Создание супрамолекулярных комплексов на основе CO₂-экстрактов методом комплексной коацервации. В ходе серии предварительных экспериментов выявлены следующие тенденции. Применение CO₂-экстракта *Zingiber officinale* для процесса коацервации не представляется возможным, так как экстракт даже в малых концентрациях (менее 0,5 % от объема раствора сывороточного белка) значительно снижает pH системы (3,5–4,0), что приводит к «ранней» коагуляции белка, поскольку его изоэлектрическая точка может находиться в пределах pH 4,6–5,4, в зависимости от аминокислотного состава белка. Использование CO₂-экстрактов *Coriandrum sativum* L. и *Nigella sativa* L. возможно даже при относительно большом проценте внесения липидной фракции (до 5 %). Главными критериями микрокапсул, полученных методом комплексной коацервации, являются выход (В, %) и эффективность (Э, %) инкапсуляции. Результаты представлены в таблице 8.

На основании полученных данных можно сказать, что увеличение концентрации CO₂-экстракта *Nigella sativa* L. в системе с 2,5 до 5,0 % при неизменных других

параметрах (образцы № 1.1 и 1.4) приводит к снижению эффективности коацервации. Данный показатель снижается практически вдвое – с 64 до 33 %.

Таблица 8 – Влияние компонентного состава и технологических условий на выход и эффективность полученных комплексов *Coriandrum sativum* L. и *Nigella sativa* L.

№	CO ₂ -экстракт	Экс, %	Бел, %	Хит, %	Условия гомогенизации, тыс. об/мин	Выход, %	Эффективность, %
1.1	<i>Nigella sativa</i> L.	2,50	1,00	0,50	6,00 / 5,00	63,40 ± 1,20	64,00 ± 1,20
1.2	<i>Nigella sativa</i> L.	2,50	1,00	0,50	10,00 / 5,00	61,20 ± 1,20	58,00 ± 1,20
1.3	<i>Nigella sativa</i> L.	2,50	2,00	0,50	6,00 / 5,00	88,20 ± 1,20	72,00 ± 1,20
1.4	<i>Nigella sativa</i> L.	5,00	1,00	0,50	6,00 / 5,00	43,40 ± 1,20	33,00 ± 1,20
2.1	<i>Coriandrum sativum</i> L.	2,50	1,00	0,50	6,00 / 5,00	62,50 ± 1,20	59,00 ± 1,20
2.2	<i>Coriandrum sativum</i> L.	2,50	2,00	0,50	10,00 / 5,00	77,20 ± 1,20	73,50 ± 1,20
2.3	<i>Coriandrum sativum</i> L.	5,00	2,00	0,5	10,00 / 5,00	53,20 ± 1,20	47,50 ± 1,20

Экс – доля вносимого CO₂-экстракта; Бел – массовая доля основного раствора белка; Хит – доля вносимого 1 % раствора хитозана.

Увеличение содержания белка в системе с 1 до 2 % при концентрации CO₂-экстракта 2,5 % (образцы № 1.1 и 1.3, табл. 8) значительно повысило выход коацервата (с 63,4 до 88,2 %) и эффективность инкапсуляции. Это свидетельствует о том, что увеличение количества белка способствует более полному эмульгированию липофильного CO₂-экстракта.

Для *Coriandrum sativum* L. влияние концентрации CO₂-экстракта аналогично и для *Nigella sativa* L. Для образцов с наибольшей эффективностью коацервации (образцов № 1.3 и 2.2) представлена микроскопическая картина при различном увеличении: ×100, ×400, ×1000 (рис. 5). Схематичная визуализация полученных коацерватов и процентное соотношение компонентов системы представлены на рисунке 6.

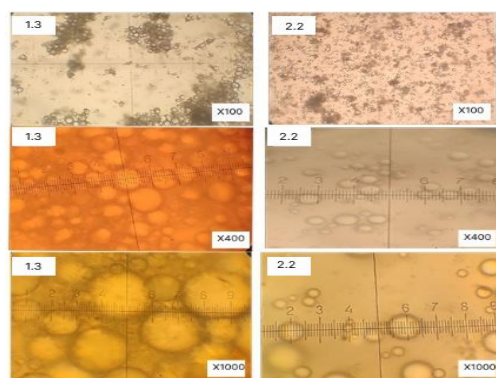


Рисунок 5 – Микроскопическая картина супрамолекулярных комплексов на основе CO₂-экстракта *Nigella sativa* L. (образец № 1.3) и *Coriandrum sativum* L. (образец № 2.2) при различном увеличении

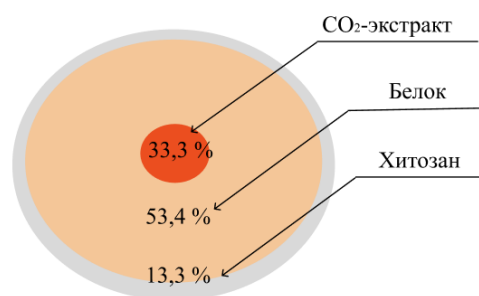


Рисунок 6 – Получаемые коацерваты (схематично) и процентное соотношение компонентов внутри комплекса

На следующем этапе исследований изучали степень сохранности супрамолекулярных комплексов биологически активных веществ с использованием моделирования процесса пищеварения. Динамика убыли массы коацерватов представлена на рисунке 7.

В качестве моделируемых сред выбраны следующие буферные растворы:

1. Солянокислый буферный раствор с pH 2,2 имитирующий кислотность среды в желудке.

2. Фосфатный буферный раствор с pH 7,25, имитирующий среду кишечника.

3. Дистиллированная вода с pH 7,00 для общей оценки растворимости полученных коацерватов в нейтральной среде.

При близких значениях pH 7,00 и 7,25 отмечена совершенно разная динамика растворения, что может быть связано с ионами, входящими в состав буферного раствора, которые изменяют, увеличивают ионную силу раствора, вследствие чего повышается степень растворения коацерватов.

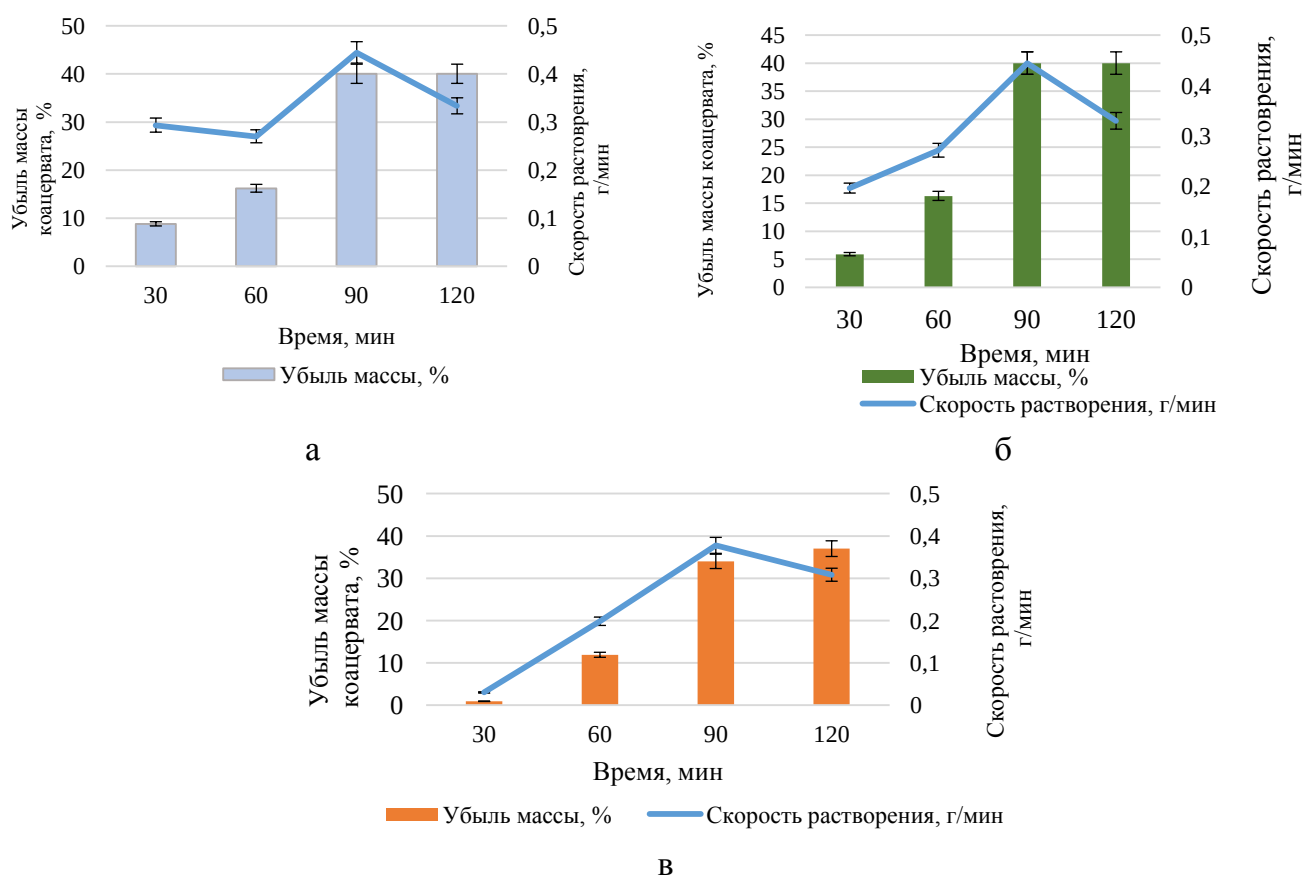


Рисунок 7 – Динамика убыли массы коацерватов в растворах с различным pH: а – pH 2,2; б – pH 7,25; в – pH 7,0

На основании полученных результатов можно сказать, что коацерваты имеют схожую динамику растворения в различных средах. Пик скорости растворения приходится на 90 мин с момента помещения коацерватов в среду, далее скорость растворения замедляется, что может быть связано с процессами агрегации или выпадению осадка. Далее проведена серия экспериментов по ступенчатому растворению полученных коацерватов в различных средах (рис. 8).

На основе анализа полученных данных установлено, что выбранная комбинация – белок 2 %, CO₂-экстракт 2,5 %, хитозан 0,5 % – является рациональной, так как ядро

супрамолекулярного комплекса сохраняется на 72 % после выдержки при pH 2,2. При этом она практически полностью растворяется на следующей стадии при pH 7,25, что свидетельствует о том, что биоактивные фитонутриенты сохраняются в агрессивной среде желудка и проявляют биодоступность в кишечнике.

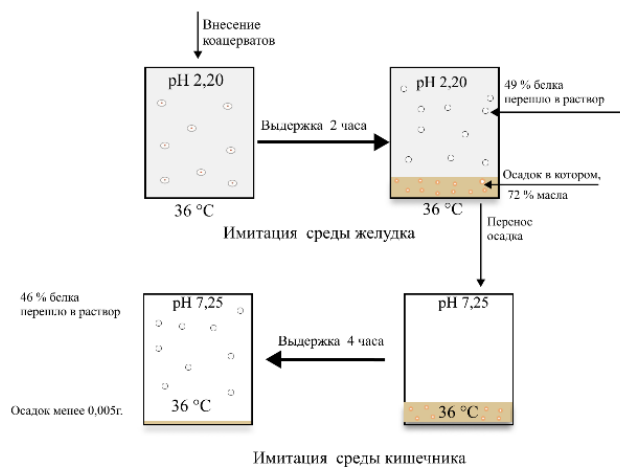


Рисунок 8 – Содержание белка, перешедшего в раствор, и сохранность липидной фракции комплекса (CO₂-экстракта) в ходе ступенчатого растворения коацерватов

Создание эмульсионных систем на основе CO₂-экстрактов *Zingiber officinale*. Для формирования эмульсий типа «Масло в воде» на основе разных образцов CO₂-экстрактов *Zingiber officinale* использовали метод гомогенизации системы. Для ее гомогенизации в качестве эмульгатора применяли поверхностно-активные вещества (ПАВ). В качестве стабилизатора системы выбран Твин 20 – пищевая добавка (E433), относящаяся к классу неионных ПАВ полисорбатного типа и разрешенная для применения в пищевой промышленности. ПАВ использовали в концентрациях 1, 2 и 3 % относительно объема дисперсионной среды.

Содержание различных фракций CO₂-экстракта составляло 5 %. Эмульсионная система, полученная при каждом из соотношений содержания ПАВ и дисперсионной среды (1, 2 и 3 %), сохраняла стабильность лишь в течение нескольких часов, после чего наблюдалось ее расслоение, микроскопическая картина представлена на рисунке 9 б.

Поэтому принято решение дозировать ПАВ исходя из объема вносимого CO₂-экстракта 1:1. Такое соотношение позволило получить стабильную эмульсию. Создание стабильных эмульсионных систем на основе (рисунок 9а) CO₂-экстрактов *Zingiber officinale* возможно при использовании образца № 3 (табл. 5). Стабильность получаемых систем можно объяснить наличием большего количества легколетучих компонентов, которые характеризуются меньшим поверхностным натяжением.

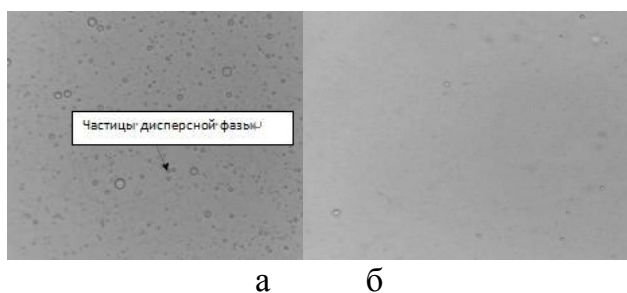


Рисунок 9 – Микроскопическая картина полученных эмульсий: а – дозировка поверхностно-активных веществ в количестве 2 % от объема дисперсионной среды; б – соотношение поверхностно-активных веществ и CO₂-экстракта 1:1 (образец №3)

ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

На основании результатов диссертационного исследования и анализа рынка разработаны технологии функциональных напитков:

- таблетированной формы (сухой концентрат) с использованием супрамолекулярной субстанции экстрактов *Coriandrum sativum* L. и *Nigella sativa* L.;
- ферментированный напиток с использованием эмульсионной субстанции экстракта *Zingiber officinale*.

Разработку рецептур напитков вели с учетом требований ГОСТ 28188-2014, ГОСТ Р 56543-2015, МР 2.3.1.0253-21 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации». Физико-химические показатели разработанных продуктов соответствует данным представленным в нормативной документации (таблица 9).

Таблица 9 – Сводная таблица результатов физико-химических и микробиологических исследований напитков

Показатель	Полученные результаты		
	Таблетированный напиток с использованием супрамолекулярной субстанции экстрактов <i>Coriandrum sativum</i> L.	Таблетированный напиток с использованием супрамолекулярной субстанции экстрактов <i>Nigella sativa</i> L.	Ферментированный напиток с эмульсией CO ₂ -экстракта <i>Zingiber officinale</i>
1	2	3	4
Органолептические показатели			
Внешний вид Вкус и запах Цвет	Таблетки правильной круглой формы с относительно шероховатой поверхностью, диаметром 20 ± 2 мм, высотой 6 ± 2 мм и массой 2,0 ± 0,2 г. Свойственный вкусу и запаху используемого сырья и пищевых ингредиентов (согласно рецептуре), без посторонних вкусов и запахов. Обусловленный цветом добавленных пищевых ингредиентов согласно рецептуре, равномерный по всей массе. Соответствует ГОСТ 34144-2017.		Непрозрачная жидкость. Допускается осадок, обусловленный особенностями используемого сырья, без посторонних включений, не свойственных продукту. Допускаются дрожжевой привкус и аромат. Обусловленный цветом добавленных пищевых ингредиентов, согласно рецептуре. Соответствует ГОСТ 28188-2014.
Физико-химические показатели			
Кислотность см ³ раствора NaOH концентрацией 1,0 моль/дм ³ на 100 см ³ продукта	4,60 ± 0,50 Соответствует ГОСТ 34144-2017	5,20 ± 0,50 Соответствует ГОСТ 34144-2017	4,00 ± 0,10 Соответствует ГОСТ 28188-2014
Массовая доля сухих веществ, %	96,25 ± 0,4 Соответствует ГОСТ 34144-2017	96,00 ± 0,4 Соответствует ГОСТ 34144-2017	7,50 ± 0,50 Соответствует ГОСТ 28188-2014
Объемная доля этилового спирта, %, не более	—	—	0,40 ± 0,10 Соответствует ГОСТ 28188-2014
Массовая доля двуокиси углерода, %, не менее	—	—	0,25 ± 0,05 Соответствует ГОСТ 28188-2014

Продолжение таблицы 9

1	2	3	4
Микробиологические показатели			
(КМАФАнМ), КОЕ/100 см ³ , не более	Не более 5×10 ⁴ Соответствует ТР ТС 021/2011	Не более 5×10 ⁴ Соответствует ТР ТС 021/2011	Не более 100. Соответствует ТР ТС 021/2011
к (БГКП), не допускаются в массе продукта, г/см ³	Не обнаружено. Соответствует ТР. ТС. 021/2011	Не обнаружено. Соответствует ТР. ТС. 021/2011	Не обнаружено. Соответствует ТР. ТС. 021/2011
Дрожжи и плесени (в сумме), КОЕ/100 см ³ , не более	Не более 10. Соответствует ТР. ТС. 021/2011	Не более 10. Соответствует ТР. ТС. 021/2011	Не более 40. Соответствует ТР. ТС. 021/2011

Полученные данные микробиологической оценки свидетельствуют о том, что напитки могут храниться в течение 2 лет в упакованном виде при соблюдении условий хранения и в течение 3 дней после вскрытия упаковки, (для таблетированных напитков). Для ферментированного напитка установлен срок годности напитка: в упакованном виде – 6 месяцев, после вскрытия упаковки – 48 часов при температуре 4 ± 2 °С (сохраняя при этом микробиологическую безопасность на уровне, регламентируемом ТР ТС 021/2011). Для разработанных напитков коэффициент резерва составляет 1,15.

На основании анализа полученных результатов разработан комплект технической документации: технические условия (ТУ) и технологическая инструкция (ТИ) 11.07.19-302-02068309-2026 на напиток безалкогольный таблетированный, содержащий супрамолекулярные комплексы CO₂-экстрактов; ТУ, ТИ 11.07-304-02068309-2026 на напиток безалкогольный ферментированный с CO₂-экстрактом имбиря.

Проведены производственные испытания технологии и выработка опытной партии продукта на ООО «Алтай-Селигор» (Алтайский край, г. Бийск), ООО «Мануфактура» (Кемеровская область – Кузбасс, г. Кемерово).

Проведена оценка экономической целесообразности внедрения разработанных напитков, данные представлены в сводной таблице 10.

Таблица 10 – Сводная таблица экономических показателей

Показатель	Таблетированные напитки	Ферментированный напиток
Единица продукции	Упаковка 12 таблеток	1 литр напитка
Годовой объем производства	220 000 упаковок	800 000 литров
Полная себестоимость единицы	37,62 руб./упаковка	55,92руб./литр
Оптовая цена	100 руб./упаковка	69,90 руб./литр
Рентабельность продаж	62,38 %	20,84 %
Годовая выручка	22 000 000,00 руб.	11 184 000,00 руб.
Срок достижения точки безубыточности	3,30 мес.	3,30 мес.
Необходимые вложения	6 350 000,00 руб. (полная линия)	300 000,00 руб. (один аппарат)

В рамках технико-экономического анализа установлено, что оба продукта обладают экономическим потенциалом, рентабельность превышает средний уровень по отрасли, при этом срок окупаемости является низким. Розничный продукт является конкурентоспособным, что подтверждено анализом аналогов, представленных на рынке. Для продукции имеется диапазон для изменения ценовой политики, что позволяет адаптироваться к рыночной ситуации, сохраняя экономическую привлекательность продукта с высоким маржинальным потенциалом до 60 %.

ВЫВОДЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИССЛЕДОВАНИЯ

В результате выполнения диссертационной работы решена актуальная научно-практическая задача, имеющая значение для развития пищевой и биотехнологической отраслей. Разработанные технологические решения позволяют создавать безалкогольные напитки функциональной направленности с улучшенными потребительскими свойствами, стабильными показателями качества и безопасности, а также высокими экономическими показателями. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании новых производственных линий или модернизации существующих предприятий, специализирующихся на выпуске напитков с использованием растительного сырья и современных методов экстракции.

На основании выполненных теоретических и экспериментальных исследований получены следующие основные результаты:

1. При высоком давлении экстракции процесс фракционирования в сепараторах менее эффективен, так как увеличивается скорость потока газа, проходящего через последовательность сепараторов, что может быть связано с конструктивными особенностями используемого оборудования. С увеличением давления более 15,0 МПа можно получать экстракты с повышенным содержанием более летучих веществ (например, веществ терпенового ряда). Проведена идентификация полученных экстрактов для *Coriandrum sativum* L. На основании результатов хроматографических исследований обнаружено 42 соединения различной химической структуры. Идентифицировано практически 90 % от всех обнаруженных веществ. Для *Zingiber officinale* обнаружено 106 веществ; при этом не идентифицировано 12 соединений; 81 вещество присутствует в следовых количествах (менее 1 %). Для *Nigella sativa* L. обнаружено более 100 веществ в каждой фракции, большая часть из которых представлена жирными кислотами.

2. Установлены параметры сверхкритической флюидной экстракции для селективного выделения фитонутриентов из растительного сырья. Так, для *Coriandrum sativum* L. максимальное содержание линалоола (75,9 %) достигается при 10,0 МПа в экстракционной колонне, сепараторе – 5,0 и 6,0 МПа, температуре 35 и 30 °C соответственно. Для *Zingiber officinale* наиболее рациональной с точки зрения суммарного массового выхода целевых веществ (farnesene, β -sesquiphellandrene, zingiberene, gingerol суммарно 44 %) является экстракция при давлении 30,0 МПа.

Определены параметры сверхкритической флюидной экстракции для *Nigella sativa* L.: для получения масляной фракции – давление экстракции 20,0 МПа, давление в сепараторе 6,0 МПа; для выделения тимохинона – давление экстракции 30,0 МПа, давление в сепараторе 5,0–6,0 МПа, температура экстракции 35 °C и температура в сепараторе 30 °C.

3. Эффективность коацервации флюидных экстрактов *Coriandrum sativum* L. и *Nigella sativa* L. зависит от концентрации CO₂-экстракта, концентрации белка и скорости гомогенизации. Совокупность данных факторов также влияет на размер и сохранность липидной части полученных коацерватов.

В результате исследований определено рациональное соотношение для коацервации фитонутриентов: содержание CO₂-экстракта составляет 2,5 %, белка – 2,0 % при скорости гомогенизации 6 тыс. об/мин и продолжительности обработки 5 мин.

Установлено, что применение CO₂-экстракта *Zingiber officinale* для процесса коацервации не представляется возможным, так как при введении экстракта в белковую систему происходит значительное снижение pH от исходных значений до 3,5–4,0, что

приводит к «ранней» коагуляции белка даже при концентрации экстракта менее 0,5 % от объема раствора белка.

Определено соотношение ПАВ (Твин-20) к дисперсной фазе экстракта *Zingiber officinale*– 1:1. Важно отметить, что стабильность эмульсии достигается при использовании фракции экстракта *Zingiber officinale*, выделенной при давлении 30,0 МПа.

4. В ходе исследований выявлено, что хитозановая оболочка супрамолекулярного комплекса проявляет выраженные защитные свойства, обеспечивая сохранность ядра (флюидных экстрактов *Coriandrum sativum* L. и *Nigella sativa* L.) в агрессивной среде желудка: при pH 2,2 сохранность ядра составила 72 %, тогда как на следующей стадии (pH 7,25) наблюдалось практически полное растворение оболочки и высвобождение фитонутриентов, что свидетельствует об их повышенной биодоступности в кишечнике.

5. Разработана процессуальная схема производства напитков и определены рациональные технологические параметры, обеспечивающие стабильность показателей качества для таблетированных напитков с супрамолекулярными комплексами CO₂-экстрактов *Nigella sativa* L. и *Coriandrum sativum* L., а также для ферментированного безалкогольного напитка на основе яблочного сока, обогащенного эмульсией CO₂-экстракта *Zingiber officinale*, с контролируемым содержанием этанола (не более 0,5 % об.).

6. Проведена комплексная оценка физико-химических, микробиологических и органолептических характеристик разработанных напитков. Установлено, что они соответствуют требованиям ГОСТ 28188-2014, ГОСТ 34144-2017 и ТР ТС 021/2011. Определены сроки годности: для таблетированных напитков – 2 года в упакованном виде и 3 дня после вскрытия упаковки; для ферментированного напитка – 6 месяцев в упакованном виде и 48 часов после вскрытия при температуре 4 ± 2 °С. Разработан и утвержден комплект технической документации (ТУ, ТИ 11.07.19-302-02068309-2026 «Напиток безалкогольный таблетированный, содержащий супрамолекулярные комплексы CO₂-экстрактов»; ТУ, ТИ 11.07-304-02068309-2026 «Напиток безалкогольный ферментированный с CO₂-экстрактом имбиря»). Проведены производственные испытания технологий и выработка опытных партий продукции на действующих предприятиях: ООО «Алтай-Селигор» (Алтайский край, г. Бийск) и ООО «Мануфактура» (Кемеровская область – Кузбасс г. Кемерово).

7. Техничко-экономический анализ показал, что разработанные продукты обладают высокой инвестиционной привлекательностью. Срок окупаемости составляет до 3,3 месяца при достижении плановых объемов производства. Рентабельность продаж для таблетированных напитков достигает 62,38 %, для ферментированного напитка – 20,84 %, что превышает среднеотраслевые показатели. Сравнительный анализ рыночных аналогов подтверждает конкурентоспособность разработанных напитков по ценовым и качественным характеристикам.

ПО МАТЕРИАЛАМ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ СЛЕДУЮЩИЕ РАБОТЫ:

Статьи в журналах, рекомендованных ВАК

1. Рябоконева, Л. А. Фитоадаптогены как функциональные ингредиенты для пищевых систем (обзор) / Л. А. Рябоконева, И. Ю. Сергеева, А. В. Аншуков[и др.] // АПК России. – 2024. – Т. 31, № 1. – С. 105–118. (K2)
2. Рябоконева, Л. А. Флюидная экстракция как способ выделения, фракционирования биологически активных веществ / Л. А. Рябоконева, Л. В. Пермякова, И. Ю. Сергеева[и др.] // Ползуновский вестник. – 2025. – № 3. – С. 24–30. (K1)
3. Рябоконева, Л. А. Влияние метода экстракции на спектральные характеристики экстрактов *Nigella sativa* / Л. А. Рябоконева, И. Ю. Сергеева, А. С. Марков [и др.] // Индустрия питания. – 2025. – Т. 10, № 4. – С. 69–78. (K2)
4. Рябоконева, Л. А. Сверхкритическая экстракция как метод получения эфирного масла *Coriandrum sativum* с повышенным содержанием линалоола / Л. А. Рябоконева, И. Ю. Сергеева, А. С. Марков [и др.] // Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета. – 2025. – Т. 28, № 4–2. – С. 632–642. (K2)
5. Рябоконева, Л. А. Биохимический состав фракционированного флюидного экстракта *Zingiber officinal* / Л. А. Рябоконева, И. Ю. Сергеева, А. С. Марков [и др.] // Известия вузов. Пищевая технология. – 2026. – № 1. – С. 114–120. (K1)

Материалы международных и российских конференций, симпозиумов

6. Рябоконева, Л. А. Функциональные напитки: современные направления развития ассортимента / Л. А. Рябоконева, И. Ю. Сергеева // Пищевые инновации и биотехнологии: сборник тезисов IX Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Пищевые инновации и биотехнологии» в рамках III Международного симпозиума «Инновации в пищевой биотехнологии». – Кемерово, 2021. – С. 111–112.
7. Рябоконева, Л. А. Исследование процесса получения ферментированных соковых основ для безалкогольных напитков функциональной направленности / Л. А. Рябоконева, И. Ю. Сергеева // Россия и мир в новых реалиях: изменение мирохозяйственных связей: материалы XII Евразийского экономического форума молодежи / Уральский государственный экономический университет. – Екатеринбург, 2022. – С. 64–66.
8. Рябоконева, Л. А. Особенности получения водорастворимых эмульсий на основе CO₂-экстрактов *Zingiber officinal* / Л. А. Рябоконева, И. Ю. Сергеева, А. С. Марков // Безопасность и качество сельскохозяйственного сырья и продовольствия-2023: материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Москва, 2023. – С. 272–277.
9. Рябоконева, Л. А. Сравнительная оценка продуктов сверхкритической флюидной экстракции кориандра (*Coriandrum sativum* L.) / Л. А. Рябоконева, И. Ю. Сергеева, А. С. Марков // Пищевые здоровьесберегающие технологии: сборник тезисов II Международного симпозиума, посвященного 50-летию КемГУ. – Кемерово, 2023. – С. 275–278.
10. Рябоконева, Л. А. Антиоксидантный потенциал CO₂-шротов растительного сырья / Л. А. Рябоконева, Л. В. Пермякова, И. Ю. Сергеева [и др.] // Пищевые технологии: сборник тезисов III Международного симпозиума, посвященного 90-летию

со дня рождения доктора технических наук, профессора, заслуженного деятеля науки и техники РФ, основателя научной школы Льва Александровича Остроумова. – Кемерово, 2024. – С. 200–202.

11. Рябоконева, Л. А. Разработка рецептуры сухого напитка функционального назначения с супрамолекулярными комплексами на основе CO₂-экстрактов для последующего таблетирования / Л. А. Рябоконева, И. Ю. Сергеева, А. С. Марков // Актуальные проблемы химии, биотехнологии и сферы услуг: IX Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием, посвященная 95-летию ИРНИТУ и кафедры химии и биотехнологии имени В. В. Тутуриной. – Иркутск, 2025. – С. 83–86.

12. Рябоконева, Л. А. Теоретические аспекты создания супрамолекулярных комплексов на основе CO₂-экстрактов / Л. А. Рябоконева, И. Ю. Сергеева, А. С. Марков // XIII Инновационный конвент «Кузбасс: образование, наука, инновации», посвященный 80-й годовщине победы в Великой Отечественной войне 1941–1945 годов: сборник тезисов докладов. В 2 ч. – Кемерово, 2025. – Ч. 1. – С. 255–257.

13. Чундерова, Е. С. Черный тмин (*Nigella sativa* L.) в качестве источника макро- и микронутриентов / Е. С. Чундерова, Л. А. Рябоконева // Материалы Международной научно-практической конференции им. Д. И. Менделеева: сборник статей. В 3 т. – Тюмень, 2025. – Т. 1. – С. 452–454.

Заявки на патенты (выданные патенты)

14. Патент RU № 2854453 С1. «Способ производства безалкогольного напитка брожения с CO₂-экстрактом имбиря»: № 2025106986 / Л. А. Рябоконева, И. Ю. Сергеева, А. С. Марков [и др.]; заявл. 24.03.2025; опубл. 13.01.2026.

15. Патент RU № 2861446 С1. «Жидкий концентрат напитка безалкогольного (варианты)»: № 2025127204 / И. Ю. Сергеева, А. С. Марков, Л. А. Рябоконева [и др.]; заявл. 04.10.2025; опубл. 05.05.2026.