

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Кемеровский государственный университет»

На правах рукописи

Ищук Лариса Алексеевна

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

Специальность 4.3.3. Пищевые системы

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:

доктор технических наук, доцент

Сергеева Ирина Юрьевна

Кемерово 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР	12
1.1. Применение растительных биологически активных компонентов	12
1.2 Эфиромасличное и пряно-ароматическое сырье как функциональные ингредиенты для пищевых систем.....	17
1.3 Сравнительная характеристика методов выделения вторичных метаболитов из растительного сырья	27
1.4 Способы повышения биодоступности вторичных метаболитов растительного сырья.....	33
1.5 Рынок функциональных пищевых систем в России	37
ГЛАВА 2. МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ	42
2.1 Организация и схема проведения исследования	42
2.2 Объекты и материалы исследования	44
2.3 Методы исследования	45
ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	50
3.1 Исследование влияния параметров сверхкритической углекислотной экстракции на процесс экстрагирования и фракционирования биологически активных веществ <i>Coriandrum sativum</i> L., <i>Zingiber officinale</i> , <i>Nigella sativa</i> L.....	50
3.2 Создание супрамолекулярных комплексов на основе CO ₂ -экстрактов методом комплексной коацервации.....	70
3.2.1 Изучение влияния концентрации CO ₂ -экстрактов и хитозана на pH системы	70
3.2.2 Разработка состава супрамолекулярных комплексов на основе CO ₂ -экстрактов	72
3.3.3 Создание эмульсионных систем на основе CO ₂ -экстрактов <i>Zingiber</i>	

<i>officinale</i>	82
ГЛАВА 4. ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ	85
4.1 Обоснование формы разрабатываемых напитков	85
4.2.1 Разработка технологии таблетированного напитка с супрамолекулярными комплексами CO ₂ -экстрактов.....	86
4.2.2 Разработка технологии безалкогольного напитка брожения, содержащего эмульсионный комплекс CO ₂ -экстракта <i>Zingiber officinale</i>	97
4.3 Оценка экономической целесообразности внедрения напитков, содержащих супрамолекулярные и эмульсионные комплексы CO ₂ - экстрактов	106
ВЫВОДЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	120
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ	124
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	125
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	143
Приложение А. Хроматографические исследования образцов CO ₂ - экстрактов <i>Coriandrum sativum</i> L.	143
Приложение Б. Хроматографические исследования образцов CO ₂ - экстрактов <i>Zingiber officinale</i>	147
Приложение В. Хроматографические исследования образцов CO ₂ - экстрактов <i>Nigella sativa</i> L.	165
Приложение Г. Комплект технической документации ТУ, ТИ 11.07.19- 302-02068309-2026 «Напиток безалкогольный таблетированный, содержащий супрамолекулярные комплексы CO ₂ -экстрактов».....	182
Приложение Д. Акт производственной апробации ООО «Алтай- Селегор».....	183
Приложение Е. Комплект технической документации ТУ, ТИ 11.07-304-	

02068309-2026 «Напиток безалкогольный ферментированный с CO ₂ -экстрактом имбиря».....	184
Приложение Ж. Акт промышленной апробации ООО «Мануфактура»	185
Приложение И. Патент на изобретение №2861446.....	186
Приложение К. Патент на изобретение №2854453	187

ВВЕДЕНИЕ

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

Современные стратегии здоровьесбережения направлены 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. Это 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» и в «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 выступает стратегически важной задачей, ориентированной 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 глубокое 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, имитирующих желудочный и кишечный этапы пищеварения.
5. Разработать технологии напитков с использованием супрамолекулярных и эмульсионных систем фитонутриентов *Coriandrum sativum* L., *Zingiber officinale* и *Nigella sativa* L.
6. Определить показатели качества и безопасности напитков, разработать комплект технической документации и осуществить промышленную апробацию разработанной технологии.
7. Оценить экономическую целесообразность 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. 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 (давления и температуры 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 анализа 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, тандемная 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 (Иркутск, 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 п. 8, 13, 15, 29 паспорта научной специальности 4.3.3 «Пищевые системы».

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из следующих основных глав: введения, аналитического обзора, методологии исследований, экспериментальных исследований и практической реализации результатов работы, выводов, списка 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.

ГЛАВА 1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

1.1 Применение растительных биологически активных компонентов¹

Фитотерапия – термин, который впервые был употреблен в Греции и переводится как «лечение растительным сырьем» [13]. Сегодня это широко применяемая система, которая основывается на научных знаниях и накопленном опыте, в частности в области сырьевой базы, способов извлечения целевых фитонутриентов для применения при различных заболеваниях [32].

Суть данного направления основана на экстракции действующих биологически активных веществ из целебных растений и их сохранении в нативном виде. Это активно применяется в Китае, Индии, Таиланде и других восточных странах [32]. Сегодня фитотерапия – стандартизированный препарат, в состав которого входят исключительно либо преимущественно биологически активные вещества (БАВ) или биодоступные субстанции растительного происхождения [32, 7].

Из всех лекарственных препаратов на мировом рынке те, в состав которых в том или ином виде входят компоненты растений, составляют приблизительно третью часть. Несмотря на достижения современной фармакологической и химической отрасли в области разработки современных лекарственных препаратов, интерес к использованию лекарственных растений не исчезает, а даже возрастает. Доля фитофармакологических препаратов на рынках Российской Федерации по различным оценкам составляет 25 % от общего числа зарегистрированных средств [7]. Распределение представлено в таблице 1.1.1

Растительное сырье является дешевым и относительно общедоступным. Растения в большинстве случаев не оказывают вредного воздействия на организм по сравнению с химическими препаратами благодаря низкой токсичности, что позволяет применять их длительное время. Кроме того, они эффективны

вследствие комплексного воздействия на патологический процесс. Однако именно экологичность сырьевой базы является одним из лимитирующих факторов производства фитопрепаратов. Сырьевая база может быть подвержена загрязнению (например, токсичными металлами, остатками пестицидов и микроорганизмами) [32, 65, 113].

Таблица 1.1.1 – Группы препаратов на основе растительного сырья, представленных на российском рынке

Группа препаратов	Распространенность на рынке, %
Комбинированные препараты	8,54
Экстракционные препараты (экстракты, настойки, масла)	5,27
Препараты индивидуальных веществ	5,00
Высокоочищенные вещества	1,91

С точки зрения биологической ценности в растительном сырье наибольший интерес представляют активные вторичные метаболиты, которые типичны для всех видов растений. Привычные растения и специи, которые используются в повседневной жизни, содержат большое количество биологически активных веществ. Классификация некоторых наиболее изученных групп вторичных метаболитов растений представлена на рисунке 1.1.1

Класс вторичных метаболитов, не содержащих азота, в основном включает:

- терпены (моно-, ди-, три-, сескви-, тетратерпены и др.) и сапонины, включая гликозиды;
- фенолы (флавоноиды, антоцианы, дубильные вещества и другие формы) и поликетиды (антрахиноны).

К прочим веществам относятся полиацетилены, углеводы и органические кислоты.

Азотсодержащий класс включает:

- алкалоиды;
- небелковые аминокислоты (NPAA);
- глюкозинолаты;
- лектины;
- пептиды и амины.

В среднем данный класс насчитывает более 27 тыс. веществ [133, 134].

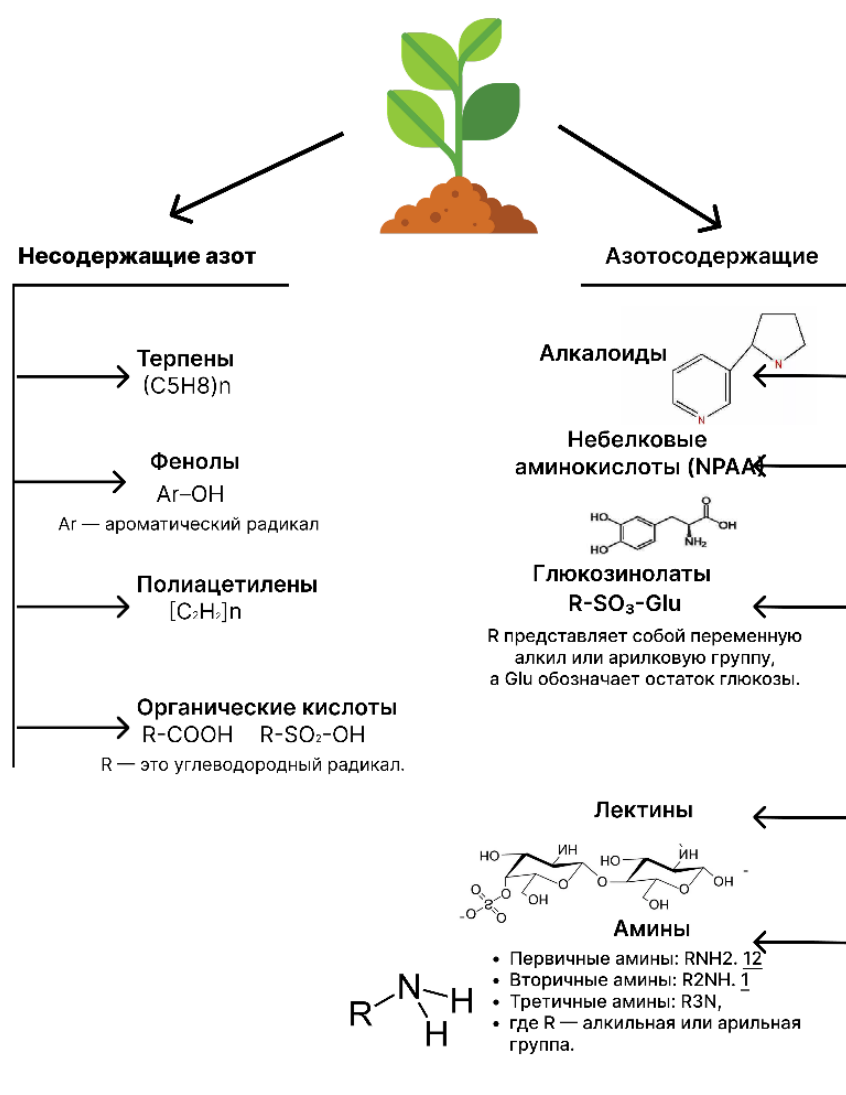


Рисунок 1.1.1 – Классификация вторичных метаболитов растительного сырья

Такое химическое разнообразие обуславливает разнообразную фармакологическую активность и широкий спектр применения как в фармации, так и в пищевой промышленности для создания пищевых систем со специализированными свойствами. Активность различных вторичных метаболитов представлена в таблице 1.1.2.

Таблица 1.1.2 – Фармакологическое действие отдельных групп фитонутриентов

Группа	Терапевтические действия
Терпены	Противовоспалительные, антисептические, регенерирующие, спазмолитические, седативные, антигипоксантные и др. [99]
Фенолы	Противовоспалительные, противоязвенные, антиоксидантные, седативные, анальгетические и др. [37]
Полиацетилены	Противогрибковые, нейротоксические [37]
Органические кислоты	Противовоспалительные, анальгетические [79]
Алкалоиды	Адаптогенные, седативные, спазмолитические, гипотензивные [99, 37]
Небелковые аминокислоты (NPAА)	Медиаторные функции (ГАМК), участие в переносе ацилов (карнитин), участие в синтезе гормонов (дофамин, 5-гидрокситриптофан), участие в синтезе креатинфосфата (креатин), участие в синтезе мочевины [79]
Горчичные масла (глюкозинолаты)	Антиоксидантные, бактерицидные и фунгицидные [140]
Лектины	Противоопухолевые, противовоспалительные, десенсибилизирующие, влияние на углеводный и белковый обмен [81, 1]
Пептиды, амины	Противовоспалительные, влияние на углеводный и белковый обмен [79, 115]

Рынок фитопрепаратов характеризуется рядом особенностей:

– фальсификация: неправильная идентификация растений, неправильный сбор, а также неправильный процесс обработки являются основными проблемами, которые снижают эффективность растительных препаратов [65];

– стандартизация: некачественная процедура контроля качества и отсутствие надлежащей производственной практики (GMP);

– недостаточная осведомленность производителей о рекомендациях по применению, что часто встречается в малых и средних отраслях промышленности [7].

Поскольку безопасность по-прежнему остается приоритетным вопросом при использовании растительных лекарственных средств, необходимы клинические испытания, чтобы понять безопасность и эффективность этих препаратов, прежде чем выводить их на мировой рынок [65].

Однако, несмотря на ограничивающие факторы, рынок фитотерапии демонстрирует значительный рост, прогнозируемый различными аналитическими агентствами. Этот активный рост обусловлен несколькими ключевыми факторами:

- растущим потребительским спросом на натуральные продукты;
- повышением осведомленности о потенциальных побочных эффектах синтетических лекарственных препаратов;
- интеграцией фитопрепаратов на растительной основе в фармацевтическую промышленность.

На основании вышеизложенного отметим, что развитие фитотерапии сталкивается с определенными вызовами. Ключевые позиции занимают биологически активные компоненты растительного происхождения, такие как алкалоиды, полифенолы и терпеноиды, обладающие антиоксидантными, противомикробными и противовоспалительными свойствами.

Исследования и разработки в области идентификации, стандартизации, методов экстракции и сохранения биодоступности биологически активных веществ являются ключевой научной проблемой. Хотя в последние годы тенденция меняется, все еще необходимы исследования для понимания

механизма действия и феномена фармакокинетики растительных биологически активных веществ.

Актуальность изучения биологически активных веществ из растительного сырья обусловлена их большим классовым разнообразием, что влечет за собой расширение направлений индивидуального и комбинированного применения в лечении и терапии различных заболеваний, а также общесистемного укрепления организма.

1.2 Эфиромасличное и пряноароматическое сырье как функциональные ингредиенты для пищевых систем

Лидером по содержанию различных классов растительных метаболитов является пряно-ароматическое и эфиромасличное сырье. Большинство объектов этой группы обладает сильными фитонцидными, антисептическими, бактерицидными и другими свойствами [94], что делает их одним из рациональных источников для выделения фитонутриентов. Поэтому большинство растений данных групп применяются в медицине в качестве лекарственных средств [96].

Эфиромасличное и пряноароматическое сырье – источник витаминов, восков, органических кислот, полиненасыщенных жирных кислот и многих других полезных для организма человека веществ [94, 96].

Для промышленной переработки часто используются не все части растений, а лишь отдельные вегетативные органы. Примеры отражены в таблице 1.2.1.

Эфирные масла, выделенные из эфиромасличного сырья, представляют собой летучие органические вещества, обуславливающие их запах. Основные компоненты эфирных масел – терпены и их кислородсодержащие производные [62, 96].

Экстракты, полученные из пряно-ароматического сырья, представляют собой сложный природный комплекс биологически активных веществ, в число которых входят соединения, проявляющие антиоксидантные и антимикробные свойства [118, 94].

В качестве основных объектов исследования были выбраны *Coriandrum sativum* L., *Zingiber officinale*, *Nigella sativa* L. – сырье, представляющее значительный интерес ввиду широкого спектра биологически активных веществ, традиционного использования в народной медицине и высокой сырьевой доступности [84, 130, 150].

Таблица 1.2.1 – Варианты применения отдельных вегетативных органов растений в промышленной переработке

Вегетативный орган растения	Примеры растений [14, 62, 68, 102]
Семена	Кориандр, тмин, нигелла
Листья	Лавр, петрушка, базилик
Цветки	Шафран
Корневища	Имбирь, куркума
Кора	Корица

Также выбор данного сырья обоснован наличием опубликованных данных об их фармакологических свойствах, что предопределяет перспективы разработки на их основе новых пищевых добавок. Статистика публикаций на ресурсе PubMed (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>) по рассматриваемому сырью представлена на рисунке 1.2.1.

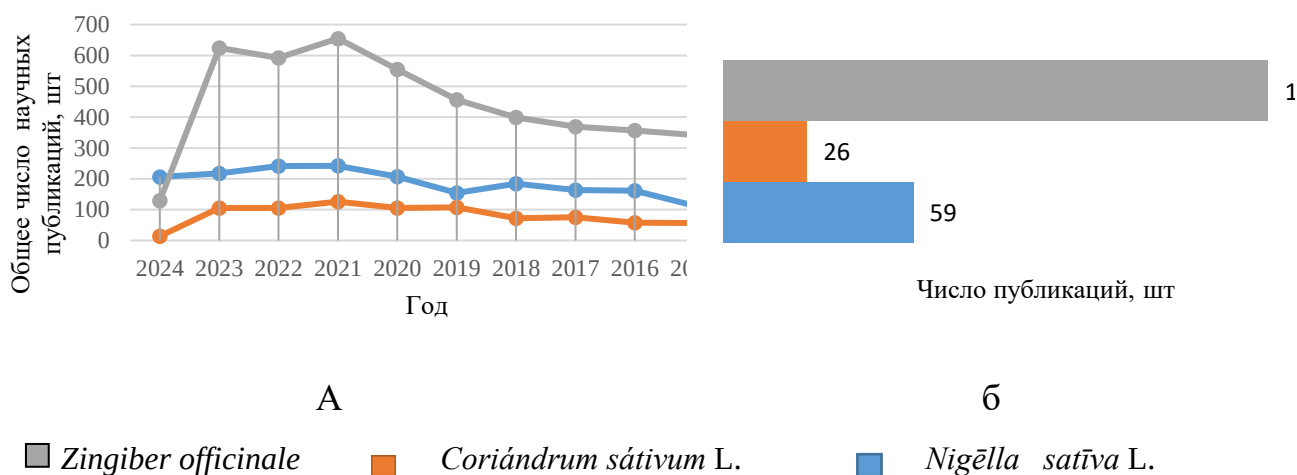


Рисунок 1.2.1 – Статистика публикаций в базе данных PubMed за период 2015–2024 гг.: а – число публикаций по годам; б – общее число публикаций в рамках клинических исследований

Имбирь (*Zingiber officinale*) относится к семейству имбирных (*Zingiberaceae*). Род *Zingiber* насчитывает 80–90 видов растений, распространенных в Восточной Азии, Южной Африке и Австралии [26]. Имбирь представляет собой многолетнее травянистое растение, высота некоторых видов достигает 2 м. Подземная часть представлена ветвистыми корнями и горизонтально расположенными клубневидными корневищами. Из горизонтально растущего корневища вырастают гладкие листовые и короткие чешуйчатые цветочные стебли [12, 26].

Корневища растения содержат эфирное масло (1,0–3,5 %), крахмал, смолы, сахара, витамины, незаменимые аминокислоты, минералы (натрий, калий, цинк) [9, 12]. Главной составной частью эфирного масла являются цингиберен (зингиберен) (до 70 %), а также соответствующий ему алкалоид – цингиберол (зингиберол). Кроме того, в эфирном масле содержатся другие терпеноидные соединения: бисаболен, борнеол, линалоол, гераниол, фарнезен [12, 26, 84, 130, 150]. Биологическое действие основных компонентов имбиря представлено в таблице 1.2.2.

Имбирь произрастает в странах с тропическим климатом, таких как Индия, Китай, Япония, Бразилия и Западная Африка. Для выращивания данного растения необходимы теплые и влажные условия, поэтому его культивируют преимущественно в этих регионах [26]. По данным ресурса TrendEconomy (<https://trendeconomy.ru/>), основными импортерами имбиря в Россию являются Китай, Бразилия, Казахстан, Таиланд и Индия. Доля импорта каждой из стран представлена на рисунке 1.2.2.

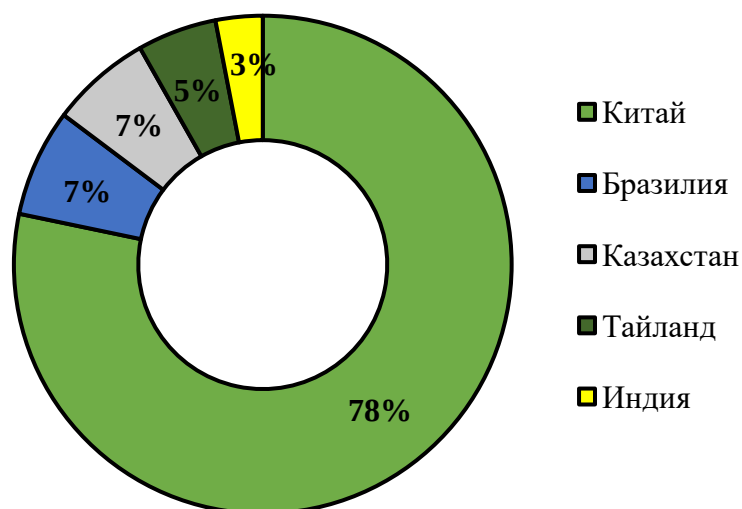


Рисунок 1.2.2 – Долевое распределение стран-импортеров имбиря в Россию %

Кориандр посевной (*Coriandrum sativum* L.) относится к семейству зонтичных (*Umbelliferae*). Это однолетнее травянистое растение высотой до 70 см, с тонким веретенообразным корнем. Прикорневые листья длинночерешковые, цельные, трехлопастные; нижние стеблевые листья короткочерешковые. Цветки мелкие, с белым или розовым венчиком, собраны в соцветие – сложный зонтик. Плод – нераспадающийся вислоплодник диаметром до 5 мм [9]. Плоды кориандра содержат эфирное масло (0,7–1,5 %), состоящее из линалоола (60–80 %), гераниола (3–5 %), цимола, геранилацетата (до 5 %), борнеола (1–4 %) и их уксуснокислых эфиров и альдегидов: n-децилового, дециленового и

изодециленового (0,2–2,5 %); терпены, пинены, фелландрен [9, 67]. В плодах содержится до 20 % жирного масла, в состав которого входят глицериды жирных кислот (92 %) и неомыляемые вещества (до 7,5 %), а также небольшое количество алкалоидов. Биологически активные свойства вторичных метаболитов, преобладающих в кориандре, представлены в таблице 1.2.2.

Большая часть посевных площадей приходится на Центральный федеральный округ и Краснодарский край. Урожайность семян кориандра в среднем составляет 0,5–1,2 т/га. В благоприятных условиях при высоком уровне агротехники кориандр способен давать 2,0–3,0 т/га [28].

Рисунок 1.2.3 – Посевные площади эфиромасличных культур в Российской Федерации за 2022 г., тыс. га [63]

систему, характеризуется хорошей облиственностью, обилием цветков и плодов [64, 74]. В сырье присутствуют эфиромасличные (содержание эфирных масел в семенах достигает 1,5 %) и пряноароматические компоненты. Нигелла обладает высокой масличностью – содержание жирных масел в семенах 35 % [76, 87].

Согласно литературным данным, *Nigella sativa* L. характеризуется низкой цитотоксичностью [129] и богатым компонентным составом. Отдельные вещества этого растения демонстрируют разнообразную биологическую активность [87, 129], подтвержденную на различных моделях; соответствующие данные представлены в таблице 1.2.3.

На основании этого *Nigella sativa* L. является перспективным модельным растением для получения фитонутриентов для различных функциональных систем.

Основными компонентами летучих соединений нигеллы посевной являются: α -туйен, β -оцимен, β -пинен, γ -терпинен, терпинолен, тимохинон [76, 129].

Основной ареал произрастания *Nigella sativa* L. – Египет и Индия (до 60 % от общего количества производимых в мире семян). Территориальное распределение по миру представлено на рисунке 1.2.4.

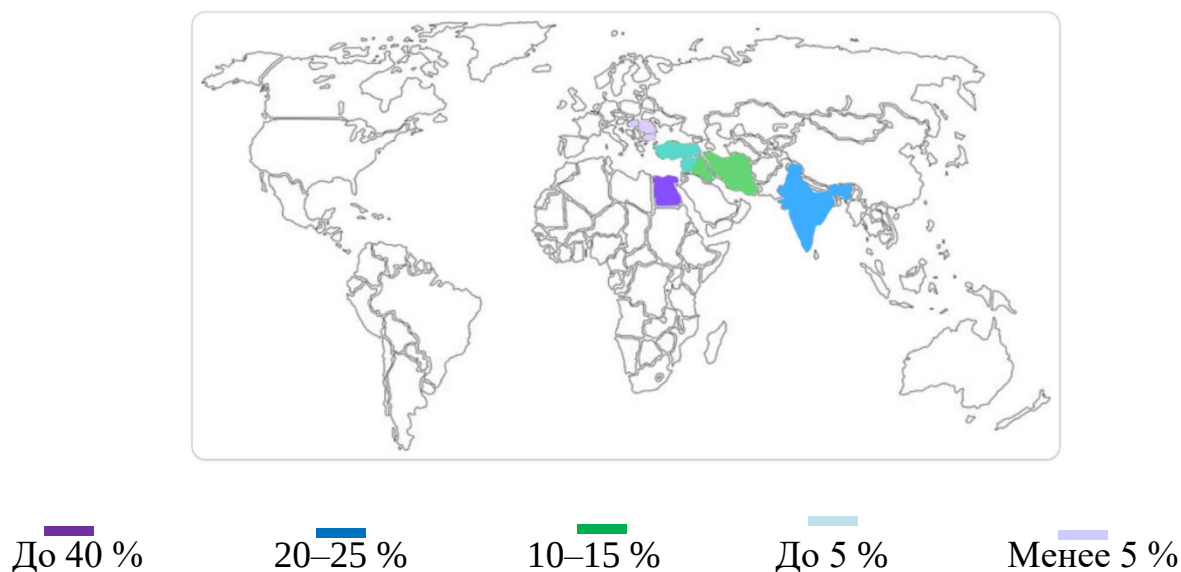


Рисунок 1.2.4 – Ареал произрастания *Nigella sativa* L., % р от общего объема мирового производства семян

Таблица 1.2.2 – Химический состав и биологическая активность веществ *Zingiber officinale*

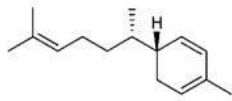
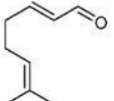
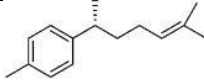
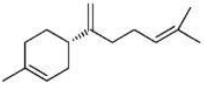
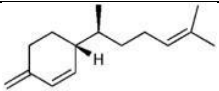
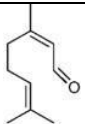
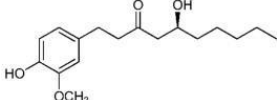
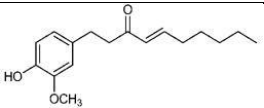
Вещество	Класс веществ	Структурная формула	Биологическая активность
α -Зингиберен	Моноциклический сесквитерпен		Антибактериальные, противогрибковые свойства [133, 141]
Гераниал	Монотерпеноид		Свойства не изучались
α -Куркумен	Сесквитерпен		Обладает синергическим эффектом с химиотерапевтическими препаратами, антиоксидантная активность [31]
β -Бисаболен,	Терпен		Антиоксидантные свойства [33]
β -Сесквифелландрен	Сесквитерпен		Антимутагенные, противовоспалительные, противоподагрические свойства [33,78]
Нераль	Монотерпеновый ациклический альдегид		Антирадикальные и антиоксидантные свойства [46]
Гингерол	Алкалоид		Противоопухолевые, антиоксидантные, противовоспалительные свойства [29, 72]
Шогаол	Алкалоид		Противоопухолевые, антиоксидантные, противовоспалительные свойства [29, 46]

Таблица 1.2.3 – Химический состав и биологическая активность веществ *Coriandrum sativum* L.

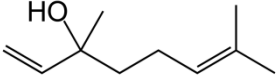
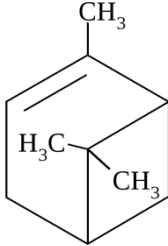
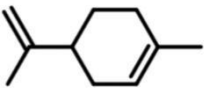
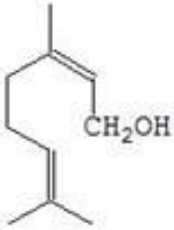
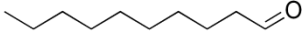
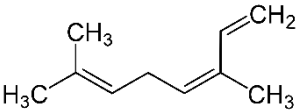
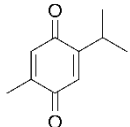
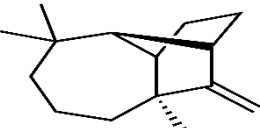
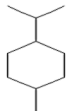
Вещество	Класс веществ	Структурная формула	Биологическая активность
Линалоол	Монотерпеноидный спирт		Антимикробная активность; седативное воздействие [72]
α -Пинен	Монотерпеновый углеводород		Противовоспалительная, антимикробная активность [41, 58]
Лимонен	Монотерпеновый углеводород		Антиоксидантная, антимикробная и противогрибковая активность [57]
Гераниол	Монотерпеноидный спирт		Антибактериальная и противогрибковая активность [66]
Деканал	Алифатический альдегид		Антимикробная активность [35, 131]

Таблица 1.2.4 – Химический состав и биологическая активность веществ *Nigella sativa* L.

Вещество	Класс веществ	Структурная формула	Биологическая активность
α -Туйен	Монотерпен		Антиоксидантное, антибактериальное, противогрибковое, инсектицидное действие [98, 126].
β -Оцимен,	Монотерпен		Противовоспалительное, антиоксидантное, антибактериальное, противогрибковое действие [98, 101].
Тимохинон	Хинон		Антиоксидантное, противовоспалительное, противораковое, иммуномодулирующее, нейропротекторное, антибактериальное, противогрибковое действие [100, 112, 117].
Лонгифолен	Сесквитерпен		Противовоспалительное, антимикробное, противогрибковое, инсектицидное действие [93, 132]
γ -Терпинен	Монотерпен		Антиоксидантное, противовоспалительное, антибактериальное, противогрибковое, антигельминтное, инсектицидное действие; ингибитор ацетилхолинэстеразы (потенциально) [90, 98, 127]

Рассматриваемое эфиромасличное и пряно-ароматическое сырье обладает богатым химическим составом, в котором преобладают терпены различной структуры, альдегиды и алкалоиды. Широкий спектр биологической активности данных объектов обусловлен разнообразием химических компонентов, благодаря чему все основные целевые ингредиенты находят широкое применение в качестве функциональных добавок в пищевой промышленности. Они улучшают вкусовые качества и способствуют созданию продуктов с повышенной биологической ценностью, что, в свою очередь, стимулирует рост рынка функционального питания.

Zingiber officinale, *Coriandrum sativum* L. и *Nigella sativa* L. представляют значительный научный интерес, что подтверждается растущим числом научных публикаций. Весомый объем сырьевой базы также играет важную роль в рыночных и торговых отношениях России.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что *Zingiber officinale*, *Coriandrum sativum* L. и *Nigella sativa* L. являются перспективными источниками для выделения различных фитонутриентов и их дальнейшего применения в различных пищевых системах.

1.3 Сравнительная характеристика методов выделения вторичных метаболитов из растительного сырья

Экстракция – процесс извлечения вещества из раствора или сухого сырья с помощью растворителя (экстрагента). На сегодняшний день методы экстракции включают экстракцию растворителем, метод дистилляции, прессование и др. Экстракция растворителями является наиболее распространенным методом [42]. Необходимо отметить, что популярность экстракционных технологий обусловлена, в первую очередь, улучшением экономических показателей

деятельности предприятия, к которым относятся экономический эффект, показатели эффективности и др.

Главная движущая сила экстракционных процессов – диффузия [45]. Процесс массообмена между сырьем и экстрагентом кратко можно представить в виде нескольких стадий:

1. Проникновение растворителя в твердую матрицу.
2. Переход растворенного вещества в растворитель.
3. Диффузия растворенного вещества из твердой матрицы.
4. Отбор экстрагированной части.

На этот неравновесный процесс можно влиять путем изменения коэффициента диффузии (количественной характеристики скорости диффузии). На кинетику процесса могут оказывать влияние такие факторы, как свойства экстракционного растворителя, размер частиц сырья, гидромодуль, температура и продолжительность экстракции [45, 47, 75].

Выбор растворителя должен основываться на полярности извлекаемых веществ, а также на безопасности и стоимости самого растворителя [47].

Размер частиц также важен: чем меньше размер частиц, тем выше эффективность экстракции за счет более глубокого проникновения экстрагента [42]. Однако если частицы имеют слишком маленький размер, процесс фильтрации полученных экстрактов может быть затруднен из-за адсорбции растворенных веществ.

Температура процесса экстракции чаще всего поддерживается на повышенном уровне для увеличения скорости диффузии и растворения целевых веществ [45]. Оптимальный диапазон для проведения экстракции биологически активных веществ – 40–80 °С. Более высокие температуры могут привести к потере растворителя (снижение экономической эффективности процесса), образованию примесей, что влечет за собой использование дополнительных методов очистки, а также к разложению термолабильных соединений.

Традиционные методы экстракции – перколяция, мацерация и экстракция по Сокслету. Современные методы представлены экстракцией с использованием

ультразвука, экстракцией под давлением (докритическая и сверхкритическая) и микроволновой экстракцией.

Метод мацерации основан на простом смешивании сырья и экстрагента. Для интенсификации процесса применяют перемешивание. Экстракцию чаще всего проводят при комнатной температуре, после чего полученные экстракты фильтруют [35].

Перколяция – один из самых распространенных способов экстракции, при котором активные вещества извлекаются из растений с помощью растворителя в противотоке. Данный процесс осуществляется в специальных конусообразных установках – перколяторах – и состоит из трех этапов: смачивания, замачивания сырья и последующего просачивания экстрагента. Перколяция более эффективна, чем мацерация, так как скорость внутренней диффузии остается высокой благодаря непрерывному просачиванию экстрагента [47].

Экстракция по Сокслету. Образцы исследуемого сырья помещают в пористый мешок из целлюлозы («патрон»), заливают конденсированным неполярным растворителем (гексаном, эфиром или петролейным эфиром) и помещают в дистилляционную колбу. Растворитель испаряется, после чего конденсируется в конденсаторе и возвращается в экстракционный патрон. Когда уровень растворителя повышается, он поступает в круглодонную колбу через сифонную трубку. Этот процесс повторяется до тех пор, пока не произойдет концентрирование растворителя. После завершения экстракции необходима дополнительная отгонка растворителя.

Несмотря на преимущества и широкую распространенность традиционных методов экстракции биологически активных веществ, наличие недостатков стимулировало разработку современных методов, которые являются более эффективными, экономичными и безопасными.

Экстракция с помощью ультразвука. Ультразвуковая экстракция создает циклы расширения и сжатия в среде, используя звуковые волны частотой выше 20 кГц, что вызывает кавитацию. Это приводит к возникновению высоких сил сдвига в среде. Движение кавитационных пузырьков на поверхности продукта

провоцирует микроструйное распыление, которое порождает несколько эффектов, таких как отшелушивание поверхности и разрушение частиц, что повышает эффективность массообменных процессов [128].

Экстракция под давлением. Суть данной технологии заключается в выдержке растительного сырья в сосудах под высоким давлением и при низкой температуре [75]. Сам процесс экстракции можно разделить на две стадии. Первая – непосредственно переход веществ из сырья в растворитель. Вторая – отделение растворителя от компонентов экстракта за счет резкого сброса давления или повышения температуры. В качестве растворителя может быть использован любой газ, но чаще всего применяют диоксид углерода [92, 128, 151].

В зависимости от технологических параметров выделяют докритическую экстракцию (при давлении растворителя ниже его критической точки; для диоксида углерода это давление до 7,3 МПа) и сверхкритическую экстракцию (рабочее давление выше критических значений: для CO_2 – более 7,3 МПа). Критическим называется состояние газа, при котором он находится в пограничном состоянии и может проявлять свойства как газа, так и жидкости. Поэтому в настоящее время наиболее эффективным является использование сверхкритической флюидной экстракции [128, 151].

Как правило, диапазон температур составляет 30–50 °С, давление – 7–30 МПа и подбирается в зависимости от способа экстракции, вида сырья и природы извлекаемых компонентов [30, 92].

Применение сверхкритического диоксида углерода безопасно для окружающей среды и человека, а также обладает всеми необходимыми свойствами для эффективного экстрагирования. Данный метод экстракции подходит для выделения эфирных масел, которые являются основными целевыми продуктами в пряно-ароматическом и эфиромасличном сырье. Сравнительная характеристика методов извлечения биологически активных метаболитов из растительного сырья представлена в таблице 1.3.1.

Таблица 1.3.1 – Сравнительная характеристика методов извлечения фитонутриентов

Метод	Достоинства метода	Недостатки метода
Мацерация	Простота оборудования и процесса; температурный режим, позволяющий извлекать термолабильные компоненты из растительных матриц	Продолжительность экстракции; относительно низкая извлекающая способность в статическом режиме; наличие остатков растворителя в экстракте
Перколяция	Экономия растворителя (насыщенный растворитель постоянно заменяется свежим); высокая скорость диффузии	Большой расход растворителя; строгое соблюдение размера частиц растительного сырья; длительный подготовительный процесс; наличие остатков растворителя в экстракте
Экстракция по Сокслету	Длительное время экстракции; непрерывный автоматизированный процесс; высокая эффективность	Разложение термически нестабильных соединений; необходимость дополнительной отгонки растворителя; высокое потребление энергии и растворителя
Экстракция с помощью ультразвука	Повышение эффективности экстракции; сокращение времени проникновения экстрагента	Необходимость в дополнительном оборудовании; нагревание экстракционной среды в процессе обработки и, как следствие, разрушение термолабильных компонентов
Экстракция под давлением	Экстрагирование компонентов при низкой температуре; отсутствие остатков растворителя; высокая скорость и эффективность экстракции; не требует большого объема растворителя; повышенная скорость массопереноса; возможность фракционирования по компонентам	Чувствительность некоторых соединений к высокому давлению; сложность и высокая стоимость оборудования; преимущественное выделение веществ липидной природы

Сверхкритическая флюидная экстракция (СКФЭ) демонстрирует наибольший потенциал среди рассмотренных методов. Преимущества включают высокую эффективность, селективность, безопасность, возможность работы при умеренных температурах для сохранения и извлечения термолабильных веществ, а также снижение затрат на растворитель. Другие методы могут быть применимы в определенных ситуациях в зависимости от исходного сырья и полярности извлекаемых веществ.

Кроме того, технология СКФЭ создает условия для снижения микробиологической нагрузки и полной стерилизации продукта за счет ряда ключевых параметров: высокое давление процесса и высокая проникающая способность диоксида углерода в цитоплазму клеток приводят к необратимым изменениям, при этом умеренный температурный режим (30–50 °C) позволяет сохранить молекулы биологически активных веществ в нативном состоянии и напрямую повысить терапевтическую и потребительскую ценность продукта.

К важным аспектам технологии СКФЭ относятся стандартизируемость и воспроизводимость. Традиционные методы экстракции отличаются низкой селективностью, и состав экстрактов может варьироваться от партии к партии растительного сырья. Технология СКФЭ позволяет точно регулировать технологические параметры (давление и температуру), обеспечивая при этом получение идентичного по составу продукта в каждой партии.

Реализация технологии СКФЭ, основываясь на вышеперечисленных преимуществах, приводит к увеличению доходности с единицы сырья, позволяя получать отдельные фракции целевых биологически активных веществ. Данный факт является ключевым аспектом для применения именно этой технологии в настоящем исследовании.

1.4 Способы повышения биодоступности вторичных метаболитов растительного сырья

В настоящее время одним из главных технологических вопросов при использовании фитонутриентов является повышение их биодоступности. Биодоступность – свойство биологически активных веществ (БАВ) или лекарственных форм на их основе легко усваиваться организмом [123]. Низкая биодоступность ограничивает применение фитонутриентов как в фармацевтической, так и в пищевой промышленности [3, 61]. Она значительно снижает эффективность метаболитов растительного сырья, что приводит к уменьшению заявленного биологически активного действия [71]. Поэтому вопрос о способах повышения биодоступности остается весьма актуальным.

Для преодоления данного лимитирующего фактора применяют современные нанотехнологические системы, в которых наночастицы служат носителями для целевых компонентов [38, 71]. Нанотехнология заключается в создании и использовании материалов, механизмов или систем в нанометровом масштабе. Наноматериалы обычно характеризуются размером частиц менее 100 нм. В настоящее время существует множество технологий нанокапсуляции [71], в частности:

- коацервация – механизм, при котором происходит самостоятельное образование высокомолекулярных капель, обогащенных растворенным веществом. Различают простую и сложную коацервацию в зависимости от молекулярной массы применяемых полимеров и количества компонентов среды, обладающих одинаковым электронным потенциалом [38];

- наноосаждение – процесс формирования новой фазы при изменении параметров среды и удалении растворителя. Высокая летучесть используется при микрокапсулировании в среде органических растворителей с применением растворимых в них полимеров [124];

– эмульгирование – процесс растворения одной фазы в другой, часто сопровождающийся выделением большого количества свободной энергии и повышением энтальпии системы. Эмульсии обычно обладают низкой стабильностью при образовании крупных молекул. Для повышения эффективности применяют различные химические и физические методы стабилизации [103];

– ионное гелеобразование – вариант нековалентной иммобилизации веществ, включающий добавление раствора полимера по каплям к раствору противоионов с диспергированным лекарственным средством при непрерывном перемешивании. Степень ионизации молекул зависит от pH среды [61].

Все перечисленные методы отличаются сложностью реализации, используемым оборудованием, принципами действия и свойствами получаемых систем. При их разработке следует опираться на определенные концепции и закономерности, представленные ниже. Примеры применения данных методов представлены в таблице 1.4.1 [103].

Таблица 1.4.1 – Примеры применения технологий нанокапсулирования

Варианты применения	Используемые методы и материалы [103, 124]
Липидные композиции	Наноэмульсии, нанолипосомы, наноструктурированные липидные носители
Природные наноносители	Казеины, циклодекстрины, нанокристаллы, наноструктуры амилозы
Специализированное оборудование	Электроспряденные нановолокна, наноразмерные материалы, частицы, полученные методом распылительной сушки
Функциональные биополимерные наноматериалы	Белковые нанотрубки, углеводные наногели

Материалы служат компонентами для создания супрамолекулярных комплексов (СМК) — частиц, формирующихся в результате избирательной

ассоциации двух и более молекул или фрагментов одной и той же молекулы за счет невалентных взаимодействий.

При разработке супрамолекулярных комплексов следует учитывать характеристики инкапсулируемого вещества и поверхностного агента, а также типы химических связей и их синергическое взаимодействие. В качестве ядра или инкапсулируемых структур чаще всего используют [43, 104]:

- фенольные соединения (кверцетин, катехины, фолиевая кислота, тимол, ресвератрол, антоцианы);
- каротиноиды (ликопин томатов);
- незаменимые жирные кислоты (линоленовая кислота);
- витамины (витамин D₃, витамин B₉, витамин B₂, рибофлавин, тиамин);
- пептиды и ферменты (природные дипептиды);
- пробиотики и пребиотики (*Lactobacillus casei*, *Lactobacillus reuteri*, *Bifidobacterium bifidum*, *Bifidobacterium breve*, *Streptococcus thermophilus*, фруктоолигосахариды);
- прочее (минералы, красители, ароматизаторы, буферные растворы, микроэлементы).

Инкапсуляция веществ перечисленных групп обеспечивает их защиту, улучшение антиоксидантной и других функциональных активностей, приобретение дополнительных положительных свойств, а также целенаправленную доставку БАВ [38]. Это обуславливает эффективность применения данной технологии: стабилизацию, контролируемое высвобождение БАВ, улучшенные органолептические характеристики (гомогенность, аромат, вкус и / или текстуру) для последующего внесения в пищевую систему [124].

При конструировании защитной оболочки необходимо учитывать следующие свойства материала: растворимость, «съедобность», пленкообразующую способность, способность к эмульгированию, вязкость, степень кристалличности, совместимость с инкапсулируемыми соединениями, стоимость и вкус [124]. Примеры материалов, используемых для формирования

стенок (оболочек) при инкапсуляции пищевых компонентов, представлены в таблице 1.4.2 [73, 104, 108, 109].

Примером технологического конструирования системы типа «ядро-оболочка» может служить исследование, в котором в качестве биологически активного вещества выступал куркумин [108], а оболочкой служил белок зеин с молекулярной массой 25–30 кДа. Процесс капсулирования проводили методом электрораспыления (электродинамического распыления). Применение данной технологии позволяет расширить использование куркумина в качестве красителя в водных пищевых продуктах [108].

Таблица 1.4.2 – Материалы для формирования оболочек при инкапсуляции пищевых компонентов

Класс веществ	Примеры [73, 104, 108, 109]
Углеводы	Хитозан, пектин, мальтодекстрин, альгинаты, циклодекстрины, гуммиарабик, производные целлюлозы, модифицированные крахмалы, каррагинан
Белки	Сывороточный протеин, казеинат натрия, соевые белки, желатин, казеины
Жир и воски	Гидрогенизированные растительные масла, пчелиный воск, лецитин, триглицериды со средней длиной цепи
Полимеры	Полигликолиды, полилактиды, полиэтиленгликоль, сложные полиортоэфиры, полиангидриды, полиакриламид, поликапролактон, полиакриловая кислота

Капсулирование тимола с использованием зеина, стабилизированного казеинатом натрия и гидрохлоридом хитозана, также позволило повысить эффективность целевого компонента [103].

Вопрос инкапсуляции является актуальным в рамках данного диссертационного исследования, поскольку она позволяет не только повысить биодоступность выделенных фитонутриентов, но и улучшить их стабильность,

обеспечить целенаправленную доставку в организм и защиту от внешних факторов. Применение инкапсуляции для повышения биодоступности и расширения свойств растительных биологически активных добавок представляет собой активно развивающееся направление в научной сфере.

Это открывает новые перспективы для разработки эффективных функциональных продуктов и добавок, что имеет важное значение для пищевой и фармацевтической промышленности.

1.5 Рынок функциональных пищевых систем в России

Рынок функциональных продуктов питания в России находится в стадии активного роста и обладает значительным потенциалом. К ключевым особенностям данного сектора относятся:

- быстрый рост и высокий потенциал развития;
- повышение осведомленности потребителей;
- сегментация и разнообразие ассортимента;
- внедрение новых технологий;
- развитие научных исследований и инноваций в области питания.

Функциональный продукт – это пищевой продукт, в состав которого входят один или несколько функциональных пищевых ингредиентов в количестве не менее 15 % от установленной нормы потребления в одной порции продукта [25, 48].

Функциональные продукты можно разделить на основные группы: хлебобулочные изделия, молочные продукты, безалкогольные напитки. Распределение рынка представлено на рисунке 1.5.1.

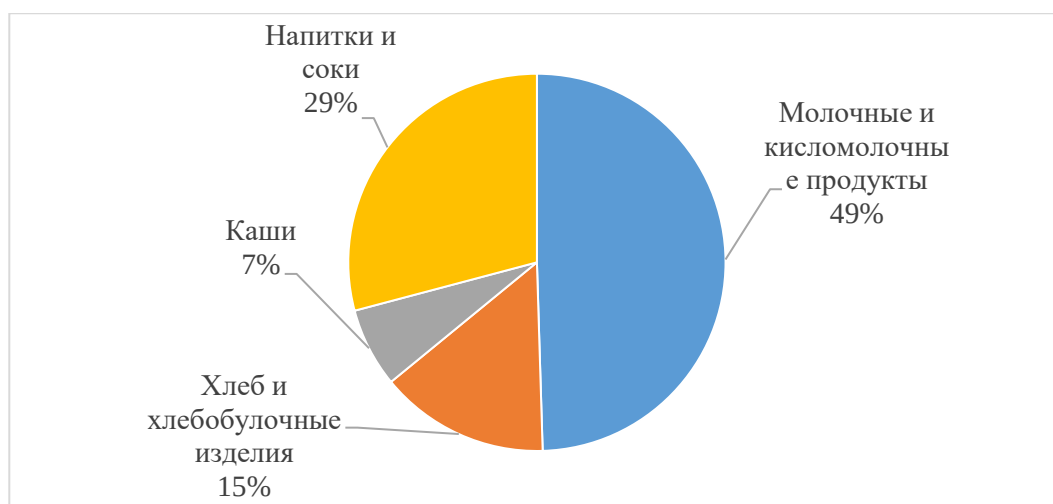


Рисунок 1.5.1– Ассортимент функциональных продуктов питания
(доля рынка, %)

Наиболее практичной формой функционального продукта по праву можно считать напитки благодаря удобной форме потребления и возможности добавления функциональных компонентов. К напиткам специального назначения относятся:

- спортивные и энергетические напитки;
- диабетические напитки;
- напитки для работников отдельных профессий, повышающие устойчивость организма к экстремальным воздействиям [25].

Особенностью функциональных продуктов, в частности напитков, является профилактика алиментарно-зависимых заболеваний.

Алиментарно-зависимые заболевания (АЗ) — это болезни, возникновение которых обусловлено недостаточным потреблением физиологически активных веществ по сравнению с установленными нормами. Чаще всего к АЗ относят сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ), алиментарные дефициты, сахарный диабет второго типа и другие. Распространенность АЗ заболеваний в России представлена на рисунке 1.5.2.

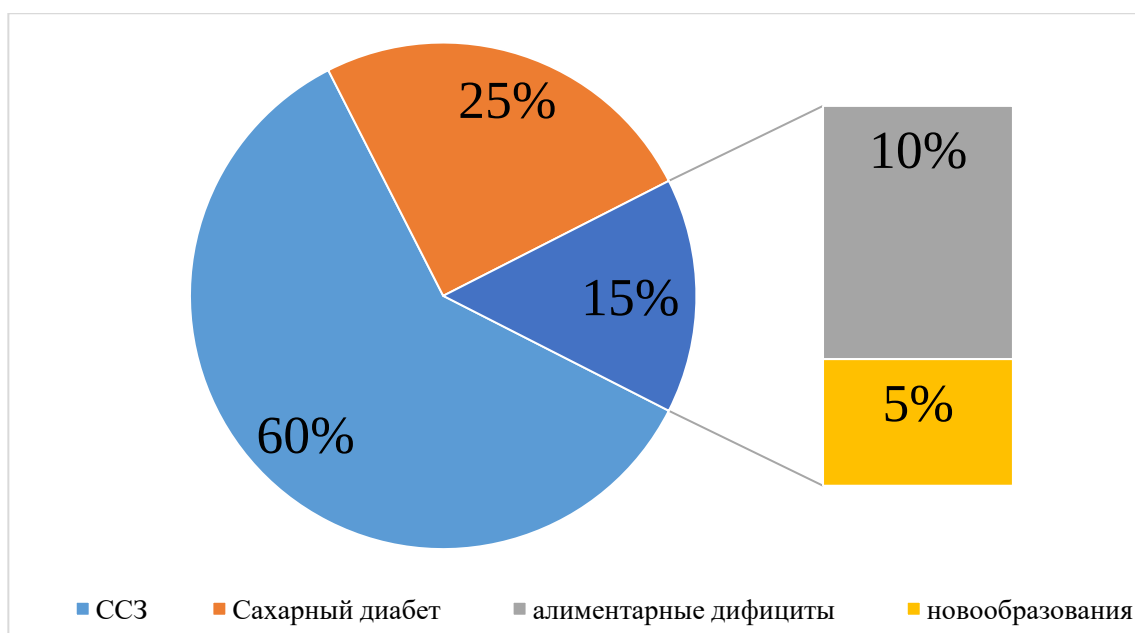


Рисунок 1.5.2 – Структура алиментарно-зависимых заболеваний в России
[91]

Пандемия COVID-19 также оказала влияние на рынок и повысила интерес потребителей к здоровому питанию, при этом значительно увеличилось число людей, ожидающих, что их пища будет обладать функциональными преимуществами: повышением иммунитета, улучшением естественной резистентности организма и восполнением дефицита необходимых макро- и микроэлементов.

В настоящее время на рынке представлено большое разнообразие видов функциональных продуктов [48]:

- продукты для иммунитета;
- продукты для пищеварения и здоровья суставов;
- продукты для красоты и омоложения;
- продукты для детоксикации;
- продукты для спортсменов и др.

Продукцию на полках торговых сетей можно увидеть в различных формах: биологически активные добавки, напитки, батончики, готовые блюда, функциональные продукты повседневного потребления.

Рынок закономерно реагирует на высокий спрос на продукцию данной категории, поэтому в последнее время наблюдается разнообразие ценовых сегментов – от бюджетных товаров до продуктов премиального класса. Прогнозируемые данные за 2020–2024 гг. представлены на рисунке 1.5.3.

Текущая динамика рынка демонстрирует устойчивый восходящий тренд, который поддерживается, прежде всего, потребительским спросом на продукцию, а также ее разнообразием. Рынок предлагает широкий ассортимент продуктов: от йогуртов с пробиотиками до напитков, обогащенных витаминами и минералами, а также функциональные продукты для спортсменов, детей и людей с особыми диетическими потребностями.

Основные тренды современного рынка [28, 48]:

- спрос на натуральные ингредиенты и отсутствие искусственных добавок;
- индивидуальный подход к потребностям потребителей;
- экологически чистые продукты и упаковка;
- развитие онлайн-продаж, цифровых технологий и информационных ресурсов.

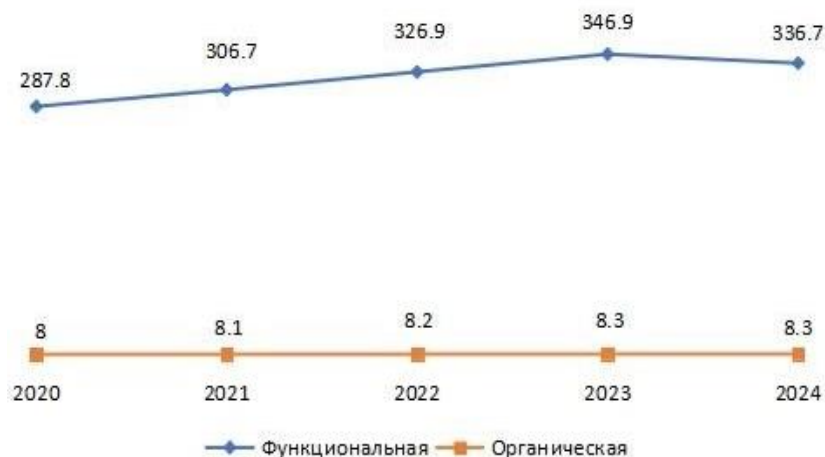


Рисунок 1.5.3 – Динамика роста рынка функциональных продуктов в денежном выражении за 2020–2024 гг., млн руб. [28]

В настоящее время активно развивается направление FoodTech, которое занимается производством и приготовлением продукции с использованием информационных (IT-решений) и других технологических решений.

Появление новых технологий и научных разработок в области питания открывает дополнительные возможности для создания уникальных функциональных продуктов. Производители, внедряющие такие инновации, смогут предлагать широкий ассортимент товаров, что повысит интерес потребителей и конкурентоспособность на рынке. Таким образом, разрабатываемые в рамках настоящего исследования напитки имеют актуальное значение для рынка благодаря их соответствию указанным тенденциям и потребительским запросам. Ожидается, что функциональные продукты станут важным сегментом пищевой отрасли, способствуя укреплению здоровья и благополучия населения.

ГЛАВА 2. МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Организация и схема проведения исследования

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» (г. Кемерово). Схема проведения исследований представлена на рисунке 2.1.1.

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

Второй этап предполагает проработку методологии исследования, описание объектов и методов исследований.

Третий этап (экспериментальный) включает решение поставленных задач:

- установление оптимальных параметров выделения БАВ 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;

– оценка сохранности CO₂-экстрактов при различных значениях pH среды, имитирующей желудочный и кишечный этапы пищеварения.

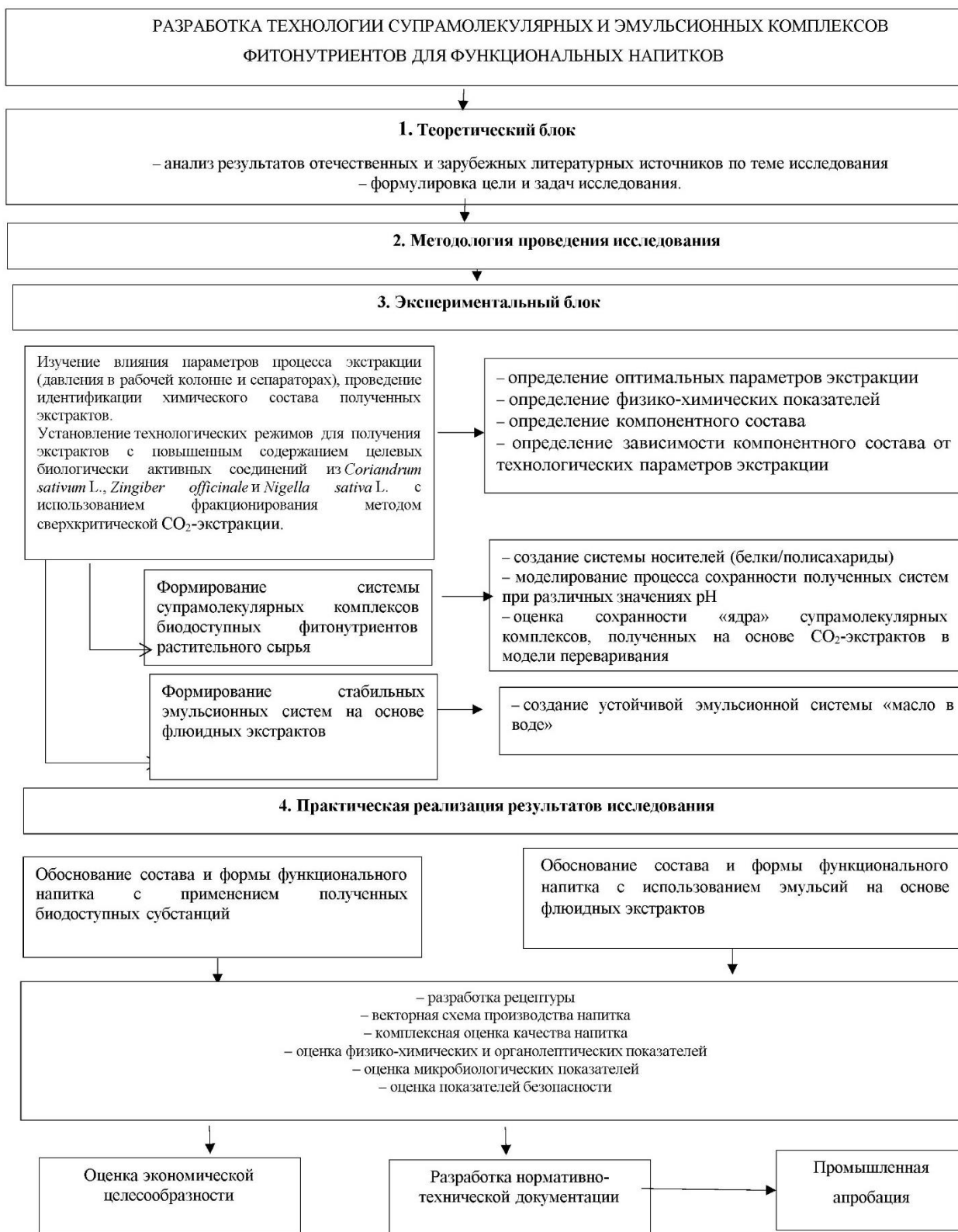


Рисунок 2.1.1 – Схема исследования

Четвертый этап посвящен практической реализации результатов исследований: обоснованию состава функционального напитка с применением полученных супрамолекулярных форм и эмульсионных систем СО₂-экстрактов, разработке технической документации, подтверждению экономической целесообразности внедрения разработанных технологий напитков, а также промышленной апробации результатов исследований.

2.2 Объекты и материалы исследования

Объектами исследования в логике поэтапного выполнения работы служили:

- флюидные экстракты (*Coriandrum sativum* L., *Zingiber officinale* и *Nigella sativa* L.), полученные на полупромышленной установке для СО₂-экстракции (модель ЭЗТ-10/2-1/1-3ВА, ООО «СО2EXT», г. Пушкино, Россия);

- супрамолекулярные комплексы (коацерваты) и эмульсии, полученные на основе отдельных фракций СО₂-экстрактов (*Coriandrum sativum* L., *Zingiber officinale* и *Nigella sativa* L.) при различных технологических параметрах;

- функциональный напиток в жидкой и таблетированной форме.

Материалы исследования

- измельченные плоды *Coriandrum sativum* L. (кориандр) (ООО «Агроторг», Россия);

- корневища *Zingiber officinale* (ООО «Фьюжен менеджмент», Россия), предварительно измельченные на ножевой мельнице (CW-1, Россия) до размера частиц $0,50 \pm 0,20$ мм;

- семена *Nigella sativa* L. (ООО «Амрита», Россия), предварительно измельченные на жерновой мельнице (HR-2200, Китай) до размера частиц $0,25 \pm 0,20$ мм;

– порошок хитозана (ООО «Объединенная компания "ОК"», Россия), по сертификату производителя;

– изолят сывороточного белка (ООО «IHerbo», Россия), по сертификату производителя.

Рецептурные ингредиенты напитков:

– сухие фруктовые соки (малина, облепиха) (ООО «Liaoning», Китай), по сертификату производителя;

– криопорошки черной смородины, моркови (ООО «Litmoise», Россия), по сертификату производителя;

– микрокристаллическая целлюлоза (ООО «Русхим-магазин», Россия), по сертификату производителя;

– ацетатно-уксуснокислый буфер (рН 3), приготовленный путем смешивания в заданных пропорциях (90/10) 0,2 М раствора уксусной кислоты (АО «ВЕКТОН», Россия) с 0,2 М раствором ацетата натрия (АО «ВЕКТОН», Россия);

– концентрированные соки (яблоко, черная смородина, груша) (ООО «Djemka», Россия), по сертификату производителя;

– дрожжевая подкормка FERMAID (Lallemand, Швейцария), по сертификату производителя;

– дрожжи SafBrew LA-01 (Fermentis, Бельгия), по сертификату производителя.

2.3 Методы исследования

В растительном сырье, CO₂-экстрактах и готовом напитке определяли следующие физико-химические показатели:

– определение массовой доли влаги в растительном сырье проводили методом термогравиметрического анализа с использованием автоматического влагомера марки ML-50 (Япония) [15];

- процесс экстрагирования проводили на полупромышленной установке для CO₂-экстракции модели ЭЗТ-10/2-1/1-3ВА (ООО «CO2EXT», г. Пушкино, Россия). Установка представляет собой экстрактор закрытого типа с тремя рабочими колонками, из которых две объемом 10 дм³ каждая и одна – объемом 1 дм³. Установка укомплектована тремя сепараторами, которые позволяют осуществлять фракционирование получаемых экстрактов. Оборудование полностью автоматизировано. Параметры обработки сырья: температура в рабочей колонке 35 °С; давление экстракции от 8,0 до 30,0 МПа; в сепараторах давление (МПа):температура (°С) – 6,0:30,0; 5,0:30,0; 4,0:25,0 длительность экстрагирования – 60 мин при каждом значении давления. Схема установки CO₂-экстракции представлена на рисунке 2.3.1.

Коэффициент преломления для полученных CO₂-экстрактов определяли рефрактометрически [16] на приборе типа PAL-COVID-19 (Япония). Температура измерения составила 20 ± 2 °С.

Определение влажности эфирного масла основано на измерении потери массы за счет гигроскопической влаги и летучих веществ при высушивании сырья до абсолютно сухого состояния [17]. Для этого навеску массой 5 г помещали в сушильный шкаф (MS-70, Китай) и высушивали при температуре 160 ± 2 °С до постоянной массы.

Идентификацию полученных фракций проводили с использованием стандартного протокола. Газохроматографический анализ с масс-спектрометрическим детектированием (ГХ-МС) выполняли с использованием капиллярной колонки MDN-1 (Sigma-Aldrich, США) и газового хромато-масс-спектрометра GCMS-QP2010 Ultra (Shimadzu, Япония) в соответствии со следующими параметрами: объем вводимой пробы – 1 мкл; температура инжектора – 200 °С, деление потока – 1:10, температура интерфейса – 210 °С, температура детектора – 200 °С; скорость потока газа-носителя (гелий) – 0,8

см³/мин. Температурная программа: 100 °С в течение 2 мин, нагрев со скоростью 5 °С/мин до 120 °С, затем 20 °С/мин до 260 °С, выдерживание при 260 °С в течение 2 мин. Регистрацию масс осуществляли в диапазоне от 50 до 1900 m/z [23].

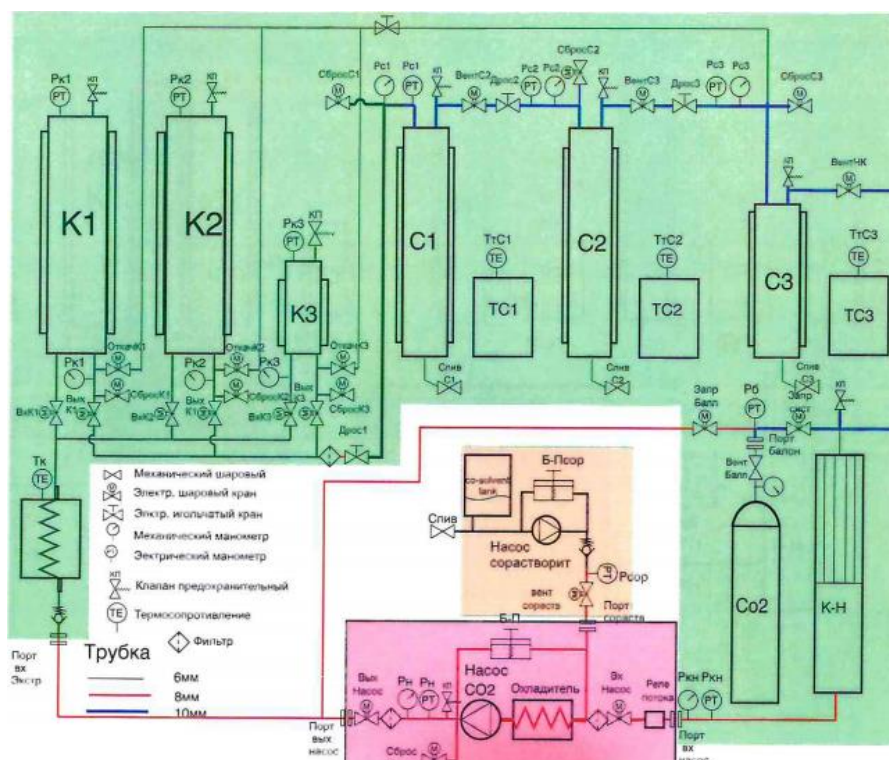


Рисунок 2.3.1 – Схема установки CO₂-экстракции модели ЭЗТ-10/2-1/1-3ВА

При создании супрамолекулярных комплексов за основу была принята методика, описанная в работе Y. Yuan [147]. В данное исследование были внесены существенные изменения.

Были приготовлены исходные растворы составных элементов оболочки: сывороточный белок с концентрацией 1 и 2 %; раствор хитозана концентрацией 1 %, растворенный в уксусном буфере с pH 3.

Процесс коацервации проводили следующим образом. В исходный раствор белка по каплям при постоянном перемешивании вносили CO₂-экстракт в различных количествах, далее полученную эмульсию подвергали

гомогенизации при 6000 об/мин в течение 5 мин. После этого в первичную эмульсию вносили раствор хитозана в количестве 0,5 % от объема системы для инициации процесса коацервации. Полученные коацерваты всплывали на поверхность фазы растворителя по мере их формирования. Затем коацерваты промывали дистиллированной водой и выдерживали при температуре 40 °С в течение 12 ч для формирования стабильного слоя. Сформированные коацерваты подвергали лиофильной сушке (вакуум, температура –40 °С, 12 ч).

Полученные коацерваты использовали в дальнейших исследованиях. Принципиальная схема получения коацерватов CO₂-экстрактов представлена на рисунке 2.3.2.

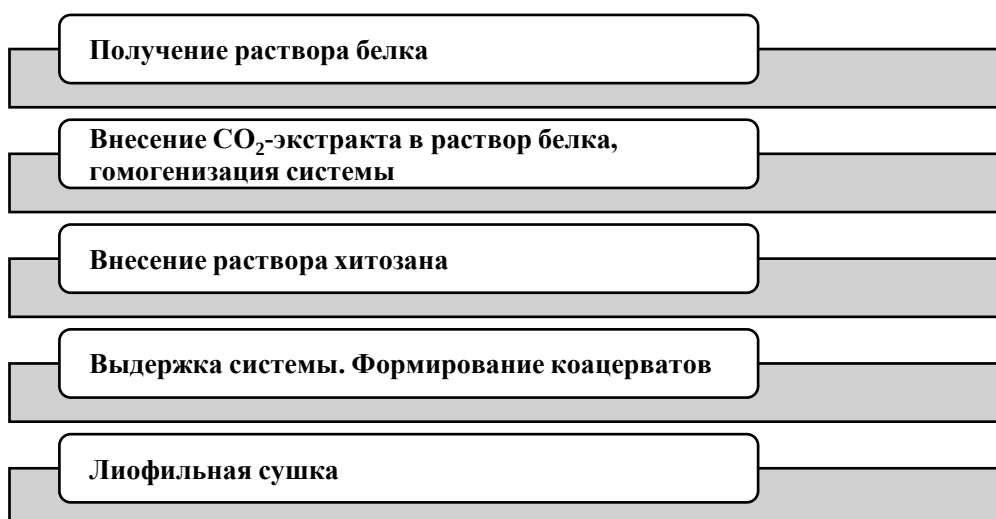


Рисунок 2.3.2 – Принципиальная схема получения коацерватов

Для определения массовой доли жира в полученных коацерватах использовали модифицированный метод Проскуряковой – Чижовой [70].

Содержание белка в полученных комплексах определяли колориметрическим методом (метод Лоури) [54].

Тест на сохранность супрамолекулярных комплексов в различных средах проводили следующим образом. В качестве сред использовали дистиллированную

воду (рН 7,0), буферные растворы с рН 7,5 и 2,5 (для имитации рН среды кишечника и желудка соответственно). Навеску массой 5 мг полученных коацерватов при постоянном перемешивании помещали в указанные среды, предварительно термостатированные при 37 °С. Процент убыли массы рассчитывали на основании разницы между исходной массой и массой после нахождения в растворе в течение заданного времени. Мутность раствора оценивали колориметрическим методом при длине волны 530 нм.

Моделирование процесса высвобождения масла из полученных супрамолекулярных комплексов проводили по методике, изложенной в работе [4], с некоторыми изменениями. В качестве сред использовали дистиллированную воду (рН 7,0), фосфатный буфер с рН 7,25 (имитация среды кишечника) и солянокислый буфер с рН 2,0 (имитация желудочного сока). Навеску коацерватов массой 5 мг помещали в солянокислый буфер (рН 2,0) при температуре 37 °С и выдерживали при постоянном перемешивании в течение 2 ч, после чего раствор фильтровали. Нерастворившийся остаток переносили в буфер с рН 7,5 (имитация среды кишечника) и выдерживали 2 ч при постоянном перемешивании. В надосадочной жидкости определяли количественное содержание белка (нефелометрическим методом или методом Лоури). В нерастворимом осадке определяли процентное содержание масла методом Проскуряковой – Чижовой [70].

Титруемую кислотность напитка определяли по ГОСТ Р 51434-99 [22].

Массовую долю сухих веществ в напитке – по ГОСТ 6687.2-90 [19].

Органолептические показатели напитка определяли по ГОСТ 6687.5-86 [20].

Микробиологические показатели готовых напитков определяли по ГОСТ 30712-2001 [21].

В рамках данного диссертационного исследования содержание токсичных элементов в готовом напитке не подлежало непосредственному определению.

Данное решение обусловлено тем, что потенциальным источником токсичных элементов может являться исключительно сырье, используемое в

производстве. При этом вся используемая сырьевая база соответствует требованиям безопасности, подтвержденным сертификатами качества, предоставляемыми поставщиками, что гарантирует соответствие сырья установленным нормам по содержанию вредных веществ.

Первичная обработка данных проводилась в программе MS Excel. Результаты представлены в виде среднего арифметического (M) $\pm$ стандартная ошибка среднего (m).

ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В данной главе представлены результаты исследований влияния параметров сверхкритической углекислотной экстракции на процесс выделения и фракционирования биологически активных веществ *Coriandrum sativum* L., *Zingiber officinale*, *Nigella sativa* L.; создания супрамолекулярных комплексов по типу «ядро-оболочка» на основе CO₂-экстрактов методом комплексной коацервации; создания эмульсионных систем на основе CO₂-экстрактов.

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

Исходный принцип метода основан на возможности управления плотностью газа в замкнутой системе путем регулирования термобарических условий (температуры и давления). В соответствии с уравнением состояния идеального газа, плотность газа прямо пропорциональна давлению и обратно пропорциональна температуре. Следовательно, при увеличении давления и при постоянной температуре плотность газа возрастает. В то же время рост температуры при постоянном давлении приводит к ее снижению [110].

На основании накопленного опыта извлечения биологически активных веществ из пряно-ароматического и эфиромасличного сырья [86, 91, 105, 119, 131, 148], а также принимая во внимание технические характеристики используемой в исследованиях установки для сверхкритической экстракции, были определены технологические параметры процесса для *Coriandrum sativum* L., *Zingiber officinale*, *Nigella sativa* L., представленные в таблице 3.1.1. Продолжительность экстракции составляла 60 мин при каждом значении давления.

Таблица 3.1.1 – Технологические параметры процесса экстракции *Coriandrum sativum* L., *Zingiber officinale*, *Nigella sativa* L.

Исследуемое сырье	Исходные данные по сырью		Параметры экстракции			Число циклов экстракции
	Влажность, %	Масса, кг	Давление в экстракционной колонке, МПа	Давление в сепараторах, МПа	Температура экстракции, °С	
<i>Zingiber officinale</i>	9,53 ± 0,19	3,50 ± 0,05	8,0–30,0	4,0; 5,0; 6,0	45,0	3
<i>Coriandrum sativum</i> L.	11,30 ± 0,22	2,50 ± 0,05	10,0–20,0	4,0; 5,0; 6,0	35,0	3
<i>Nigella sativa</i> L.	7,00 ± 0,14	3,60 ± 0,05	10,0–30,0	4,0; 5,0; 6,0	35,0	3

Плотность газа рассчитывали по формуле 1:

$$P_{\text{gas}} = \frac{M_{\text{м}} \times P_{\text{gas}}}{R \times T_{\text{г}}} \quad (1)$$

где P_{gas} – плотность газа, г/см³; $M_{\text{м}}$ – молярная масса диоксида углерода (44,01 г/моль); P_{gas} – давление газа (табл. 3.1.2); R – универсальная газовая постоянная (8,31446261815324 Дж/(моль×К)); $T_{\text{г}}$ – температура газа (3.1.2).

Полученные расчетные значения представлены на рисунке 3.1.1 и в таблице 3.1.2.

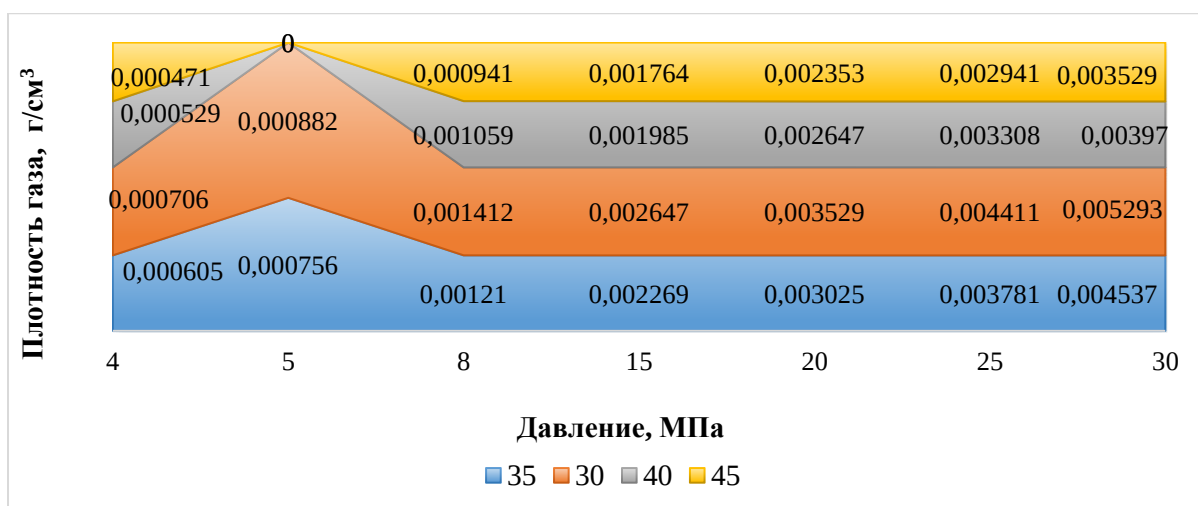


Рисунок 3.1.1 – Значения плотности диоксида углерода при заданных давлении и температуре

Таблица 3.1.2 – Значения плотности диоксида углерода в экстракционной колонке и сепараторах

Давление, МПа	Температура, °С	Плотность газа, г/см ³
В экстракционной колонке		
8,00	45,00	0,000941
15,00		0,001764
20,00		0,002353
25,00		0,002941
30,00		0,003529
В сепараторе		
6,00	45,00	0,000706
5,00	40,00	0,000662
4,00	25,00	0,000847

При использовании метода сверхкритической флюидной экстракции плодов *Coriandrum sativum* L. установлено, что содержание сумарный выход

экстракта составляет 10,8 % (суммарно при давлениях 10 и 20 МПа), рисунок 3.1.2.

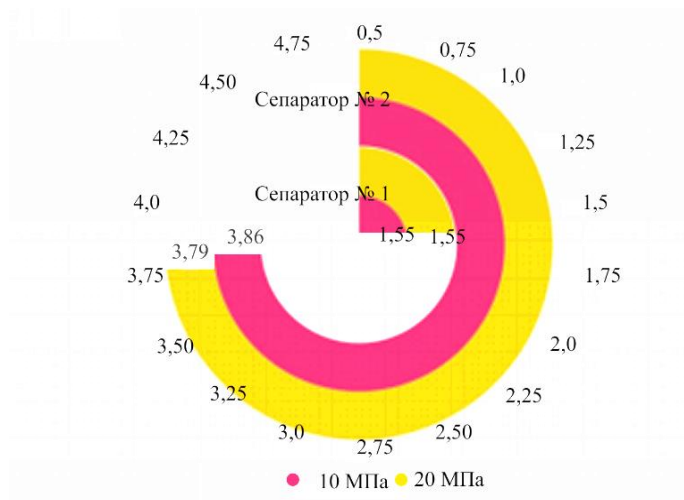


Рисунок 3.1.2 – Суммарный выход экстракта *Coriandrum sativum* L., г/100 г сухого вещества

Максимальный массовый выход липидной фракции зафиксирован в сепараторе № 2, где при давлении 10 МПа выход достиг 3,86 %, а при 20 МПа – 3,79 %.

Повышение давления незначительно влияет на суммарный выход, но при этом изменяется динамика процесса экстракции (рис. 3.1.3б).

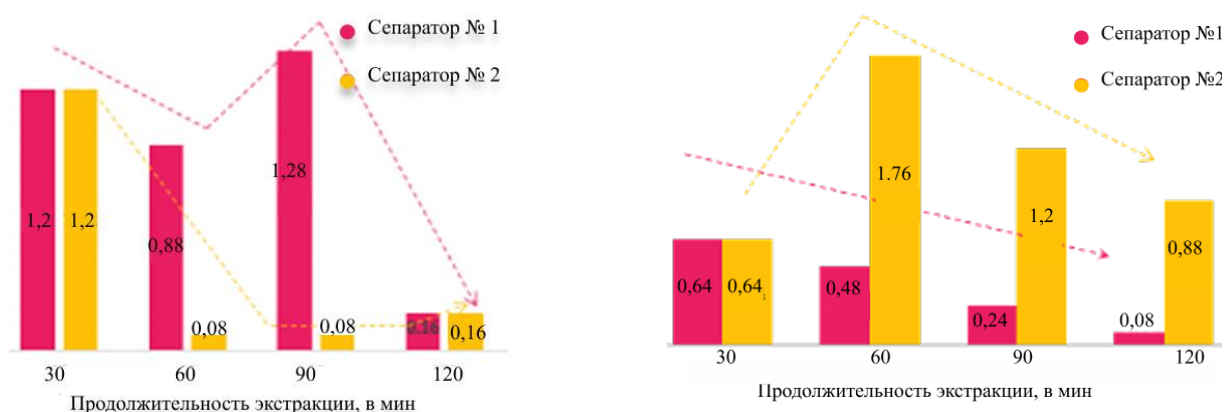


Рисунок 14 – Динамика выхода экстракта *Coriandrum sativum* L., г/100 г сухого вещества, при давлении: а – 10 МПа; б – 20 МПа

Наибольшая эффективность экстракции достигается при давлении 10 МПа в начальный период – первые 30 мин (рисунок 3.1.3а), затем выход экстракта снижается. Тем не менее, при давлении 10 МПа в интервале от 60 до 90 мин зафиксирован локальный пик выхода – 1,28 % (для сепаратора № 1).

При давлении 20 МПа максимальные значения выхода экстракта *Coriandrum sativum* L. достигаются через 60 мин цикла экстракции, после чего наблюдается четкая тенденция к снижению (сепаратор № 2, рисунок 14а).

В процессе фракционирования при экстракции *Coriandrum sativum* L. были получены отдельные фракции, физико-химические показатели которых представлены в таблице 3.1.1.

Таблица 3.1.1 – Физико-химические показатели липофильных фракций *Coriandrum sativum* L.

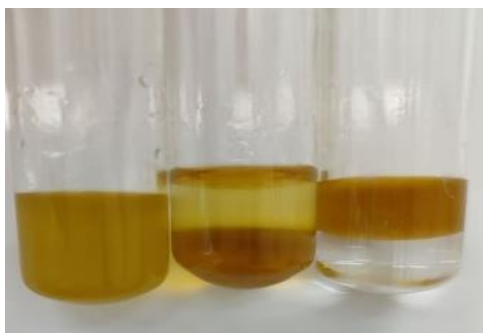
Номер фракции	P _p , МПа	T _p , °C	Давление в сепараторе, МПа	Температура в сепараторе, °C	Коэффициент преломления	Массовая доля летучих веществ, %
1	10,0	35,0	6,0	35,0	1,4091 ± 0,0005	17,81 ± 0,02
2	10,0		5,0	30,0	1,4091 ± 0,0005	20,78 ± 0,02
3	20,0		6,0	35,0	1,4619 ± 0,0005	24,59 ± 0,02
4	20,0		5,0	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 было принято решение о формировании двух образцов:

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

Для каждого образца проведена оценка растворимости в ряду растворителей с различной полярностью (этанол, гексан и вода), результаты которой представлены на рисунке 3.1.4.



а



б

Рисунок 3.1.4 – Тест на растворимость:

а – образец 1; б – образец 2. Растворители (слева направо): гексан, этанол, вода

Образец 1 обладает выраженными отличиями в органолептических свойствах и поведении при растворении, что позволяет идентифицировать его как эфирное масло кориандра. Данный образец демонстрирует полную растворимость в гексане, частичную – в этаноле и полную нерастворимость в воде (рис. 3.1.4а).

Образец 2 полностью растворяется как в гексане, так и в этаноле, при этом не проявляет растворимости в воде (рис. 3.1.4б).

Таким образом, давление экстракции является ключевым фактором, влияющим на физико-химические показатели экстракта, что обуславливает различия в его химическом составе. Данные различия были подтверждены методом газовой хроматографии. Хроматограммы и полный компонентный состав представлены в Приложении А.

В анализируемых образцах обнаружено 42 соединения различной химической структуры. Идентифицировано практически 90 % от всех обнаруженных веществ. 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 3.1.4.

Таблица 3.1.4 – 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
Geranyl acetate (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 видно из данных, представленных в таблице, состав целевых компонентов различен. Образец 1 содержит в своем составе 43,3 % 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.

При использовании традиционных методов экстракции и различных способов предварительной подготовки сырья содержание терпеновых спиртов в эфирном масле кориандра варьируется от 31 до 73 %, что соответствует результатам, полученным в ходе данного диссертационного исследования.

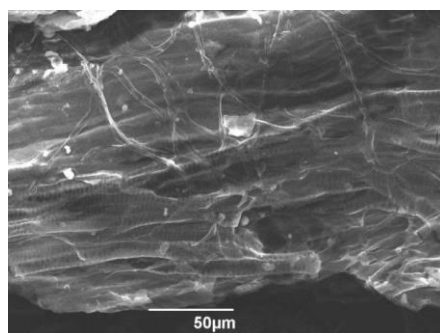
Предварительная подготовка сырья способствует увеличению выхода целевого компонента, что подтверждается результатами исследований; данные представлены в таблице 3.1.5.

Таблица 3.1.5 – Содержание линалоола в эфирном масле *Coriandrum sativum* L., полученное различными способами

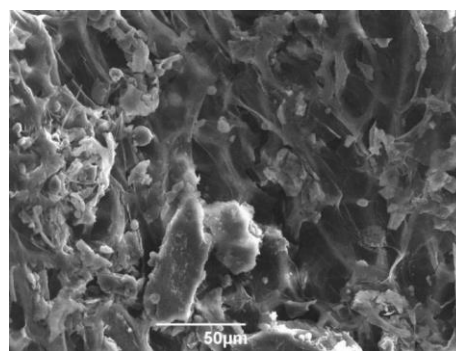
Способ экстрагирования	Подготовка сырья	Содержание линалоола, %
Водно-паровая дистилляция	Без предварительной подготовки [36]	31,05
	Измельчение (размер частиц и оборудование не указаны) [52]	66,50
	Обработка азотом в течение 20 мин и измельчение [55]	73,00
	Увлажнение с использованием электроактивированной жидкости (1–2 %, pH 2,3–1,5) [50].	67,51
Предлагаемый метод		
Флюидная экстракция (10 МПа)	Измельчение на жерновой мельнице HR-2200. Размер полученных частиц (15,0–20,0) ± 0,5 мм	39,04
Флюидная экстракция (20 МПа)	Измельчение на жерновой мельнице HR-2200. Размер полученных частиц (15–20,0) ± 0,5 мм	75,90

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. 3.1.5).



а



б

Рисунок 3.1.5 – Растровая электронная микроскопия плодов *Coriandrum sativum* L. (увеличение $\times 50$ микрометров): 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 3.1.6.

На основании полученных результатов можно утверждать, что процесс извлечения веществ из *Zingiber officinale* наиболее рационально 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 9,70 %. Для полученных образцов также были определены физико-химические показатели. Результаты представлены в таблице 3.1.6 и на рисунке 3.1.6

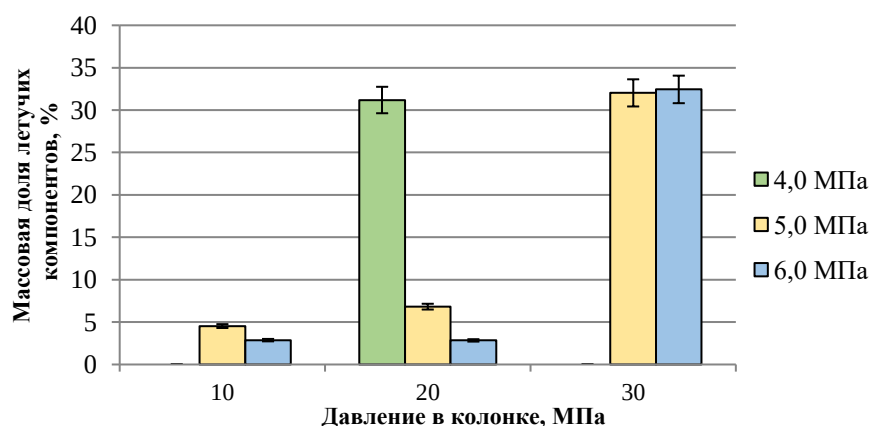


Рисунок 3.1.6 – Влияние параметров сверхкритической экстракции *Zingiber officinale* на содержание летучих компонентов

Таблица 3.1.6 – 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	8,00	1	6,0	0,20 ± 0,04	2,20 ± 0,04	1,5081 ± 0,0005
2		2	5,0	*	*	*
3		3	4,0	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	6,0	1,30 ± 0,03	13,90 ± 0,27	1,5079 ± 0,0005
5		2	5,0	0,80 ± 0,016	8,30 ± 0,16	1,4980 ± 0,0005
6		3	4,0	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	6,0	0,10 ± 0,01	0,60 ± 0,01	1,5064 ± 0,0005
8		2	5,0	0,70 ± 0,01	7,80 ± 0,15	1,4875 ± 0,0005
9		3	4,0	0,20 ± 0,01	1,70 ± 0,03	1,4869 ± 0,0005
	Итого			0,60 ± 0,02	10,10 ± 0,02	
10	25,00	1	6,0	0,10 ± 0,01	0,60 ± 0,01	1,5069 ± 0,0005
11		2	5,0	1,30 ± 0,03	13,90 ± 0,27	1,4892 ± 0,0005
12		3	4,0	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	6,0	1,80 ± 0,04	19,40 ± 0,38	1,3997 ± 0,0005
14		2	5,0	1,30 ± 0,04	13,30 ± 0,26	1,3977 ± 0,0005
15		3	4,0	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.

Для дальнейших исследований было 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 было получено 4 образца, характеристика которых представлена в таблице 3.1.7.

Таблица 3.1.7 – 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	$1,4883 \pm 0,0005$	$21,57 \pm 0,02$
	12, 13, 14, 15	Жидкая масса темно-коричневого цвета со свойственным сырью ароматом	$1,3983 \pm 0,0005$	$83,60 \pm 0,02$

При давлении экстракции до 20 МПа процесс фракционирования в сепараторах протекал более эффективно. Так, образец № 1 преимущественно состоит из фракций, полученных в сепараторе № 1 (давление 6 МПа, плотность газа $0,000706 \text{ г/см}^3$). При повышении давления до 30 МПа процесс фракционирования практически отсутствует: образец № 4 представляет собой смесь фракций, полученных последовательно в первом, втором и третьем сепараторах.

Данное явление может быть связано с повышением скорости движения газа вследствие увеличения частоты работы насоса подачи CO_2 , что необходимо для выхода на целевое значение давления. Увеличение объемного расхода CO_2 (до 2,1 л/мин в нашем случае) приводит к уменьшению времени пребывания экстракционной смеси в сепараторах. Это ограничивает полноту разделения

газовой и жидкой фаз, а также осаждения диспергированных частиц экстракта [83].

В результате оценки влияния давления экстракции на компонентный состав методом ГХ-МС было обнаружено 106 веществ. При этом не идентифицировано 12 соединений, 81 вещество присутствует в следовых количествах (менее 1 %). Хроматограммы для отдельных образцов представлены в Приложении Б.

Определяющими компонентами исследуемого объекта являются: зингиберен, гингерол, α -цингиберен, β -бисаболен, α -куркумен и фарнезен [150].

Эти вещества обуславливают уникальный аромат эфирного масла *Zingiber officinale*, являются сильными антиоксидантами и проявляют высокую противовоспалительную активность, подавляя рост некоторых микроорганизмов [27, 150]. Содержание основных компонентов в различных образцах, полученных в ходе сверхкритической флюидной экстракции, представлено в таблице 3.1.18.

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. 3.1.8). Такие соединения, как farnesene, shogaol, decanal, cedrene epoxide, были обнаружены исключительно в этой фракции. Следует отметить, что данные фитонутриенты относятся к классу летучих веществ; в условиях пониженного давления растворимость этих летучих компонентов снижается, что способствует их переходу в состав экстракта.

Ультразвуковая экстракция повышает выход основных биологически активных веществ имбиря (gingerol и shogaol), существенно сокращая продолжительность процесса. Однако нагревание, сопутствующее ультразвуковому воздействию, препятствует извлечению термолабильных биологически активных соединений [24, 27].

Таблица 3.1.8 – 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
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	—*	—*	—*
Cedrene epoxide (Эпоксид цедрена)	491-04-3	3,03	—*	—*	—*

* – компонент не обнаружен.

Таким образом, разработка эффективной технологии получения фитонутриентов, особенно термолабильных биологически активных веществ, остается актуальной задачей. Сравнительный химический состав (по отдельным компонентам) экстрактов, полученных различными методами, представлен в таблице 3.1.9.

Таблица 3.1.9 – Сравнительный компонентный состав эфирного масла *Zingiber officinale*, полученного с использованием различных методов экстракции

Вещество	Содержание компонента, % от массы всех компонентов смеси		
	Метод Сокслета [88]	Ультразвуковая экстракция [88]	Флюидная экстракция 8–30 МПа*
Gingerol (Гингерол)	14,47	13,85	12,15 (образец 1)
Shogaol (Шогаол)	7,14	8,90	5,0 (образец 1)
Farnesene (Фарнезен)	6,29	7,92	12,28 (образец 3)
β -Sesquiphellandrene (β -Сесвифелландрен)	5,44	6,74	10,92 (образец 3)
Zingiberene (Зингиберен)	5,13	12,86	17,14 (образец 3)

*— результаты флюидной экстракции (8,0–30,0 МПа) получены в ходе настоящего исследования.

При сравнении результатов, полученных при сверхкритической CO₂-экстракции, с результатами других способов установлено, что флюидная экстракция при заданных технологических параметрах наиболее рациональна для выделения следующих биологически активных веществ: farnesene, β -sesquiphellandrene, zingiberene (образец 3). Выход gingerol при использовании флюидной экстракции соизмерим с другими физическими методами экстрагирования.

Влияние различной вариации рабочего давления на физико-химические характеристики фракций *Nigella sativa* L. представлено в таблице 3.1.10. Эстракты представляют собой гидрофильную и гидрофобную (фракции).

Суммарно при давлении экстракции 10–30 МПа выход гидрофобной части экстракта составил $34,50 \pm 0,69$ %.

Оптимальные параметры для выделения флюидного экстракта *Nigella sativa* L. – давление экстракции – 20,0 МПа, давление в сепараторе – 6,0 МПа. Повышение давления до 20 МПа является 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. 3.1.10).

Полученные в ходе исследования результаты частично согласуются с данными других исследований. В работе Z. Solati представлены результаты сверхкритической флюидной экстракции *Nigella sativa* L., отмечено, что наивысший выход экстракции составил 23,20 % при условиях: давление 35 МПа, температура 60 °С, продолжительность 120 мин [149]. Тогда как в другой работе наибольший выход отмечен при давлении 20 МПа (40 °С, 120 мин) и составил 20,5 % [120]. Различия в полученных результатах могут быть связаны с особенностями работы установки (скорость потока газа, конструктивные особенности и др.), а также обусловлены способом предварительной подготовки сырья и ареалом его произрастания. В работе Winatta Sakdasri [142] приведен суммарный максимальный выход масла из *Nigella sativa* L. – $36,28 \pm 1,38$ мас. %, что согласуется с полученными нами результатами.

Таблица 3.1.10 – 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, %
1	2	3	4	5	6
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	$0,30 \pm 0,01$		

Продолжение таблицы 3.1.10

1	2	3	4	5	6
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.

Давление экстракции существенно воздействует на физико-химические параметры получаемых экстрактов. Влияние параметров сверхкритической экстракции *Nigella sativa* L. на показатель массовой доли летучих веществ представлено на рисунке 3.1.7.

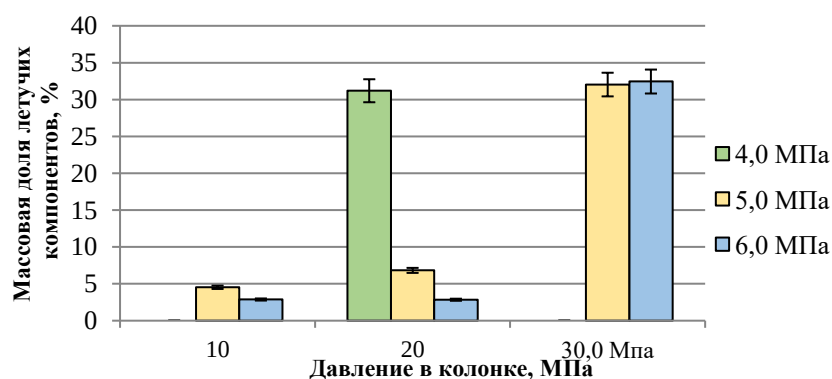


Рисунок 3.1.7 – Влияние параметров сверхкритической экстракции *Nigella sativa* L. на показатель массовой доли летучих веществ

В работе V. A. Kurkin [113] представлены физико-химические показатели масла *Nigella sativa* L., полученного с помощью различных методов экстракции. Коэффициенты преломления также находятся в диапазоне 1,47326–1,47176 ± 0,0005. Масляная фракция, извлеченная при давлении экстракции 20 МПа в сепараторе с давлением 4,0 МПа, и масляные фракции, полученные при давлении экстракции 30 МПа в сепараторах с давлением 5,0 и 4,0 МПа, были объединены, так как имеют схожие физико-химические показатели. При хроматографическом исследовании было обнаружено более 100 веществ в каждой фракции, большая часть из которых представлена жирными кислотами. В таблице 3.1.12 представлены биологически активные вещества, обнаруженные в значительном количестве. Расширенные данные по результатам исследований представлены в Приложении В.

Таблица 3.1.12 – Химический состав экстрактов *Nigella sativa* L., полученных методом сверхкритической флюидной экстракции

Давление экстракции	Вещество	Номер CAS	Содержание, % от суммы веществ	
			Давление в сепараторе 6 МПа	Давление в сепараторе 5 МПа
1	2	3	4	5
10,0 МПа	cis-9-hexadecenal(цис-9-гексадеценаль)	2485-82-7	—*	4,95
	γ -sitosterol (гамма-ситостерол)	83-46-5	1,18	6,21
	neophytadiene (неофитадиен)	14371-33-0	2,21	2,58
	totarol (тотарол)	562-65-9	—*	2,18
	sandaracopimaradiene (сандаракопимар адиен)	541-38-2	2,16	2,11
	eicosane (эйкозан)	629-76-7	4,97	0,81
	heneicosane (генейкозан)	629-86-8	11,97	—*
	Сумма жирных кислот	—	54,74	56,66
20,0 МПа	γ -sitosterol(γ-ситостерол)	83-46-5	1,63	1,43
	norcamphor (камфора)	470-82-6	1,45	0,17
	heneicosane (генейкозан)	629-86-8	3,16	7,31
	Сумма жирных кислот	—	88,68	58,97

Продолжение таблицы 3.1.12

1	2	3	4	5
30,0 МПа	Thymoquinone (timoхинон)	5410-98-2	—*	18,74
	9-undecenal, 2,10-dimethyl (2,10-диметил-9-ундеценаль)	106-72-9	1,79	16,06
	Heneicosane (генийкозан)	629-86-8	2,33	1,41
	сумма жирных кислот	—	92,88	44,11

* – компонент не обнаружен.

Основной целевой компонент *Nigella sativa* L. – тимохинон – в режиме сверхкритической экстракции выделяется в значительном количестве (18 %) только при высоком давлении экстракции 30,0 МПа, а его «конденсация» происходит в сепараторе при давлении 5,0 МПа и температуре 35 °С.

Установлено, что большую долю извлекаемых компонентов составляют жирные кислоты. При этом отмечена тенденция повышения процентного содержания данной группы с увеличением рабочего давления для экстрактов, полученных из сепаратора с давлением 6,0 МПа. Однако для сепараторов с установленным давлением 5,0 и 4,0 МПа тенденция имеет обратный характер. Жирнокислотный состав различных фракций CO₂-экстрактов *Nigella sativa* L. представлен в таблице 3.1.13.

Результаты исследования демонстрируют характерные зависимости состава и процентного содержания жирных кислот в экстракте от давления в рабочих элементах установки. Отмечены основные жирные кислоты с максимальным содержанием: олеиновая, стеариновая, пальмитиновая.

Для стеариновой кислоты наибольший процентный выход отмечен при давлении 20,0 и 30,0 МПа (68,0 и 60,9 % соответственно). Олеиновая кислота в большем количестве присутствует в экстрактах, полученных при более низком давлении 10 МПа и давлении в сепараторе 6 МПа (30,2 %).

Содержание пальмитиновой кислоты снижается с увеличением давления; наибольший выход наблюдался при давлении 10,0 МПа и давлении в сепараторе 6

МПа (30,4 %). Теревталевая кислота была обнаружена в очень малых количествах и отсутствовала в экстрактах, полученных при давлении 20,0 и 30,0 МПа. Другие кислоты – миристиновая, масляная и эйкозодиеновая – обнаружены в небольших количествах и только в отдельных фракциях.

Таблица 3.1.13 – 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
Oleic acid (Олеиновая кислота)	30,20	27,00	13,60	27,00	24,29	29,20
Stearic acid (Стеариновая кислота / октадекановая)	38,80	45,00	68,00	52,30	60,90	51,90
Palmitic acid (Пальмитиновая кислота / гексадекановая)	30,40	18,70	18,17	19,00	14,00	13,70
Terephthalic acid (Терефталева кислота)	0,60	—	—	0,80	0,25	—
Myristic acid (Миристиновая кислота)	—	1,10	—	—	—	—
Butyric acid (Масляная кислота)	—	0,60	-	0,90	-	2,98
Eicosadienoic acid (Эйкозодиеновая кислота (омега-6))	—	—	0,26	—	—	—
Linoleic acid (Линолевая кислота)	—	—	—	—	—	2,20

Обобщая полученные результаты, можно сделать вывод о том, что флюидная экстракция рассматриваемого сырья представляет собой перспективный способ извлечения биологически активных веществ *Coriandrum sativum* L., *Zingiber officinale*, *Nigella sativa* L. Давление экстракции является ключевым параметром, определяющим эффективность извлечения и

компонентный состав экстрактов. Однако при высоком давлении экстракции процесс фракционирования в сепараторах менее эффективен, так как увеличивается скорость потока газа, проходящего через последовательность сепараторов.

Кроме того, важным фактором выступает целевое извлечение веществ и их содержание для каждого вида сырья, что определяет выбор рациональных технических параметров процесса экстракции.

Так, для *Coriandrum sativum* L. повышение рабочего давления с 10,00 до 20,00 МПа прямо коррелирует с увеличением выхода липидной фракции с 4,88 до 5,92 %. Фракция 2, полученная при 20 МПа, представляет собой многокомпонентную смесь веществ терпенового ряда. Содержание линалоола в этой фракции достигает 75,9 %, что на 51,38 % выше, чем во фракции, полученной при 10 МПа. Установленная характерная особенность свидетельствует о возможности направленного извлечения терпеновых соединений.

Для *Zingiber officinale* наиболее рациональной с точки зрения суммарного массового выхода экстракта является экстракция при давлении 30,00 МПа, так как значительная часть веществ (44 %) выделяется именно при этом давлении. Однако главным преимуществом флюидной экстракции является возможность регулирования компонентного состава за счет вариации рабочего давления экстракции и давления в разделяющих сепараторах. С увеличением давления до 15,00 МПа можно получать экстракты с повышенным содержанием более летучих веществ, например зингиберена. Вещества, которые обуславливают органолептические характеристики (гингерол, шогоол), целесообразно выделять также при давлении экстракции не менее 15,00 МПа.

Наиболее оптимальные параметры для выделения флюидного экстракта *Nigella sativa* L. – следующие: давление экстракции – 20,00 МПа; давление в сепараторе – 6,00 МПа. Однако если рассматривать данную технику экстракции как способ выделения основного компонента эфирного масла *Nigella sativa* L. – тимохинона, экстракцию следует проводить при следующих технологических

режимах: давление экстракции – 30,0 МПа; давление в сепараторе – 5,0 МПа; температура – 35,0 °С.

3.2 Создание супрамолекулярных комплексов на основе CO₂-экстрактов методом комплексной коацервации

3.2.1 Изучение влияния концентрации CO₂-экстрактов и хитозана на pH системы

Изоэлектрическая точка (ИЭТ) является важным показателем для процесса комплексной коацервации по нескольким причинам:

- при pH, равном ИЭТ, заряд белковых молекул равен нулю. В этом состоянии белки обладают минимальной растворимостью и склонны к агрегации. Это ключевой фактор, запускающий процесс коацервации. Если pH раствора приближается к ИЭТ сывороточных белков, наблюдается процесс разрушения сольватационной оболочки и вторичной, третичной и четвертичной структуры белковой молекулы [111, 143, 144];

- комплексная коацервация основывается на взаимодействии между различными белковыми молекулами и полиэлектролитами.

Изменяя значения pH, можно контролировать электростатические взаимодействия между белками и другими компонентами системы, что позволяет управлять размером и свойствами образующихся коацерватных капель.

При правильном подборе pH и полиэлектролита можно получить желаемую структуру и свойства конечного продукта [125, 138]. Отклонение от ИЭТ может приводить к снижению эффективности процесса или к образованию нежелательных побочных продуктов.

На основании вышеизложенного контроль pH и приближение его к ИЭТ сывороточных белков является критически важным этапом для успешного протекания комплексной коацервации, обеспечивая необходимую агрегацию белков и их взаимодействие с компонентами системы.

Изоэлектрическая точка (ИЭТ) сывороточных белков находится в диапазоне pH 4,60–5,40, хотя точное значение может варьироваться в зависимости от состава сыворотки и методов определения [11].

На данном этапе было важно изучить влияние концентрации CO₂-экстрактов на pH системы. Данные представлены на рисунке 3.2.1.

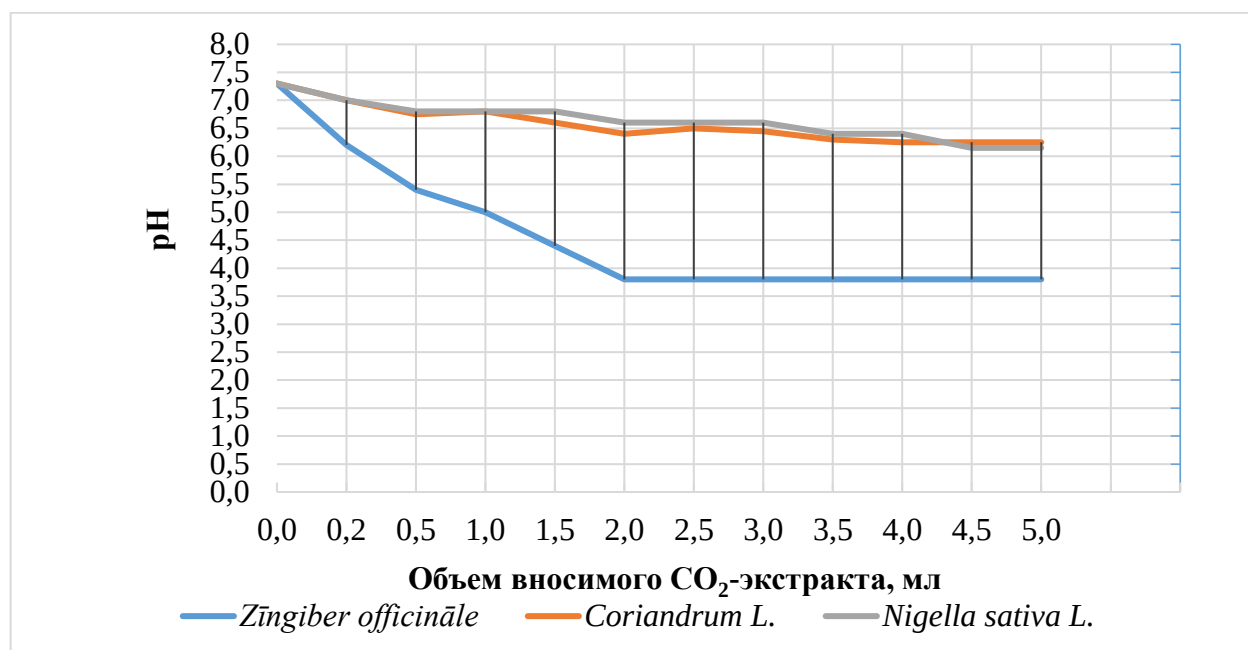


Рисунок 3.2.1 – Динамика снижения pH при внесении CO₂-экстрактов

В ходе серии экспериментов были 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 (3,50–4,00), что приводит к «ранней» коагуляции белка, поскольку его изоэлектрическая точка находится в пределах pH 4,60–5,40 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 %) (рисунок 3.2.1).

3.2.2 Разработка состава супрамолекулярных комплексов на основе СО₂-экстрактов

Изучению формирования сложных молекулярных структур посвящены труды ряда иностранных ученых [116, 146, 147]. Основопологающим результатом исследований в данном направлении является доказательство устойчивости системы, состоящей из трех основных компонентов – белок/липид/полисахарид.

Инкапсулируемой системой является липидная система, в нашем случае – СО₂-экстракты *Coriandrum sativum* L. и *Nigella sativa* L. Для данного растительного сырья применены концентрации 2,5 и 5,0 % (от объема используемого раствора белка). Концентрации выбраны на основании предварительных исследований, а также с учетом результатов изучения влияния концентрации СО₂-экстрактов на рН системы (п. 3.2.1).

В качестве основы для защитной оболочки супрамолекулярных комплексов были выбраны изолят сывороточного белка и хитозан.

Изолят сывороточного белка принят взамен изолята соевого белка, который при первичных тестах показал низкую растворимость в водном растворе. Изолят сывороточного белка содержит множество белков, обладающих высокой способностью к образованию мицелл, а также имеет лучшую растворимость по сравнению с соевым белком [114].

В исследованиях применяли концентрации изолята сывороточного белка – 1,0 и 2,0 % (от объема водного раствора). Использование более высокой концентрации белка неэффективно, что также было подтверждено предварительными экспериментами. Так, повышенное содержание основного полимерного компонента приводит к продолжительному образованию коацерватов, что снижает эффективность инкапсуляции СО₂-экстрактов. При длительном процессе коацервации это проявляется в разделении фаз системы, поскольку белковые коацерваты вытесняют флюидный экстракт, имеющий гидрофобную природу, с образованием отдельных слоев (рис. 3.2.2).

Хитозан является природным полисахаридом с амфифильным характером – он содержит как гидрофильные (гидроксильные группы), так и гидрофобные (ацетильные группы) участки [77, 85]. Такая особенность химического строения хитозана позволяет эффективно стабилизировать эмульсии типа «масло в воде» (или «вода в масле»), препятствуя их расслоению [5, 174]. Хитозан может образовывать тонкие пленки, которые защищают масляную фазу от окисления и воздействия окружающей среды.

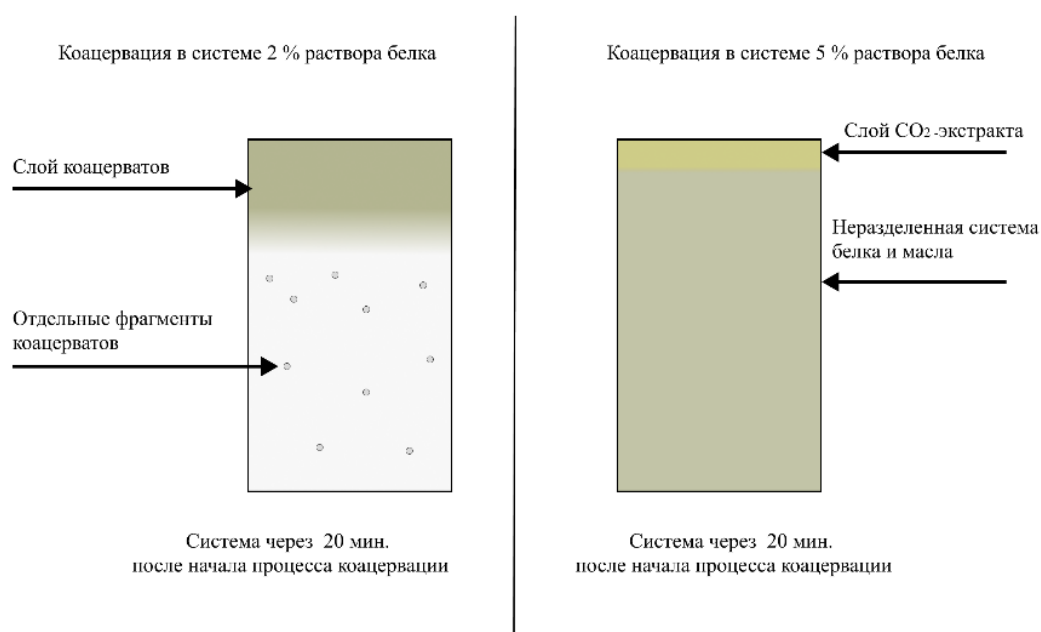


Рисунок 3.2.2 – Влияние концентрации белка в системе на процесс коацервации

В данном исследовании хитозан использовали в виде раствора в уксуснокислого буферного раствора (рН 3,0) с массовой долей хитозана 1 %. Концентрация полисахарида была выбрана на основании предварительных испытаний, результаты которых подтвердили, что использование концентрации более 1 % нецелесообразно из-за снижения скорости коацервации.

Процесс коацервации проводили согласно схеме, представленной в главе 2. Полученные коацерваты всплывали на поверхность растворителя, после чего систему выдерживали при температуре 4 ± 2 °C в течение 12 часов для

завершения процесса коацервации и укрепления оболочек полученных коацерватов. Затем они были отделены от водной фракции фильтрованием, после чего высушены на лиофильной сушке и использованы для дальнейших исследований.

Главными критериями микрокапсул, полученных методом комплексной коацервации, являются выход (В, %) и эффективность (Э, %) инкапсуляции, которые были рассчитаны по формулам (2) и (3):

$$B = \frac{m_1}{m_2} \times 100 \quad (2)$$

$$\mathcal{E} = \frac{m_o}{m_w} \times 100 \quad (3)$$

где m_1 – масса полученных коацерватов; m_2 – суммарная масса биополимеров в растворе; m_o – масса коацерватов, полученных после сушки до постоянной массы при температуре 70 °С; m_w – масса коацерватов, полученных после сушки до постоянной массы при температуре 70 °С после промывки гексаном.

Результаты представлены в таблице 3.2.1. На основании полученных данных можно сказать, что увеличение концентрации СО₂-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 %.

Увеличение содержания белка в системе с 1 до 2 % при концентрации СО₂-экстракта 2,5 % (образцы № 1.1 и 1.3) 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 СО₂-экстракта.

Таблица 3.2.1 – Влияние компонентного состава и технологических условий на выход и эффективность полученных комплексов *Coriandrum sativum* L. и *Nigella sativa* L.

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

Экс – доля вносимого СО₂-экстракта; Бел – массовая доля основного раствора белка; Хит – доля вносимого 1,0 % раствора хитозана.

Изучение влияния скорости гомогенизации – увеличение с 6000 до 10000 об/мин (образцы № 1.1 и 1.2) при неизменных остальных параметрах – привело к незначительному снижению выхода и эффективности на 3,47 и 9,38 % соответственно.

Для *Coriandrum sativum* L. влияние концентрации СО₂-экстракта подобно *Nigella sativa* L.: увеличение концентрации СО₂-экстракта с 2,5 до 5,0 % (образцы 2.1 и 2.3) привело к снижению выхода коацервата на 14,83 %, однако эффективность процесса коацервации осталась почти неизменной – разница составила 2,5 %.

Для образцов с наибольшей эффективностью коацервации (1.3 и 2.2 образцов) представлена микроскопическая картина при различном увеличении

(рис. 3.2.3). Определен размер частиц: для *Nigella sativa* L. размер составляет 320 мкм, для *Coriandrum sativum* L. – 140 мкм.

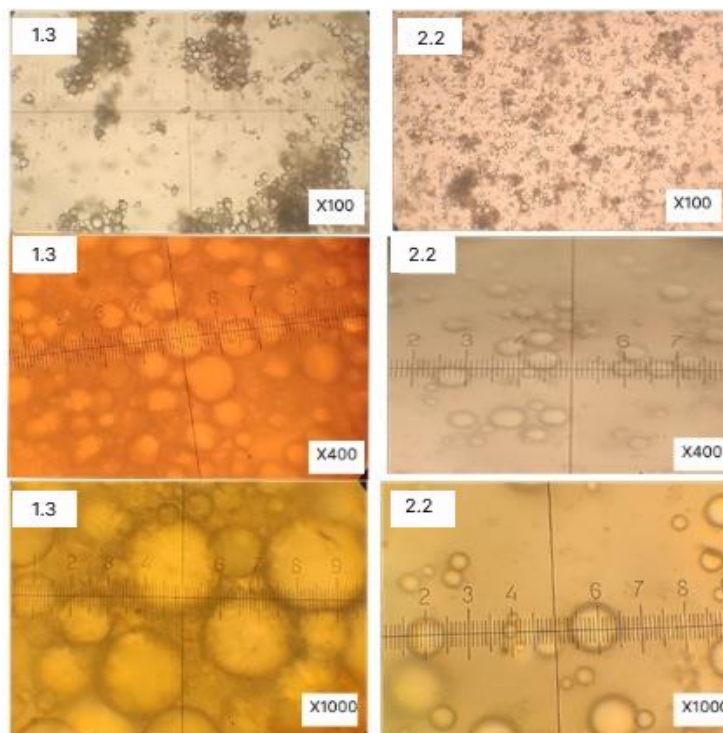


Рисунок 3.2.3 – Микроскопическая картина супрамолекулярных комплексов на основе CO₂-экстракта *Nigella sativa* L. (образец 1.3) и *Coriandrum sativum* L. (образец 2.2) при различном увеличении

На следующем этапе исследований изучали степень сохранности супрамолекулярных комплексов биологически активных веществ с использованием моделирования процесса пищеварения. Акцент был сделан на оценку влияния pH на процесс разрушения коацерватов.

В качестве моделируемых сред были выбраны следующие буферные растворы:

1) Солянокислый буферный раствор с pH 2,20, имитирующий кислотность среды в желудке.

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

3) Дистиллированная вода с pH 7,0 для общей оценки растворимости полученных коацерватов в нейтральной среде.

Схематичная визуализация полученных коацерватов и процентное соотношение компонентов системы представлены на рисунке 3.2.4.

Тест на растворение проводили при температуре 37 °С с периодическим перемешиванием. Степень растворения оценивали по мутности раствора, а также по убыли массы коацерватов с течением времени. Данные фиксировали через каждые 30 мин в течение 2 часов. Результаты отражены на рисунке 3.2.5.

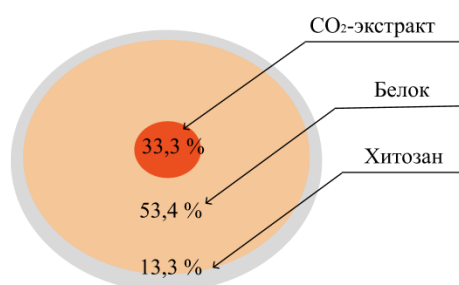


Рисунок 3.2.4 – Получаемые коацерваты (схематично) и процентное соотношение компонентов внутри комплекса

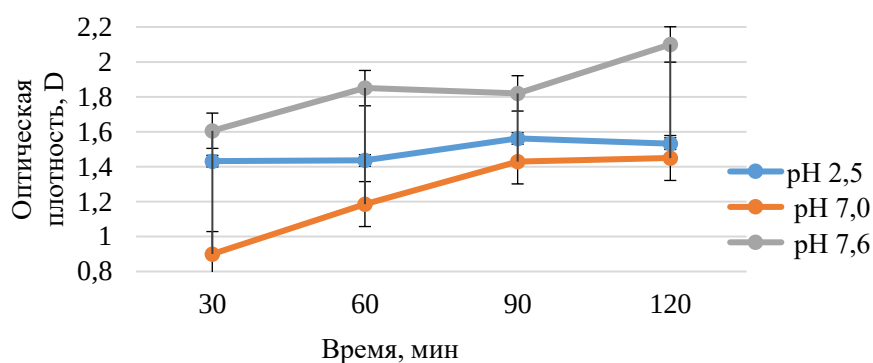
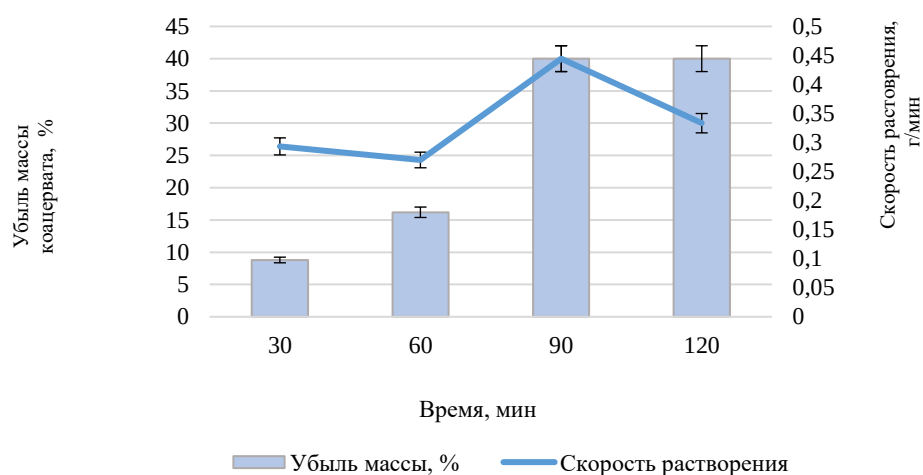


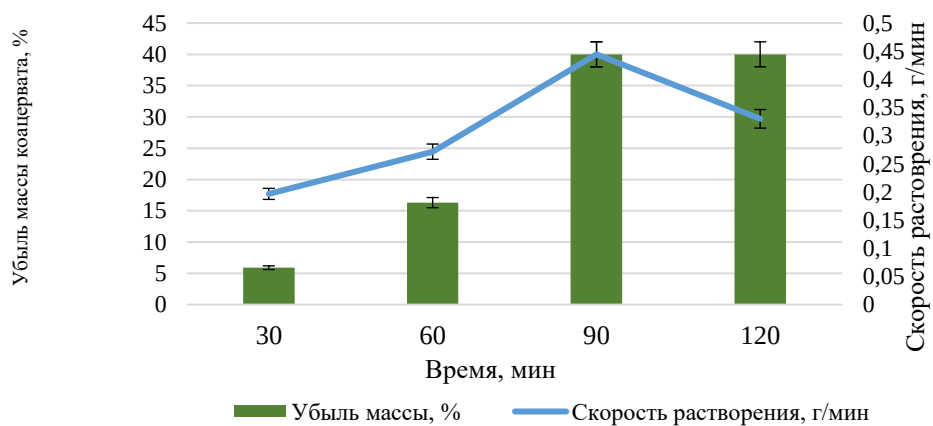
Рисунок 3.2.5 – Изменение мутности растворов супрамолекулярных комплексов в различных средах в зависимости от времени

На основании полученных данных можно выделить следующие тенденции. При pH 2,5 оптическая плотность относительно стабильна во времени, с незначительными колебаниями вокруг среднего значения 1,450. Это может

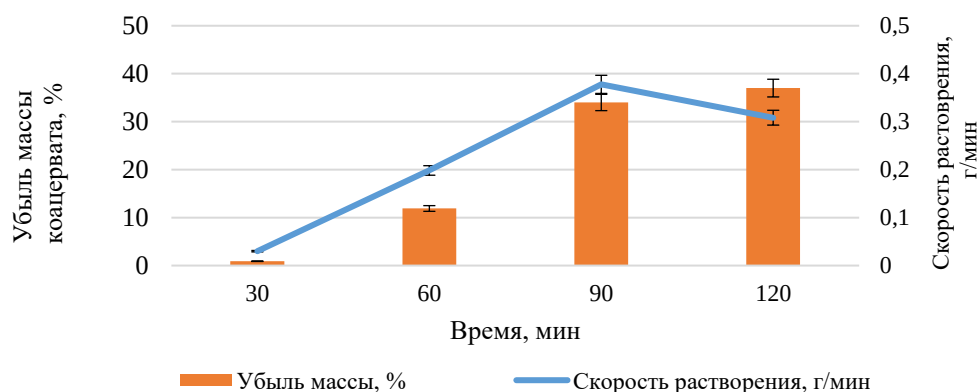
свидетельствовать о низкой растворимости вещества в кислой среде желудка, что указывает на сохранность белка благодаря хитозановой оболочке, которая предотвращает выделение белка в раствор, растворяясь при этом в первую очередь. Защитные свойства полисахаридных оболочек в кислых средах подтверждаются результатами других ученых [8, 77, 145]. Динамика убыли массы коацерватов представлена на рисунке 3.2.6.



а



б



В

Рисунок 3.2.6 – Динамика убыли массы коацерватов в растворах с различным pH: а – pH 2,20; б – pH 7,25; в – pH 7,00

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 выпадением осадка.

Далее была проведена серия экспериментов по ступенчатому растворению полученных коацерватов в различных средах. Схема представлена на рисунке 3.2.7.

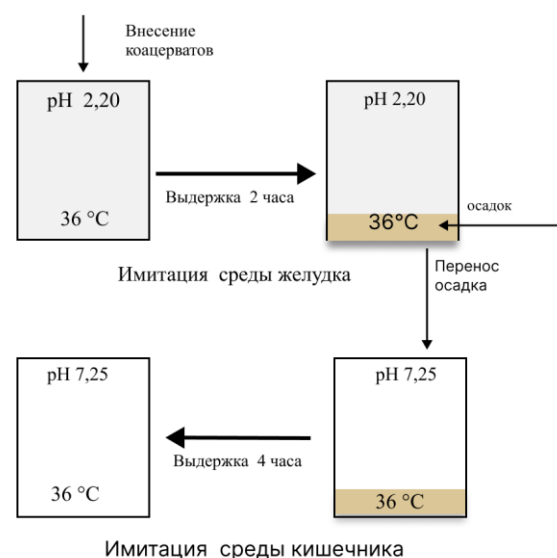


Рисунок 3.2.7 – Схема ступенчатого растворения коацерватов

В ходе исследования контролировали содержание белка, перешедшего в раствор, а также сохранность липидной фракции комплекса (СО₂-экстракта) в нерастворенном осадке. Полученные данные представлены на рисунке 3.2.8.

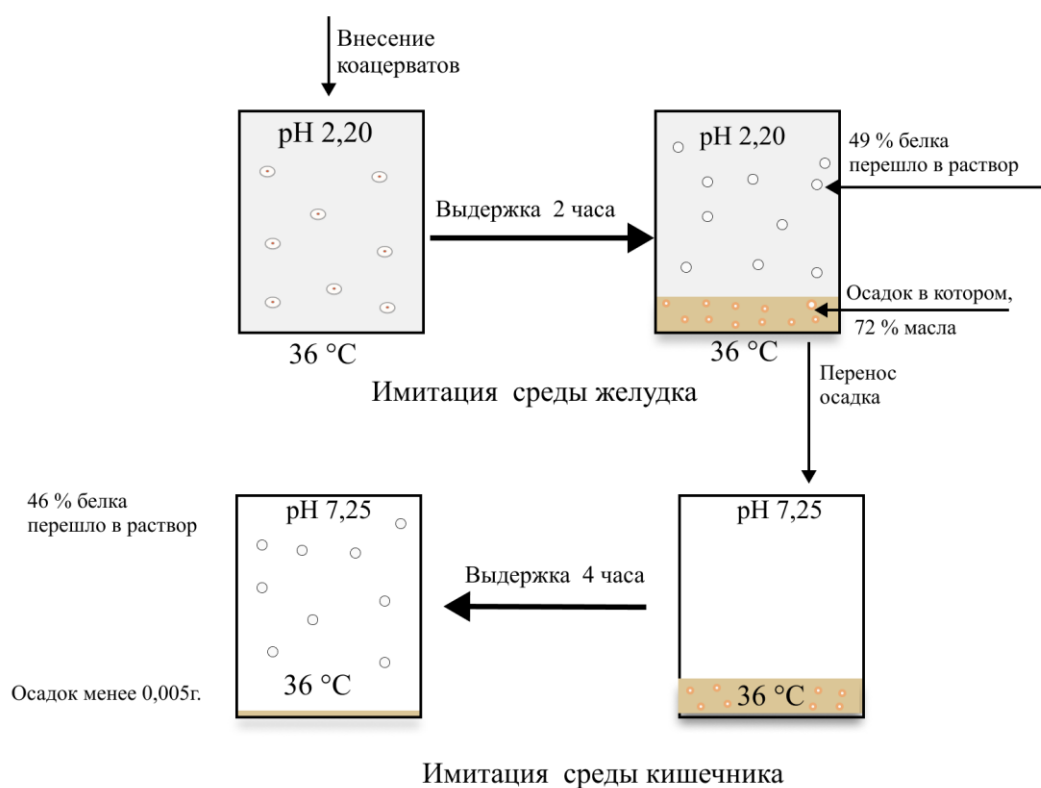


Рисунок 3.2.8 – Содержание белка, перешедшего в раствор, и сохранность липидной фракции комплекса (СО₂-экстракта) в ходе ступенчатого растворения коацерватов

На основе анализа полученных данных установлено, что выбранная комбинация – белок 2,0 %, СО₂-экстракт 2,5 %, хитозан 0,5 % – является рациональной, так как ядро супрамолекулярного комплекса сохраняется на 72 % после выдержки при pH 2,2, при этом практически полностью растворяется на следующей стадии при pH 7,5, что свидетельствует о том, что биоактивные фитонутриенты сохраняются в агрессивной среде желудка и проявляют биодоступность в кишечнике.

Таким образом, при разработке супрамолекулярных комплексов важно учитывать природу ядра и его влияние на общий pH системы. Применение СО₂-

экстрактов возможно только при отсутствии влияния на pH системы агента, используемого для инкапсуляции. При конструировании системы биополимеров, выполняющих заданные функции, следует ориентироваться на показатель эффективности коацервации. Эффективность коацервации экстрактов зависит от нескольких факторов: концентрации CO₂-экстракта, концентрации белка и скорости гомогенизации. Совокупность данных факторов также влияет на размер и сохранность липидной части полученных коацерватов. Установлено оптимальное соотношение капсулируемого биологически активного вещества и белка (2,5 и 2,0 % соответственно). Результаты, выявленные в тесте на растворимость при различных значениях pH, подтверждают защитные свойства хитозановой оболочки, что свидетельствует о сохранности ядра (флюидного экстракта) в агрессивной среде желудка и повышении его биодоступности для организма.

3.3 Создание эмульсионных систем на основе CO₂-экстрактов *Zingiber officinale*

Биологически активные вещества *Zingiber officinale* обладают потенциалом для использования в пищевой индустрии в качестве функциональных ингредиентов. Результаты, полученные в п. 3.2.1, демонстрируют, что создание супрамолекулярных систем на основе экстракта *Zingiber officinale* не представляется возможным. Кроме того, важно учитывать тот факт, что CO₂-экстракты представляют собой жирорастворимые системы. Преодолеть данные ограничения возможно посредством создания водорастворимых эмульсий – гетерогенных дисперсных систем, формирующихся из несмешивающихся жидкостей. Для стабилизации таких систем обычно применяются поверхностно-активные вещества (ПАВ) [60]. В настоящее время перспективным направлением является создание микроэмульсий – термодинамически стабильных дисперсий,

характеризующихся чрезвычайно малым размером частиц дисперсной фазы (от 5 до 200 нм) [43], что обеспечивает повышенную стабильность конечного продукта, являясь ключевым технологическим преимуществом. Процесс эмульгирования может осуществляться различными методами, наиболее распространенным из которых является гомогенизация, часто в комбинации с использованием поверхностно-активных веществ [59, 97].

Для формирования эмульсий типа «Масло в воде» на основе разных образцов CO_2 -экстрактов *Zingiber officinale* использовали метод гомогенизации системы. Для гомогенизации системы в качестве эмульгатора применяли поверхностно-активные вещества (ПАВ). В качестве стабилизатора системы был 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 CO_2 -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 (рис. 3.3.1а).

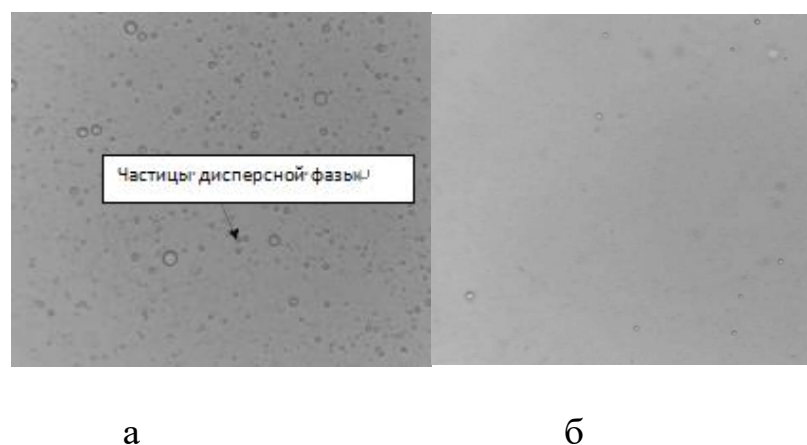


Рисунок 3.3.1 – Микроскопическая картина полученных эмульсий: а – дозировка ПАВ в количестве 2 % от объема дисперсионной среды; б – соотношение ПАВ и CO_2 -экстракта 1:1 (образец №3, табл. 3.3.1)

Создание стабильных эмульсионных систем на основе CO₂-экстрактов *Zingiber officinale* возможно при использовании образца № 3 (табл. 3.3.1). Стабильность получаемых систем можно объяснить наличием большего количества легколетучих компонентов, которые характеризуются меньшим поверхностным натяжением.

Таблица 3.3.1 – Сравнительная оценка зависимости состава эмульсий на основе CO₂-экстрактов *Zingiber officinale* их продолжительности стабильности

№ образца CO ₂ экстаркта	ПАВ	Доля ПАВ, %	Стабильность эмульсий, сутки
1	Твин-20	5	2
2	Твин-20	5	2
3	Твин-20	5	7

Формирование эмульсий типа «масло в воде» с использованием продуктов, полученных методом сверхкритической флюидной экстракции, возможно при применении поверхностно-активного вещества Твин-20. Оптимальное соотношение ПАВ к дисперсной фазе установлено равным 1:1. Важно отметить, что стабильность эмульсии достигается при использовании фракции экстракта, выделенной при давлении 30 МПа. Экстракты *Zingiber officinale*, полученные посредством сверхкритической CO₂-экстракции, представляют собой ценный функциональный компонент для разработки специализированных продуктов. Создание водорастворимых эмульсий на их основе открывает новые возможности для расширения областей применения продуктов флюидной экстракции.

ГЛАВА 4. ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

4.1 Обоснование формы разрабатываемых напитков

Основным потребительским преимуществом таблетированных напитков является их компактность и удобство потребления, что отвечает запросам потребителей, ведущих активный образ жизни и нуждающихся в быстром восполнении жидкости или нутриентов. С технологической точки зрения таблетирование способствует увеличению срока годности продукта за счет минимизации окислительной и микробиологической порчи, вызываемой воздействием кислорода, света и влаги. Данный фактор имеет критическое значение для сохранения активности биокомпонентов.

Значительную долю на российском рынке ферментированных функциональных напитков занимают кисломолочные продукты, получаемые путем ферментации молока штаммами молочнокислых бактерий (*Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Leuconostoc*). Технологические аспекты их производства подробно рассмотрены в работах ряда авторов [34, 69, 82]. Для ферментации напитков также могут применяться культуры дрожжей (*Saccharomyces cerevisiae* и др.). В рецептурах в качестве вкусо-ароматических добавок используются водные экстракты сушеных ягод и / или пряно-ароматических растений в различных соотношениях.

Тренд на натуральность и чистоту состава, выражающийся в спросе на продукты без дополнительных технологических добавок, создает благоприятные условия для развития сегмента ферментированных напитков, поскольку их производство основано на использовании натурального сырья и естественных биохимических процессов. Современные технологии ферментации обеспечивают точный контроль над процессом, стабильность качества готового продукта и возможность создания новых вкусовых профилей.

Таким образом, разработка ферментированных безалкогольных напитков представляет собой перспективное направление для российской пищевой промышленности, соответствующее глобальным трендам здорового питания, способствующее импортозамещению и открывающее возможности для технологических и маркетинговых решений. Учитывая устойчивый рост потребительского спроса на продукты с доказанной функциональной пользой, можно прогнозировать дальнейший рост данного сегмента и диверсификацию его ассортимента.

На основании вышеизложенного и с учетом результатов, полученных в главе 3, было принято решение о применении двух форм напитков: таблетированной (сухой концентрат) с использованием супрамолекулярной субстанции экстрактов *Coriandrum sativum* L. и *Nigella sativa* L., а также жидкой (ферментированный напиток) с использованием эмульсионной субстанции экстракта *Zingiber officinale*.

4.2.1. Разработка технологии таблетированного напитка с супрамолекулярными комплексами CO₂-экстрактов

В ходе разработки рецептур использовались следующие основные компоненты: сухие соки (малиновый, облепиховый), сублимированные порошки моркови и черной смородины, супрамолекулярные комплексы на основе CO₂-экстрактов *Coriandrum sativum* L. и *Nigella sativa* L., CO₂-шрот *Zingiber officinale*, сахарная пудра, а также вспомогательные ингредиенты (лимонная кислота, гидрокарбонат натрия, микрокристаллическая целлюлоза).

Рецептуры серии опытных образцов представлены в таблице 4.2.1. Профилограммы органолептических показателей образцов напитков приведены на рисунке 4.2.1.

Органолептическую оценку образцов напитков проводили с применением упрощенной балльной шкалы (с максимальным значением дескриптора, равным 3 балла) с привлечением 10 дегустаторов из числа квалифицированных специалистов кафедры технологии продуктов питания из растительного сырья ФГБОУ ВО «КемГУ» (г. Кемерово, Россия).

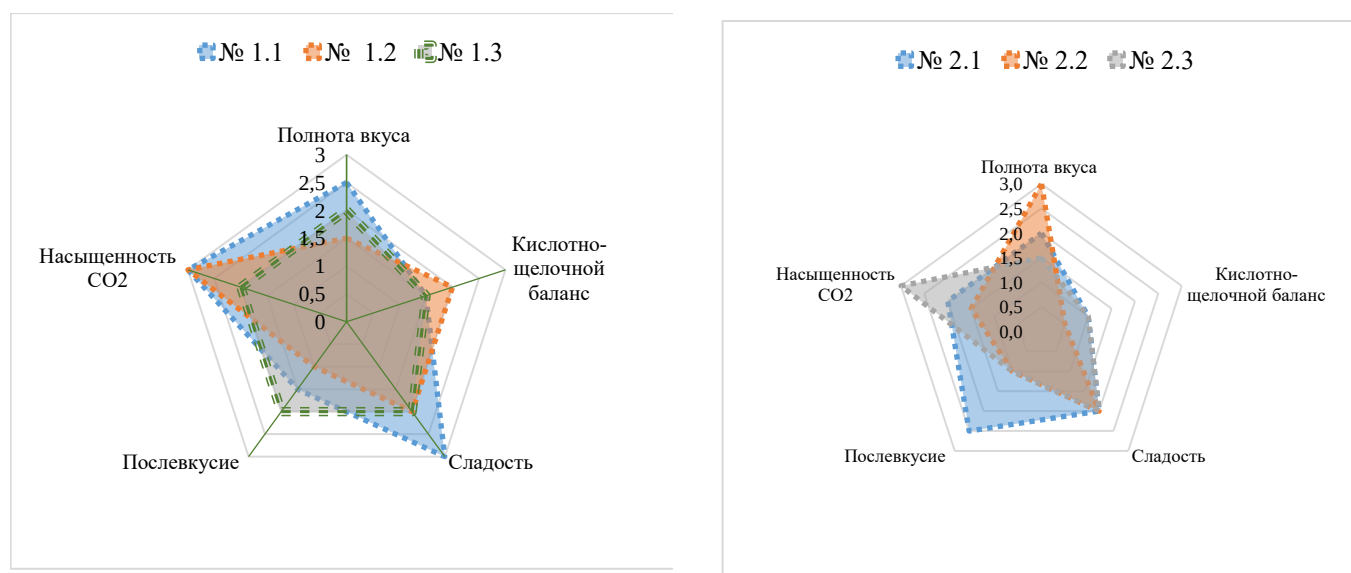


Рисунок 4.2.1– Профилограммы полученных образцов таблетированных напитков

При разработке рецептуры учитывались не только органолептические характеристики, но и содержание функциональных компонентов в соответствии с нормативными документами (ГОСТ Р 56543-2015 «Напитки функциональные. Общие технические условия», МР 2.3.1.0253-21 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации»).

Для расчета физиологической ценности была выбрана II группа физической активности (КФА = 1,6) – работники, занятые легким трудом. Норма калорийности суточного рациона для данной группы принята равной 2000 ккал, поскольку она является наиболее многочисленной.

Функциональные свойства разрабатываемых напитков обеспечиваются за счет следующих компонентов. Для напитков, содержащих супрамолекулярные комплексы на основе *Nigella sativa* L., учитывалось содержание тимохинона, обладающего антиоксидантным эффектом, сопоставимым с действием убихинона (коэнзима Q10).

Норма потребления для взрослых составляет 30 мг/сутки [49]. Для обеспечения 15 % от суточной нормы напиток должен содержать 4,5 мг тимохинона. В составе используемого экстракта тимохинон составляет 18 % от общей массы компонентов (образцы 1.1–1.3 в таблице 4.2.3).

Для напитков, содержащих супрамолекулярные комплексы *Coriandrum sativum* L., за критерий функциональности принимали содержание жирных кислот. Физиологическая потребность в мононенасыщенных жирных кислотах (МНЖК) для взрослых составляет 10 % [49] от калорийности суточного рациона (200 ккал), что эквивалентно 22,2 г.

Для обеспечения 15 % от суточной потребности необходимое содержание должно составлять не менее 3,3 г. Указанное количество обеспечивается содержанием в рецептуре CO₂-экстракта *Coriandrum sativum* L., входящего в состав супрамолекулярных комплексов и содержащего до 30,7 % МНЖК.

На основании органолептических профилей были выбраны образцы под номерами 1.3 и 2.1, так как они обладали максимальной балльной оценкой. Рецептура напитков представлена в таблицах 4.2.4 и 4.2.5.

Таблица 4.2.4 – Процентное соотношение компонентов в напитках, содержащих супрамолекулярные комплексы *Coriandrum sativum* L. и *Nigella sativa* L.

Компонент	№ образца					
	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3
	Норма внесения, %					
Сахарная пудра	64,10	53,90	50,00	43,00	44,00	45,50
Сок малиновый (сухой концентрированный)	15,00	15,50	23,50	–	–	–
Сок облепихи (сухой концентрированный)	–	–	–	24,00	20,00	15,00
Сублимационный порошок черной смородины	5,00	10,00	10,00	–	–	–
Сублимационный порошок моркови	–	–	–	15,40	10,00	15,00
Лимонная кислота	10,00	5,00	10,00	10,00	5,00	12,80
Гидрокарбонат натрия	5,00	15,00	6,50	5,00	15,00	5,00
Микрокристаллическая целлюлоза	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Супрамолекулярный комплекс на основе CO ₂ -экстракта <i>Nigella sativa</i> L.	0,50**	0,50**	0,50**	–	–	–
Супрамолекулярный комплекс на основе CO ₂ -экстракта <i>Coriandrum sativum</i> L.,	–	–	–	6,60*	6,60*	6,60*
CO ₂ -шрот <i>Zingiber officinale</i>	–	–	–	2,50	6,00	–
Итого	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

* – норма внесения соответствует 15 % (3,3 г) от суточной нормы потребления мононенасыщенных жирных кислот (МНЖК); ** – норма внесения соответствует 52 % (15,5 мг тимохинона) от суточной нормы потребления убихинона (коэнзима Q10).

Таблица 4.2.5 – Рецепт готового напитка с супрамолекулярными комплексами *Coriandrum sativum* L. (на 100 кг) (образец 2.1)

Компонент	Ед. изм.	Количество	Массовая доля сухих веществ, %
Сахарная пудра	кг	43,00	99,50
Сок малиновый (сухой концентрат)	кг	24,00	95,00
Сок облепихи (сухой концентрат)	кг	15,40	95,00
Сублимационный порошок моркови	кг	10,00	95,00
Лимонная кислота	кг	5,00	99,90
Микрокристаллическая целлюлоза	кг	0,10	93,00
Гидрокарбонат натрия	кг	5,00	99,50
Супрамолекулярный комплекс на основе CO ₂ -экстракта <i>Coriandrum sativum</i> L.	кг	6,60	92,00
CO ₂ -шрот <i>Zingiber officinale</i>	кг	2,50	88,00

Таблица 4.2.6 – Рецепт готового напитка с супрамолекулярными комплексами *Nigella sativa* L. (на 100 кг) (образец 1.3)

Компонент	Ед. изм.	Количество	Массовая доля сухих веществ, %
Сахарная пудра	кг	50,00	99,50
Сок малиновый (сухой концентрат)	кг	23,50	95,00
Сок облепихи (сухой концентрат)	кг		95,00
Сублимационный порошок черной смородины	кг	10,00	95,00
Сублимационный порошок моркови	кг		95,00
Лимонная кислота	кг	10,00	99,90
Гидрокарбонат натрия	кг	6,50	99,50
Микрокристаллическая целлюлоза	кг	0,10	93,00
Супрамолекулярный комплекс на основе CO ₂ -экстракта <i>Nigella sativa</i> L.	кг	0,50	93,00

С учетом результатов исследований, представленных в главе 3, была разработана процессуальная схема производства таблетированного напитка, которая представлена на рисунке 4.2.2.

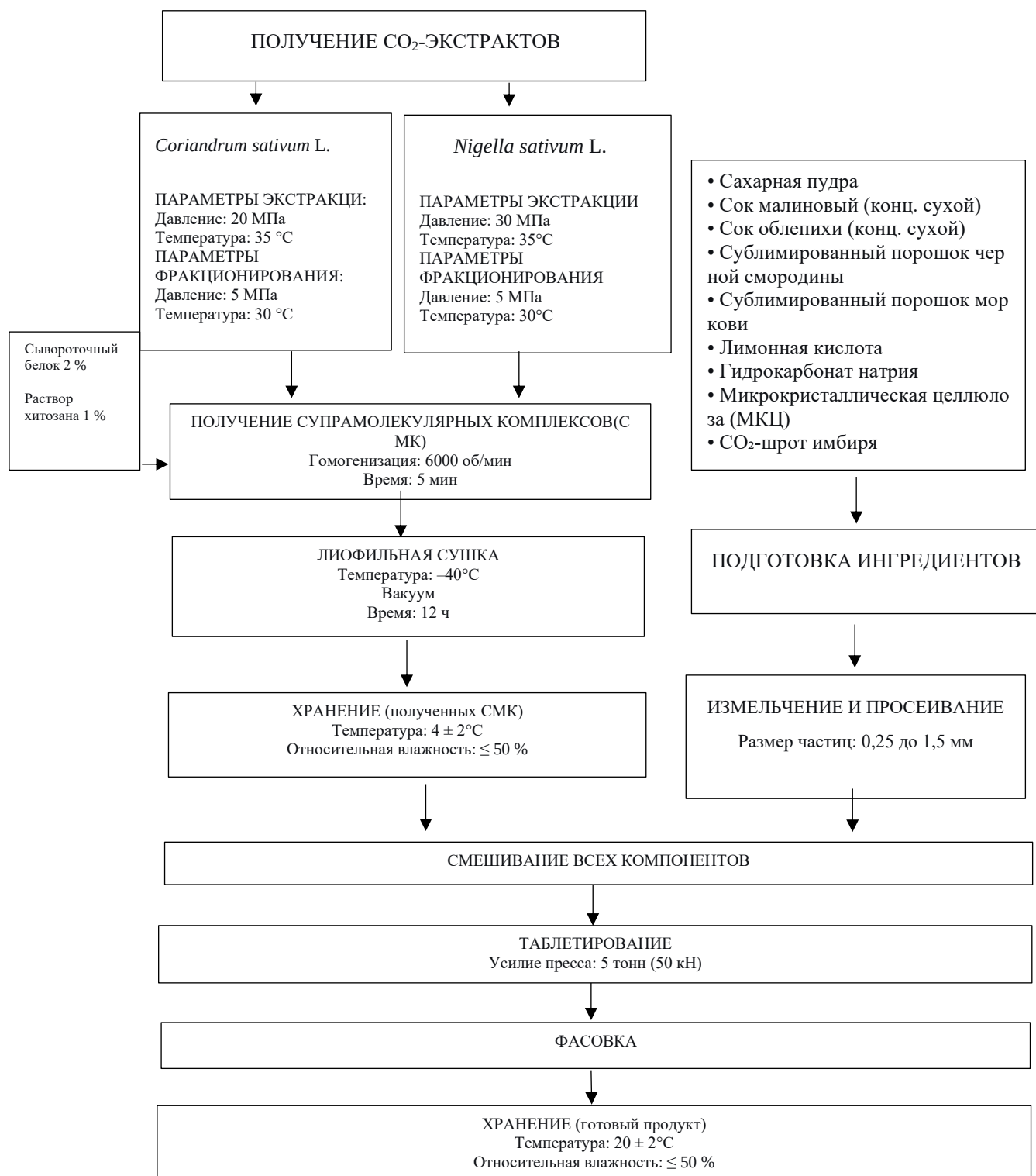


Рисунок 4.2.2 – Процессуальная схема производства таблетированных напитков с супрамолекулярными комплексами CO₂-экстрактов

1 этап:

- получение CO₂-экстрактов *Coriandrum sativum* L., *Nigella sativa* L.;
- получение супрамолекулярных комплексов на основе CO₂-экстрактов *Coriandrum sativum* L. и *Nigella sativa* L.

Процесс включает в себя непосредственное формирование коацерватов на основе сывороточного белка, хитозана и CO₂-экстрактов *Coriandrum sativum* L., *Nigella sativa* L. Коацерваты подвергают лиофильной сушке и отправляют на хранение для дальнейшего использования в технологическом процессе.

2 этап:

- подготовка ингредиентов для последующего таблетирования: измельчение (сублимированных порошков черной смородины и моркови до размера частиц $2,0 \pm 0,02$ мм) и просеивание всех рецептурных компонентов согласно рецептуре;
- смешивание компонентов;
- таблетирование при усилии пресса 5 т. Диаметр таблетки: 20 ± 2 мм, высота таблетки: 6 ± 2 мм.

Площадь таблетки рассчитывается по формуле (4):

$$S = \pi \times r^2 \quad (4)$$

где π – математическая константа (3,14); r^2 – радиус окружности.

$$S = 3,14 \times 1^2 = 3,14 \text{ (см}^2\text{)}$$

Удельное давление (кгс/см²) рассчитывается по формуле (5):

$$P = \frac{F}{S}, \quad (5)$$

где F – приложенная сила (кгс); S – площадь поверхности, см².

$$P = 5\,000 \text{ кгс} / 3,14 \times 1^2 = 1,60 \text{ (кгс/см}^2\text{)}$$

Фасовка продукции происходит в тубы (рис. 4.2.3) – компактную современную упаковку для хранения и транспортировки продуктов, выпускаемых в виде шипучих таблеток. Контейнер оснащен влагонепроницаемой пробкой, препятствующей порче продукции. Спиралевидная конструкция крышки надежно защищает содержимое от механического воздействия. Туба имеет кольцо контроля вскрытия.



Рисунок 4.2.3 – Визуализация упаковки – туба для шипучих таблеток

Физико-химические и органолептические показатели концентратов для безалкогольных напитков должны соответствовать ГОСТ 34144-2017. Данные представлены в таблице 4.2.7.

Микробиологическую оценку проводили согласно ГОСТ 30712-2001 методом прямого посева на питательные среды. Результаты представлены в таблицах 4.2.8 и 4.2.9.

Таблица 4.2.7 – Физико-химические и органолептические показатели
таблетированных напитков

Показатель	Норма по ГОСТ 34144-2017	Полученный результат образец 1.3	Полученный результат образец 2.1
Кислотность (после разведения водой в соотношении, предусмотренном технологической инструкцией), см ³ раствора NaOH концентрацией 1,0 моль/дм ³ на 100 см ³ продукта	Не более $10 \pm 0,5$	$4,6 \pm 0,5$	$5,2 \pm 0,5$
Массовая доля сухих веществ, %	В соответствии с рецептурой	96,25	96,00
Органолептические показатели			
Внешний вид	Таблетки правильной круглой формы с относительно шероховатой поверхностью, диаметром 20 ± 2 мм, высотой 6 ± 2 мм и массой $2,0 \pm 0,2$ г.	Соответствует ГОСТ	Соответствует ГОСТ
Вкус и запах	Свойственный вкусу и запаху используемого сырья и пищевых ингредиентов (согласно рецептуре), без посторонних вкусов и запахов	Соответствует ГОСТ	Соответствует ГОСТ
Цвет	Обусловленный цветом добавленных пищевых ингредиентов согласно рецептуре, равномерный по всей массе	Соответствует ГОСТ	Соответствует ГОСТ

Таблица 4.2.8 – Оценка микробиологических показателей таблетированных напитков (образец 1.3)

Показатель	Нормативные требования ТР ТС 021/2011	Исходный образец	После вскрытия упаковки				В упакованном виде		
			12 ч	24 ч	48 ч	72 ч	6 мес.	12 мес.	14 мес.
Количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ), КОЕ/100 см ³ , не более	5×10 ⁴	1×10 ⁴	1×10 ⁴	1×10 ⁴	2×10 ⁴	2×10 ⁴	1×10 ⁴	1×10 ⁴	1×10 ⁴
Бактерии группы кишечных палочек (БГКП), не допускаются в массе продукта, г/см ³	1,0	не обнаружено							
Дрожжи и плесени (в сумме), КОЕ/100 см ³ , не более	10	2	2	2	4	5	2	2	2

Таблица 4.2.9 – Оценка микробиологических показателей таблетированных напитков (образец 2.1)

Показатель	Нормативное требование (ТР ТС 021/2011)	Исходный образец	После вскрытия упаковки				В упакованном виде		
			12 ч	24 ч	48 ч	72 ч	6 мес.	12 мес.	14 мес.
Количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ), КОЕ/100 см ³ , не более	5×10 ⁴	2 ×10 ⁴	2 ×10 ⁴	2×10 ⁴	4×10 ⁴	4×10 ⁴	2×10 ⁴	2×10 ⁴	2×10 ⁴
Бактерии группы кишечных палочек (БГКП), не допускаются в массе продукта, г/см ³	1,0	не обнаружено							
Дрожжи и плесени (в сумме), КОЕ/100 см ³ , не более	10	2	2	4	6	6	2	2	2

Разработанные напитки соответствуют физико-химическим показателям, представленным в ГОСТ 34144-2017. 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, сохраняя при этом микробиологическую безопасность на уровне, регламентируемом ТР. ТС. 021/2011.

Сроки исследования продуктов превышали предполагаемый срок годности на время, определяемое коэффициентом резерва. Для разработанных напитков коэффициент резерва составляет 1,15.

В рамках данного диссертационного исследования непосредственное определение содержания токсичных элементов в готовом напитке не предусматривалось. Данное решение обусловлено тем, что потенциальным источником токсичных элементов может являться исключительно сырье, используемое в производстве. При этом вся используемая сырьевая база соответствует требованиям безопасности, что подтверждено сертификатами качества, предоставляемыми производителем, и гарантирует соответствие сырья установленным нормам по содержанию вредных веществ.

Расчет физиологической ценности для II группы физической активности (низкая; КФА = 1,6) [49] представлен в таблице 4.2.10.

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 Приложение Г.

Проведены производственные испытания технологии и выработки опытной партии продукта на ООО «АЛТАЙ-СЕЛИГОР» (г. Бийск, Россия). Акт промышленной апробации технического решения представлен в Приложении Д.

Таблица 4.2.10 – Физиологическая ценность таблетированных напитков (на 100 г продукта)

Показатель	Значение, на 100 г		% от рекомендуемой суточной потребности (РСП)	
	Образец 1.3	Образец 2.1	Образец 1.3	Образец 2.1
Белки, г	1,88	1,50	7,00	5,60
Углеводы, г	68,21	47,53	43,00	36,00
Жиры, г	0,75	4,00	2,30	2,30
Пищевые волокна, г	3,34	4,00	25,00	21,70
Тимохинон, мг	15,50	–	52,00*	–
Мононенасыщенные жирные кислоты, г	–	3,30	–	15,00
Энергетическая ценность, ккал	282,97	240,12	22,00	20,50

* – за сравнительный эталон принято содержание убихинона (коэнзима Q10). Процент от РСП для тимохинона рассчитан относительно рекомендуемого уровня потребления коэнзима Q10 (30 мг/сут) в соответствии с методологией сравнительной оценки физиологически функциональных ингредиентов.

4.2.2 Разработка технологии безалкогольного напитка брожения, содержащего эмульсионный комплекс CO₂-экстракта *Zingiber officinale*

В качестве исследуемых основ для сбраживания были выбраны три вида концентрированных соков: черной смородины, яблока и вишни. В ходе предварительных исследований для каждой соковой основы были определены физико-химические показатели (общая и активная кислотность, аминный азот, содержание сухих веществ и содержание глюкозы) в зависимости от различных коэффициентов разбавления (1:4, 1:8, 1:12). Учитывая низкое содержание аминного азота, было принято решение о применении дрожжевой подкормки.

В ходе диссертационного исследования использовалась дрожжевая подкормка FERMAID E (Lallemand, Швейцария). Это комплексная подкормка, содержащая необходимые элементы:

- органический азот (аминокислоты, пептиды) - факторы сопротивляемости стрессовым условиям;
- диаммонийфосфат, обогащающий среду азотистыми веществами;
- сульфат аммония, необходимый для размножения (роста популяции) дрожжей;
- тиамин - витамин, обеспечивающий равномерный рост дрожжей и улучшающий их выживаемость.

Дрожжевую подкормку вносили согласно инструкции производителя в количестве 3,0–4,0 г/дал.

Для проведения процесса ферментации был выбран штамм безалкогольных пивных дрожжей A01 (Fermentic, Дания), характеризующийся сниженной бродильной активностью и минимальным образованием этанола в продуктах брожения.

Для процесса ферментации, помимо качественного состава субстрата, большое значение имеет физиологическое состояние исходной дрожжевой культуры. Результаты анализа представлены в таблице 4.2.11.

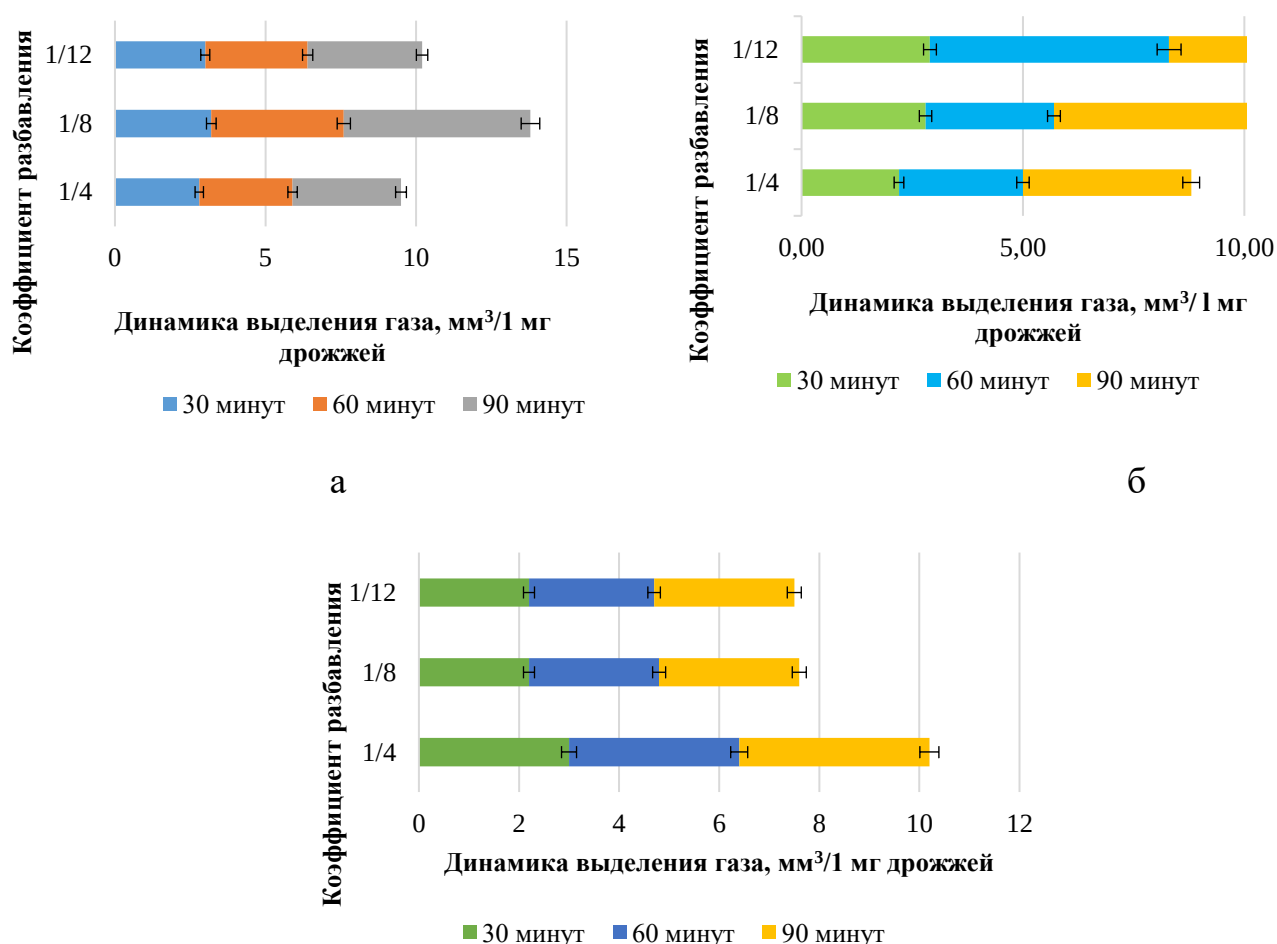
Таблица 4.2.11 – Физиологические характеристики дрожжевой культуры

Показатель	Единица измерения	Значение
Общее количество клеток	млн/см ³	440,00
Число почкующихся клеток	%	13,06
Число мертвых клеток	%	3,40
Упитанность по гликогену	%	17,32

Как видно из представленных данных, дрожжевая культура имеет сниженное значение по содержанию гликогена в клетках, что может быть связано с нарушением условий хранения на этапах хранения и транспортировки. Поэтому

было принято решение предварительно провести стадию регидратации в слабом растворе сахарозы (5%), что позволило повысить данный показатель до 25%. По остальным показателям дрожжевая культура соответствует технологическим требованиям [44]. В работе на основании предварительно проведенных экспериментов была принята дозировка дрожжевой суспензии 40 млн кл./см³.

Для определения наиболее подходящей соковой основы для проведения ферментации для каждого вида сока была оценена кинетика сбраживания манометрическим методом Варбурга. Данные представлены на рисунке 4.2.4.



В

Рисунок 4.2.4 –Динамика сбраживания различных соковых основ:

а – соковая основа вишня; б – соковая основа яблоко; в – соковая основа черная смородина

Основываясь на полученных результатах, для дальнейших исследований была принята яблочная соковая основа при коэффициенте разбавления 1:8. Для определения оптимальных технологических параметров производства, при которых содержание этанола, образующегося в результате сбраживания сахаров дрожжами, не превышало бы 0,5% (об.) в соответствии с ГОСТ 28188-2014 [18], была проведена серия экспериментов по установлению температурного режима и продолжительности процесса ферментации. В ходе опытов исследовали три температурных режима: 15, 20 и 25 °С, а также различную длительность брожения — 1, 2 и 4 суток. Результаты представлены на рисунке 4.2.5.

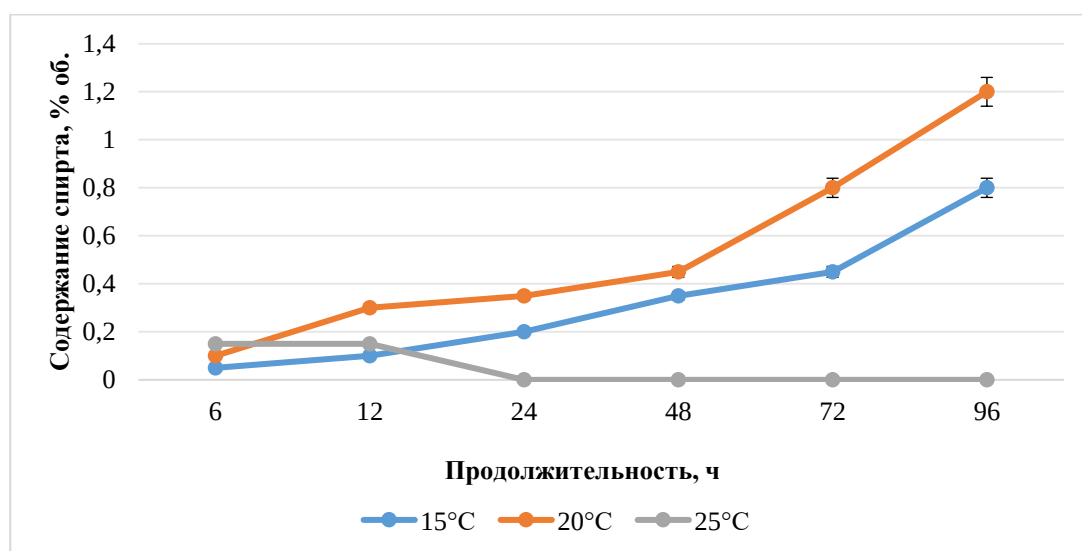


Рисунок 4.2.5 – Динамика накопления спирта в зависимости от температуры ферментации, % об.

В результате были определены следующие рациональные условия брожения: температура 20 °С, длительность брожения – 48 часов.

Далее была разработана процессуальная схема производства напитка с использованием эмульсионной формы CO₂-экстракта *Zingiber officinale* (рис. 4.2.6).

Технологически процесс происходит в несколько этапов:

1. Подготовка соковой основы. Смешивание концентрированного яблочного сока (80 % от рецептурного объема) с подготовленной водой в

соотношении 1:8 с последующей термообработкой: кипячение в течение 10 мин и охлаждение до температуры 20 °С. Внесение в охлажденную основу дрожжевой подкормки FERMAID E из расчета 10 г/дм³ субстрата;

2. Ферментация соковой основы. Ферментацию ведут в течение 48 часов при температуре 20 °С с использованием пивных дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* штамм A01 с инокуляцией 40×10^6 клеток/см³. По окончании процесса ферментированную соковую основу подвергают ступенчатому охлаждению до 4 ± 2 °С со скоростью 1 °С/мин.

3. Купажирование и выдержка напитка. В охлажденную ферментированную основу вносят оставшуюся часть концентрированного яблочного сока (20 % от рецептурного объема) и эмульсию СО₂-экстракта *Zingiber officinale*. Выдержка полученного купажа происходит при температуре 1–2 °С в течение 7 суток для формирования органолептического профиля напитка. Далее в готовый купаж вносят консервант – сорбат калия для обеспечения микробиологической стабильности продукта, после чего производится выдержка в течение 2 часов и розлив готового продукта.

На основании проведенных микробиологических исследований (табл. 4.2.12) установлен срок годности напитка: в упакованном виде – 6 месяцев, после вскрытия упаковки — 48 ч при температуре 4 ± 2 °С. Сроки исследования продуктов превышали предполагаемый срок годности на время, определяемое коэффициентом резерва. Для разработанного напитка коэффициент резерва составляет 1,15.

Физико-химические и органолептические показатели разработанного напитка (табл. 4.2.12) соответствуют требованиям ГОСТ 28188-2014 «Напитки безалкогольные. Общие технические условия».

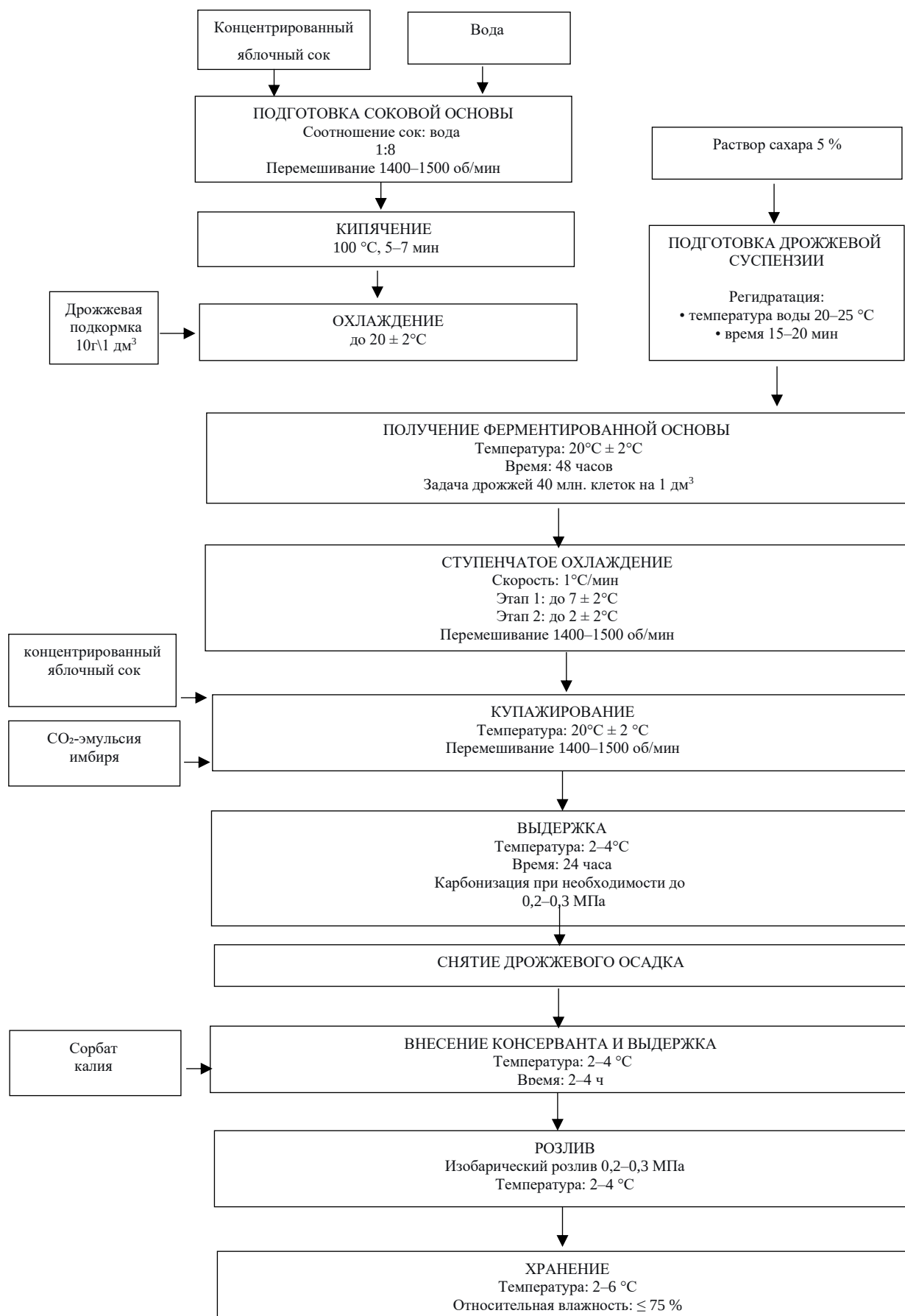


Рисунок 4.2.6 — Процессуальная схема производства безалкогольного напитка с эмульсионной формой СО₂-экстракта *Zingiber officinale*

Таблица 4.2.12 – Микробиологическая оценка безалкогольного напитка с CO₂-экстрактом *Zingiber officinale*

Показатель	Требования (ТР ТС 021/2011)	Исходный образец	Продолжительность хранения						
			После вскрытия упаковки				В упакованном виде		
			12 ч	24 ч	48 ч	72 ч	1 мес.	3 мес.	6 мес.
Количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ), КОЕ/100 см ³ , не более	100 (напитки безалкогольные)	5	5	10	25	40	4	21	60
Бактерии группы кишечных палочек (БГКП), не допускаются в массе продукта, г/см ³	100	не обнаружено							
Дрожжи и плесени (в сумме), КОЕ/100 см ³ , не более	40	2	5	10	32	50	10	22	38

Таблица 4.2.16 – Физико-химические и органолептические показатели безалкогольного напитка с CO₂-экстрактом *Zingiber officinale*

Показатель	Значение показателя	
	ГОСТ 28188-2014	Разработанный напиток
1	2	3
Физико-химические показатели		
Массовая доля сухих веществ, %	В соответствии с рецептурой	7,50

Продолжение таблицы 4.2.16

1	2	3
Объемная доля этилового спирта, %, не более	0,50	$0,40 \pm 0,10$
Кислотность, см ³ раствора гидроокиси натрия (NaOH) концентрацией 1,0 моль/дм ³ на 100 см ³	В соответствии с рецептурой	$4,00 \pm 0,10$
Массовая доля двуокиси углерода*, %, не менее: — для сильногазированных — для среднегазированных — для слабогазированных	0,40 0,30 0,20	$0,25 \pm 0,05$
Органолептические показатели		
Внешний вид	Непрозрачная жидкость. Допускается осадок, обусловленный особенностями используемого сырья, без посторонних включений, не свойственных продукту	Соответствует
Вкус и запах	Освежающий вкус и аромат сброженного напитка, соответствующий вкусу и аромату используемого сырья. Допускаются дрожжевые привкус и аромат	Соответствует
Цвет	Обусловленный цветом добавленных пищевых ингредиентов согласно рецептуре	Соответствует
Кислотность, см ³ раствора гидроокиси натрия (NaOH) концентрацией 1,0 моль/дм ³ на 100 см ³	В соответствии с рецептурой	$4,00 \pm 0,10$

* — Значение массовой доли двуокиси углерода соответствует категории слабогазированных напитков.

Разработанный напиток позиционируется как обогащенный согласно терминологии ГОСТ Р 52349-2005 «Продукты пищевые функциональные». Функциональным ингредиентом напитка является эмульсия СО₂-экстракта *Zingiber officinale*, содержащая в своем составе вещества терпенового ряда. Эффективное влияние этих фитонутриентов на организм доказано большим числом публикаций [18, 51, 80]. Пищевая и энергетическая ценность разработанного напитка представлена в таблице 4.2.17.

Таблица 4.2.17 – Пищевая ценность ферментированного напитка с эмульсией СО₂-экстракта *Zingiber officinale*

Показатель	Значение на 100 см ³	% от РСП
Белки, г	0,18	0,36
Углеводы, г	20,40	8,16
Жиры, г	0,10	0,14
Пищевые волокна, г	2,40	9,60
Биологически активные вещества (терпенового ряда), г	0,10	не нормируется
Энергетическая ценность, ккал	159,30	7,90

На основании комплексного анализа полученных результатов разработан комплект технической документации: технические условия (ТУ) и технологическая инструкция (ТИ) 11.07-304-02068309-2026 на напиток безалкогольный ферментированный с СО₂-экстрактом имбиря (Приложение Е). , также получен патент (Приложение К).

Проведены производственные испытания технологии и наработка опытной партии продукта на ООО «Мануфактура» (г. Кемерово, Россия). Акт промышленной апробации технического решения представлен в Приложении Ж.

4.3 Оценка экономической целесообразности внедрения напитков, содержащих супрамолекулярные и эмульсионные комплексы CO₂-экстрактов

Разработанная технология производства новых напитков, включающая как таблетированные формы, так и ферментированные напитки, представляется экономически целесообразной для внедрения на профильных предприятиях. Данное решение обусловлено наличием части необходимого оборудования и сырья на предприятиях, что существенно снижает инвестиционные затраты.

Себестоимость новых напитков формируется на основе стандартной калькуляции, обобщенной по пяти основным элементам затрат:

- материальные затраты – включают стоимость сырья, материалов и отдельных единиц оборудования, необходимых для производства каждого вида напитков (табл. 4.3.1);
- заработная плата сотрудников с учетом всех страховых взносов (30,2 %);
- амортизация основного оборудования (рассчитывается линейным методом исходя из стоимости оборудования и срока его полезного использования);
- прочие затраты, возникающие в процессе производства.

Расчет основных экономических показателей производили на основании производственной возможности и выпуска партии в количестве начальных 5 % от общего ассортимента.

Для таблетированных напитков производственная мощность составила 10 тыс. таблеток в день (220 тыс. таблеток в месяц). За одну производственную единицу продукции принята 1 таблетка. Расчет представлен для одного наименования; для второй рецептуры расчет вели аналогично. Данные представлены в сводных таблицах 4.3.1–4.3.7.

Для ферментированного напитка принята производственная мощность – 80 тыс. дал в год. За одну производственную единицу продукции принят 1 литр продукта.

Таблица 4.3.1 – Материальные (сырьевые) затраты на производство готового таблетированного напитка с супрамолекулярным комплексом на основе CO₂-экстракта *Nigella sativa* L.

Рецептурный компонент	Ед. изм.	Количество	Цена за 1 кг, руб.	Цена за рецептурное количество, руб.
Сахарная пудра	кг	49,00	55,00	2 695,00
Сок малиновый (сухой концентрат)	кг	23,40	850,00	19 890,00
Сублимационный порошок черной смородины	кг	10,0	2 000,00	20 000,00
Лимонная кислота	кг	10,00	60,00	600,00
Гидрокарбонат натрия	кг	6,50	60,00	390,00
Микрокристаллическая целлюлоза	кг	0,10	500,00	50,00
Супрамолекулярный комплекс на основе CO ₂ -экстракта <i>Nigella sativa</i> L.	кг	0,50	30 000,00	15 000,00
Итого сырьевые затраты				58 625,00
Упаковка и этикетка (10 % от сырьевой стоимости)				5 862,50
Всего затрат, руб.				64 487,50
Затраты на 1 единицу продукции (1 таблетка), руб.				0,29

При объеме производства 220 тыс. таблеток в месяц сырьевая себестоимость в пересчете на одну единицу продукции составит 0,29 руб. Проведенный расчет свидетельствует о низкой сырьевой себестоимости, что, в свою очередь, повышает конкурентоспособность предлагаемой продукции на

рынке. Производство таблетированных напитков предлагается адаптировать под действующее предприятие в Алтайском крае. При расчете фонда оплаты труда (ФОТ) учтено, что часть трудовых функций может быть заложена в должностных инструкциях штатных сотрудников завода, соответственно, их заработная плата распределяется на несколько видов продукции.

Самым дорогостоящим этапом является «Получение активных компонентов» за счет применения специального оборудования. Если приобретать готовую субстанцию (супрамолекулярные комплексы) в качестве готового ингредиента, то затраты на оборудование снизятся до 63 427 руб. (или 0,3 руб. на единицу продукции), что является экономически целесообразным. Поэтому принято решение дальнейшие расчеты вести с учетом данного факта.

Таблица 4.3.2 – Расчет оплаты труда по производству таблетированного напитка

Количество человек (чел.)/ставка	Должность	Зарплата руб./мес.	ФОТ (зарплата + 30,2 % взносов), руб./мес.	Общий ФОТ по должности, руб./мес.
1/0,25	Мастер-технолог/Начальник участка	55 000	71 610	71 610
1/1,0	Оператор таблеточного прессы (аппаратчик)	45 000	58 590	58 590
1/1,0	Оператор смесительного участка (купажист)	40 000	52 080	52 080
1/1,0	Упаковщик/Контролер ОТК на линии	35 000	45 570	45 570
Итого ФОТ основным производственным сотрудникам				227 850
Доля общезаводского персонала (оценка ~ 8 % от прямого ФОТ)				18 228
Общий ежемесячный ФОТ				246 078
ФОТ на 1 таблетку (при объеме 220 тыс. шт./мес.), руб.				1,12

ФОТ – фонд оплаты труда; ОТК – отдел технического контроля.

При расчете энергозатрат оборудования, занятого в производстве готового напитка принята стоимость электроэнергии для юридических лиц в Алтайском крае (2026 г.): средний тариф $\approx 6,5$ руб./кВт·ч (с учетом мощности, НДС и пр.).

Таблица 4.3.3 – Расчет линейным способом амортизационных отчислений оборудования, занятого в производстве таблетированного напитка

Технологический этап	Оборудование	Стоимость оборудования, руб.	Срок полезного использования, лет
1	2	3	4
I. Получение активных компонентов			
1.1. Получение CO ₂ -экстрактов	Установка для сверхкритической CO ₂ -экстракции (лабораторно-промышленная, 5 л)	8 500 000,00	10,00
1.2. Получение коацерватов/микроинкапсуляция	Высокоскоростной диспергатор-гомогенизатор (до 10 000 об/мин)	550 000,00	8,00
	Фильтр тонкой очистки (керамические мембраны)	300 000,00	7,00
1.3. Сушка (лиофилизация)	Лиофильная сушильная установка с вакуумной системой (полочная, 5 м ²)	4 200 000,00	12,00
II. Подготовка и производство таблеток			
2.1. Подготовка других ингредиентов	Универсальный измельчитель (мельница) с виброситом	250 000,00	7,00
2.2. Смешивание компонентов	Смеситель-блендер (V не менее 100 л)	400 000,00	9,00

Продолжение таблицы 4.3.3

1	2	3	4
2.3. Таблетирование (основной этап)	Ротационный таблеточный пресс (до 10 000 таб./ч, 16–20 станций)	3 800 000,00	8,00
2.4. Фасовка и упаковка	Автомат для фасовки таблеток в пластиковые тубы с запайкой и этикетировкой	1 900 000,00	9,00

Таблица 4.3.4 – Расчет энергозатрат оборудования, занятого в производстве таблетированного напитка

Технологический этап	Оборудование	Мощность, кВт	Время работы на партию (10 000 шт.), ч	Потребление электроэнер- гии, кВт·ч	Стоимость электроэнергии, руб. (6.5 руб./кВт·ч)
2.1. Подготовка	Универсальный измельчитель	4,0	0,5	2,00	13,00
2.2. Смешивание	Смеситель- блендер	7,5	1,0	7,50	48.75
2.3. Таблетирование	Ротационный таблеточный пресс	5,5	2,0	11,0	71,50
2.4. Фасовка	Автомат для фасовки	4,0	2,5	10,00	65,00
ИТОГО за смену (на 10 000 шт.):		20,0	6,0	30,50	198,25
Затраты на 1 единицу продукции (1 таблетка), руб.					0,0198

Общая себестоимость производства рассчитывается как сумма вышеперечисленных затрат. Затраты на логистику и маркетинг отнесем к прочим затратам производства и примем в размере 20 % от цеховой себестоимости.

Рентабельность продаж рассчитали, взяв за основу отпускную цену предприятия для оптовых клиентов: 100 руб. за единицу товарной продукции (туба – 12 таблеток в упаковке).

Цена выбрана с учетом рыночной стоимости аналогичной продукции (ориентиром служили изотонические напитки в тубах). При необходимости отпускная цена может быть увеличена на 20 % и составит 120 руб. за единицу.

За полную себестоимость единицы товарной продукции (туба, 12 таблеток) принято среднее значение между себестоимостью двух наименований: $(38,54 + 36,69)/2 = 37,62$ руб. за единицу товарной продукции (12 таблеток в тубе)).

Таблица 4.3.5 – Расчет полной себестоимости таблетированных напитков (при мощности 220 000 шт. таблеток в месяц)

Вид затрат	Затраты на 1 единицу продукции, руб.	
	Напиток с СМК <i>Nigella sativa</i> L.	Напиток с СМК <i>Coriandrum sativum</i> L.
Материальные (сырьевые) затраты	0,36	0,29
Фонд оплаты труда	0,78	0,78
Амортизационные отчисления оборудования	0,30	0,30
Энергозатраты	0,02	0,02
Цеховая себестоимость	1,46	1,39
Прочие затраты (20 % от цеховой себестоимости)	0,29	0,28
Полная себестоимость 1 единицы продукции (1 таблетки), руб.	3,21	3,05
Полная себестоимость товарной упаковки (12 таблеток в тубе), руб.	38,54	36,69

Таким образом, при сохранении заданной себестоимости и достижении планового объема производства в 220 000 упаковок в год рентабельность продукта составит 62,38–68,65 %.

Для выхода на безубыточность необходимо произвести и продать 60 867 упаковок. При годовом плане в 220 000 упаковок это составляет 27,7 % от планового объема.

Таблица 4.3.6 – Расчет годовой рентабельности продаж от производства новой разрабатываемой продукции

Вариант 1: Оптовая цена = 100,00 руб./упаковка		
Показатель	Значение (на упаковку)	Годовое значение при реализации 220 000 упаковок
Выручка, руб.	100,00	22 000 000,00
Полная себестоимость, руб.	37,62	8 276 400,00
Прибыль валовая, руб.	62,38	13 723 600,00
Рентабельность продаж, %	62,38	62,38
Вариант 2: Оптовая цена = 120,00 руб./упаковка		
Выручка, руб.	120,00	26 400 000,00
Полная себестоимость, руб.	37,62	8 276 400,00
Прибыль валовая, руб.	82,38	18 123 600,00
Рентабельность продаж, %	68,65	68,65

Разработанный проект выйдет на самоокупаемость примерно за 3,3 месяца с начала работы при условии достижения плановых месячных объемов производства и продаж, что является приемлемым экономическим показателем.

Для второго разрабатываемого напитка произведены экономические расчеты с учетом специфики предприятия ООО «Мануфактура» (г. Кемерово), а также наличия всего необходимого оборудования.

Таблица 4.3.7 – Расчет точки безубыточности производства таблетированных напитков

Показатель	Величина (при оптовой цене 100 руб./упаковка)
Годовая полная себестоимость, руб. в том числе:	8 276 400,00
постоянные затраты, руб.	5 248 572,00
переменные затраты, руб.	3 027 828,00
Годовая выручка, руб.	22 000 000,00
Точка безубыточности, руб.	6 082 951,55
Точка безубыточности, упаковок (12 таблеток)	60 867,00
Точка безубыточности, таблеток	730 404,00
Количество мес. для достижения точки безубыточности	3,30

При расчете учитывалось приобретение только купажно-бродильного аппарата, который будет применяться исключительно для производства данного напитка, чтобы избежать перекрестного контакта на линии производства. Данные представлены в таблицах 4.3.8–4.3.12. Объем выпуска продукта – 80 тыс. дал в год.

Сырьевые затраты составляют основную часть себестоимости производства. Высокие сырьевые затраты (37,38 руб.) на один литр продукта обусловлены использованием натурального сырья. Также примем 20 % от

стоимости сырья на затраты на упаковку и этикетирование продукта (с учетом этого материальные затраты на 1 литр продукта составят 44,8 руб.).

Таблица 4.3.8 – Материальные (сырьевые) затраты на производство готового ферментированного напитка

Рецептурный компонент	Ед. изм.	Количество	Цена за 1 кг, руб.	Цена за рецептурное количество, руб.
Концентрированный сок	кг	100,00	250,00	25 000,00
Дрожжевая подкормка	кг	5 500,00	0,50	2 750,00
Эмульсия имбиря	дм ³	5 000,00	1,80	9 000,00
Сорбат калия	кг	536,80	1,17	628,06
Итого				37 378,06
Затраты на 1 л продукта, руб.				37,38

Таблица 4.3.9 – Расчет оплаты труда по производству готового ферментированного напитка

Количество человек, (чел.)/ставка	Должность	Зарплата, руб./мес.	ФОТ (зарплата + 30,2 % взносов) на 1 сотрудника, руб./мес.	Общий ФОТ по должности, руб./мес.
1/0,25	Мастер-технолог	70 000	91 140	22 785
1/0,5	Оператор бродильного отделения	50 000	65 100	32 550
1/0,5	Оператор купажного отделения	48 000	62 496	31 248
1/0,25	Оператор линии розлива	40 000	52 080	13 020
Итого ФОТ в месяц, руб.				99 603
Затраты на 1 л продукта руб.				1,49

ФОТ – фонд оплаты труда; * –

Таблица 4.3.10 – Амортизационные отчисления оборудования, занятого в производстве ферментированного напитка (линейный способ)

Технологический этап	Оборудование	Стоимость оборудования, руб.	Срок полезного использования, лет	Амортизация в месяц, руб.
1. Получение ферментативной основы	Бродильно-купажный аппарат	300 000	10	2 500
2. Купажирование напитка.				
3. Выдержка напитка				
Итого				2 500
Затраты на 1 л продукции*, руб.				0,03
Энергозатраты оборудования, занятого в производстве ферментированного напитка				
Технологический этап	Оборудование	Мощность, кВт	Время работы на партию, ч	Потребление электроэнергии, кВт·ч
1. Получение ферментативной основы	Бродильно-купажный аппарат	3,00	168,00*	504,00
2. Купажирование напитка				
3.Выдержка напитка				
Итого потребление электроэнергии на цикл, кВт·ч				504,00
Стоимость электроэнергии на цикл (при тарифе 8,0 руб./кВт·ч), руб.				504,00
Затраты на 1 л продукции*, руб.				0,50

* – расчет выполнен для полного цикла производства напитка с учетом единовременной партии 100 дал.

Таблица 4.3.11 – Полная себестоимость ферментированного напитка с эмульсией имбиря

Статья затрат	Сумма на 1 л, руб.
Сырье и материалы	44,80
Фонд оплаты труда	1,49
Амортизация оборудования	0,37
Энергозатраты	0,50
Прочие затраты (20 % от суммы пунктов 1–4)	9,33
ИТОГО полная себестоимость 1 л	55,92

Для расчета возьмем среднюю рентабельность для пищевого продукта 20 %. Также учитывалось, чтобы финальная стоимость напитка была конкурентоспособна с уже существующими продуктами такого плана. (Сравнительная оценка представлена в таблице 4.3.12). Оценка экономической целесообразности для ферментированного напитка с эмульсией имбиря представлена в таблице 4.3.13.

На основании расчетов, представленных в таблице, можно сделать вывод, что при выбранном уровне рентабельности с учетом реализации всего объема (80 тыс. дал) годовая валовая прибыль составит 11 млн руб., при этом необходимые затраты на оборудование составят 300 тыс. руб. Срок достижения точки безубыточности (при оптовой цене продажи 96,9 руб./л) составит чуть более 3 месяцев, что свидетельствует о высоком экономическом потенциале проекта.

Сравнительная экономическая оценка и оценка конкурентоспособности на рынке по всем разрабатываемым продуктам в рамках диссертационного исследования представлены в таблице 4.3.14.

Таблица 4.3.12 – Сравнение разработанных напитков с существующими продуктами на рынке

Вид продукции	Разработанный напиток (возможная розничная цена)	Аналоги на рынке (цена)			
		3			
1	2	3			
Таблетированные напитки	150 руб./уп. (12 таб.)	POWERUP ELECTROLYTES ZERO CALORIE DRINK (производитель POWERUP)	Сухие напитки YUPI, ZUKO, INVITE (производитель Corpora Tresmontes, Чили)	Витамир Мульти В, 560 мг, 30 шт. (производитель ООО «Квадрат-С», Россия)	Сухие кисели в ассортименте (ООО «МТ-ПРОДУКТ»)
		от 360 руб./упаковка (10 таб.)	от 300–390 руб. за 12 г (24 шт./упаковке)	от 150 руб./упаковка	72,5 руб./кг
Ферментированные напитки	135 руб./л	Биолимонады Medovarus (ООО «Медоварус», Россия)	Ферментированные напитки по типу комбучи (ООО «Карибу Комбуча», Россия)	Напиток Флейворд Вотер экстракт цитрусов-корня имбиря, 330 мл (производитель IDS Borjomi Georgia, Грузия)	Лимонад «Имбирный эль» (ООО «Льем», Россия)
		от 373 руб./л	от 104 руб. за 0,33 л (≈ 315 руб./л)	от 101 руб. за 0,33 л (≈ 306 руб./л)	120 руб. за 0,25 л (480 руб./л)

Таблица 4.3.13 – Основные экономические показатели при производстве ферментированного напитка

Показатель	Значение
Полная себестоимость 1 л, руб.	55,92
Оптовая цена, руб./л	69,90
Рентабельность продаж, %	20,00
Годовая валовая прибыль, руб.	11 184 000,00
Точка безубыточности, л	218 377,00
Точка безубыточности, %	27,33
Срок достижения точки безубыточности, мес.	3,33

Таблица 4.3.14 – Сводная таблица экономических показателей

Показатель	Таблетированные напитки	Ферментированный напиток
Единица продукции	Упаковка 12 таб.	1 л напитка
Годовой объем производства	220 000 упаковок	800 000 л
Полная себестоимость единицы	37,62 руб./упаковка	55,92 руб./л
Оптовая цена	100 руб./упаковка	96,90 руб./л
Рентабельность продаж, %	62,38	20,84
Годовая выручка, руб.	22 000 000,00	11 184 000,00
Срок достижения точки безубыточности, мес.	3,30	3,30
Необходимые вложения, руб.	6 350 000,00 (полная линия)	300 000,00 (один аппарат)

Каждый вид продукции характеризуется положительной экономической эффективностью, превосходящей средние показатели по отрасли (рентабельность 15–20 %) [152]. Для каждого вида продукции имеются свои особенности, которые

влияют на числовые значения показателей. Так, для ферментированного напитка одним из преимуществ является меньший объем инвестиций и более быстрая окупаемость оборудования, однако продукт имеет относительно более низкий процент рентабельности по сравнению с таблетированными напитками.

Сравнение с аналогами позволило выделить следующие преимущества:

– *ценовое преимущество*: таблетированные напитки предполагается реализовывать по цене 100–120 руб./упаковка, что значительно ниже стоимости аналогичных напитков в тубах, представленных на рынке (300–390 руб.);

– *возможность ценового «маневра»*: имеется значительный запас для повышения цены при сохранении конкурентоспособности для каждого вида продукции.

В ходе выполнения диссертационного исследования разработаны безалкогольные напитки различных форм, в состав которых вошли супрамолекулярные и эмульсионные комплексы CO₂-экстрактов *Coriandrum sativum* L., *Zingiber officinale*, *Nigella sativa* L. Обоснован рецептурный состав напитков; представлены физико-химические и микробиологические показатели, которые соответствуют требованиям нормативно-технических документов; разработаны процессуальные схемы производства для каждого вида продукции.

В рамках технико-экономического анализа установлено, что оба продукта обладают экономическим потенциалом, рентабельность превышает средний уровень по отрасли, при этом срок окупаемости низкий. 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 МПа в экстракционной колонне, сепараторе – 5,0 и 6,0 МПа, температуре 35 и 30 °С 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 °С и температура в сепараторе 30 °С.

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.

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 установлено, 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: таблетированные напитки – 2 года в упакованном виде и 3 дня после вскрытия упаковки; ферментированные напитки – 6 месяцев в упакованном виде и 48 часов после вскрытия при 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 – 62,38 %, для ферментированного напитка – 20,84 %, что превышает среднеотраслевые

показатели. Сравнительный анализ рыночных аналогов подтверждает конкурентоспособность разработанных напитков по ценовым и качественным характеристикам.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

НТР – научно-технологическое развитие

СКФЭ – сверхкритическая флюидная экстракция (метод выделения веществ)

АЗ – алиментарно-зависимые заболевания

ССЗ – сердечно-сосудистые заболевания

ИЭТ – изоэлектрическая точка

ПАВ – поверхностно-активные вещества

ТВИН-20 – полисорбат 20 Неионогенное поверхностно-активное вещество
ПАВ;

СМК – супрамолекулярные комплексы

МНЖК – мононенасыщенные жирные кислоты

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Антонюк, В. А. Роль лектинов как биологически активных веществ в фармацевтических препаратах / В. А. Антонюк // Фармакокинетика и фармакодинамика. – 2014. – № 1. – С. 14–20.
2. Апалькова, Г. Д. Подходы к формированию рынка пищевых продуктов нового формата / Г. Д. Апалькова, Н. В. Попова, А. Д. Ликсунова // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. – 2020. – Т. 8, № 4. – С. 5–13. – DOI: 10.14529/food200401.
3. Аракелян, А. Д. Микрокапсулы. Перспективы развития технологии микрокапсулирования / А. Д. Аракелян // Молодая фармация – потенциал будущего: сборник материалов XIII Всероссийской научной конференции, Санкт-Петербург, 01–11 марта 2023 года. – СПб.: СПХФУ, 2023. – С. 984–987.
4. Асякина, Л. К. Обоснование, практическая реализация технологий и товароведная оценка биоактивных добавок, полученных из клеточных культур растений *in vitro*: дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.15, 05.18.07 / Асякина Людмила Константиновна. – Кемерово, 2022. – 496 с.
5. Безносюк, С. А. Хитозан как природный стабилизатор коллоидных квантовых точек селенида кадмия / С. А. Безносюк, И. А. Штоббе, А. С. Новикова // Новые достижения в химии и технологии растительного сырья: материалы VI Всероссийской конференции. – Барнаул, 2017. – С. 111–113.
6. Биохимия. Практикум: учебное пособие по курсу «Медицинская биохимия» / Л. А. Ганеева, Л. И. Зайнуллин, З. И. Абрамова [и др.] – Казань: ИСБ, 2015. – 176 с.
7. Бойко, Н. Н. Фитопрепараты, анализ фармацевтического рынка Российской Федерации / Н. Н. Бойко, А. В. Бондарев, Е. Т. Жиликова // Научные результаты биомедицинских исследований. – 2017. – № 4. – С. 30–38.
8. Большаков, И. Н. Инновационные аспекты применения хитозана в медицине / И. Н. Большаков // Рыбпром: технологии и оборудование для переработки водных биоресурсов. – 2010. – № 2. – С. 42–47.

9. Бочкарёв, Н. И. Морфология, таксономия, методы селекции и характеристика сортов кориандра посевного (обзор) / Н. И. Бочкарёв, С. В. Зеленцов, Е. В. Мошненко // Масличные культуры. – 2014. – № 2. – С. 159–160.
10. Бурункова, Ю. Э. Растительные масла: свойства, технологии получения и хранения, окислительная стабильность: учебно-методическое пособие / Ю. Э. Бурункова, М. В. Успенская, Е. О. Самуйлова. – СПб.: Университет ИТМО, 2020. – С. 82.
11. Буянова, И. В. Функционально-биологические свойства сывороточных белков / И. В. Буянова // Технологическое предпринимательство, коммерциализация результатов интеллектуальной деятельности и трансфер технологий. – 2021. – С. 65–70.
12. Быков, И. И. Экстрагирование биологически активных веществ из *Zingiber officinale* Roscoe в технологии фотопрепаратов (обзор) / И. И. Быков, Д. В. Компанцев, И. М. Привалов // Вестник Смоленской государственной медицинской академии. – 2017. – С. 170–180.
13. Вишневец, Ж. В. Перспективы фитотерапии в животноводстве / Ж. В. Вишневец // Приоритеты агропромышленного комплекса: научная дискуссия: материалы Международной научно-практической конференции (18 марта) – Петропавловск: Северо-Казахстанский университет имени М. Козыбаева, 2022. – С. 85–90.
14. Гаврилова, А. С. Пряные травы для здоровья и долголетия / А. С. Гаврилова. – М.: Олма Медиа Групп, 2010. – 224 с.
15. ГОСТ 15113.4-2021. Концентраты пищевые. Гравиметрические методы определения массовой доли влаги. – М.: Стандартинформ, 2021.
16. ГОСТ 18995.2-2022. Продукты химические жидкие. Метод определения показателя преломления. – М.: Стандартинформ, 2022.
17. ГОСТ 24027.2-80. Сырье лекарственное растительное. Методы определения влажности, содержания золы, экстрактивных и дубильных веществ, эфирного масла. – М.: Издательство стандартов, 1980.

18. ГОСТ 28188-2014. Продукты безалкогольной промышленности. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2015.
19. ГОСТ 6687.2-90. Продукция безалкогольной промышленности. Методы определения сухих веществ. – М.: Издательство стандартов, 1990.
20. ГОСТ 6687.5-86. Продукция безалкогольной промышленности. Методы определения органолептических показателей и объема продукции. – М.: Издательство стандартов, 1986.
21. ГОСТ 30712-2001. Продукты безалкогольной промышленности. Методы микробиологического анализа. – Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2001.
22. ГОСТ Р 51434-99. Соки фруктовые и овощные. Метод определения содержания титруемых кислот. – М.: Госстандарт России, 1999.
23. ГОСТ ISO 7609-2014. Масла эфирные. Анализ методом газовой хроматографии на капиллярных колонках. Общий метод. – М.: Стандартинформ, 2015.
24. Дубашинская, Н. В. Характеристика способов получения экстрактов и их стандартизация (часть II) / Н. В. Дубашинская, О. М. Хишова, О. М. Шимко // Вестник фармации. – 2007. – № 2 (36). – С. 1–10.
25. Евдокимова, О. В. Внедрение функциональных пищевых продуктов на потребительский рынок / О. В. Евдокимова // Пищевая промышленность. – 2009. – № 4. – С. 40–42.
26. Елисеева, Т. Имбирь (лат. *Zingiber*) / Т. Елисеева, А. Тарантул // Журнал здорового питания и диетологии. – 2019. – С. 22–33.
27. Ивлиева, В. Г. Оценка биологических свойств имбиря / В. Г. Ивлиева // Достижения аграрной науки для обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации: сборник трудов Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов, Тюмень, 12 октября 2022 года. Том 1. – Тюмень: Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2021. – С. 201–204.

28. Исследование российского и мирового рынка FoodTech: ключевые тренды, ограничения и перспективы. – URL: <https://json.tv/> (дата обращения: 25.10.2020).

29. Кароматов, И. Д. Имбирь-растение с антиоксидантными и противовоспалительными свойствами / И. Д. Кароматов, С. К. Музаффарова // Биология и интегративная медицина. – 2019. – № 1 (29). – С. 185–196.

30. Касьянов, Г. И. Возможности получения и применения CO₂-экстрактов из сельскохозяйственного сырья / Г. И. Касьянов // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2020. – № 4. – С. 418.

31. Кирсанов, К. И. Влияние ДНК-тропных антиканцерогенных соединений на механизмы регуляции экспрессии генов / К. И. Кирсанов, О. А. Власова, Т. И. Фетисов [и др.] // Успехи молекулярной онкологии. – 2018. – Т. 5, № 4. – С. 40–62.

32. Киселева, Т. Л. Кинетический синергизм в фитотерапии: традиционные препараты с точки зрения современных научных представлений / Т. Л. Киселева // Традиционная медицина. – 2011. – № 2 (25). – С. 50–57.

33. Киселева, Т. Л. Альпиния лекарственная (*Alpinia officinarum*) в традиционной медицине и современной медико-фармацевтической практике. Публикация 2: Химический состав и биологически активные вещества, обуславливающие фармакотерапевтическое действие / Т. Л. Киселева, Н. В. Колман // Традиционная медицина. – 2020. – № 3 (62). – С. 15–32.

34. Климова, Е. В. Исследование влияния пребиотиков на процесс сквашивания в технологии синбиотических продуктов / Е. В. Климова // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. – 2014. – № 2. – С. 14–20.

35. Коваленко, Н. А. Антибактериальная активность эфирных масел иссопа лекарственного / Н. А. Коваленко, Т. И. Ахрамович, Г. Н. Супиченко [и др.] // Химия растительного сырья. – 2019. – № 1. – С. 191–199.

36. Коваленко, Н. А. Энантиомерный состав некоторых компонентов эфирного масла плодов *Coriandrum sativum* (Apiaceae) / Н. А. Коваленко, Г. Н.

Супиченко, В. Н. Леонтьев // Растительные ресурсы. – 2011. – Т. 47, № 2. – С. 91–97.

37. Коновалов, Д. А. Биологические и фармакологические свойства полиацетиленовых соединений высших растений / Д. А. Коновалов, А. М. Насухова, В. Н. Оробинская // Современная наука и инновации. – 2017. – № 3. – С. 19.

38. Королева, М. Ю. Наноэмульсии: свойства, методы получения и перспективные области применения / М. Ю. Королева, Е. В. Юртов // Успехи химии. – 2012. – Т. 81, № 1. – С. 21–43.

39. Королева, М. Ю. Стабилизация прямых эмульсий пикеринга наночастицами SiO₂, модифицированными ПАВ / М. Ю. Королева, Д. А. Быданов, Е. В. Юртов // Коллоидный журнал. – 2019. – Т. 81, № 1. – С. 61–69.

40. Кушнир, Т. И. Терапевтический потенциал куркумина для лечения мультиформной глиобластомы / Т. И. Кушнир, Н. Е. Арноцкая, И. А. Кудрявцев [и др.] // Успехи молекулярной онкологии. – 2020. – Т. 7, № 1. – С. 8–16.

41. Лацерус, Л. А. Противоопухолевая активность терпеноидов семейства Pinaceae и потенциальные мишени их действия / Л. А. Лацерус, А. Ю. Барышников // Российский биотерапевтический журнал. – 2012. – Т. 11, № 4. – С. 9–14.

42. Максименкова, О. А. Всесторонний обзор различных методов экстракции / О. А. Максименкова, А. А. Герц // Качество продукции: контроль, управление, повышение, планирование. – 2020. – С. 209–211.

43. Малехоссейни, П. Разработка систем наноинкапсулирования на основе казеина для доставки галлата эпигаллокатехина и фолиевой кислоты / П. Малехоссейни, М. Алами, М. Хомейри [и др.] // Пищевая наука и нутрициология. – 2019. – Т. 7. – С. 519–527.

44. Меледина, Т. В. Дрожжи *Saccharomyces cerevisiae*. Морфология, химический состав, метаболизм: учебное пособие / Т. В. Меледина, С. Г. Давыденко. – СПб.: Университет ИТМО, 2015. – 88 с.

45. Методы экстракции биологически активных веществ из растительного сырья (обзор) / И. А. Абашкин, Ю. А. Елеев, Е. Н. Глухан [и др.] // Химия и технология органических веществ. – 2021. – № 2 (18). – С. 43–59. – DOI: 10.54468/25876724_2021_2_43.
46. Мишарина, Т. А. Влияние состава смесей эфирных масел на их антиоксидантные и антирадикальные свойства / Т. А. Мишарина, Е. С. Алинкина, Л. Д. Фаткулина [и др.] // Прикладная биохимия и микробиология. – 2012. – Т. 48, № 1. – С. 117.
47. Мокрушин, М. Ю. Анализ методов экстракции биологически активных веществ / М. Ю. Мокрушин // Холодильная техника и биотехнологии. – 2019. – С. 172–175.
48. Молибога, Е. А. Анализ рынка функционального питания: российский и международный аспект / Е. А. Молибога [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2022. – Т. 52, № 4. – С. 775–786.
49. МР 2.3.1.0253-21. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации: методические рекомендации / утверждены Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 22 июля 2021 г. – Москва, 2021.
50. Мустафаев, С. К. Выход и состав эфирного масла из расколотых плодов кориандра / С. К. Мустафаев, Т. В. Пелипенко, А. П. Усов [и др.] // Научный журнал КубГАУ. – 2016. – № 118. – С. 827–839.
51. Николаев, А. А. Биологическое действие экстрактов имбиря на функциональные системы организма / А. А. Николаев, П. В. Логинов, Е. Б. Мавлютова [и др.] // Материалы IV Международной научно-практической конференции прикаспийских государств. – Астрахань, 2019. – С. 307.
52. Новиков, О. Н. Установка «Альфа-Эфир» для получения эфирных масел и гидролатов методом паровой экстракции / О. Н. Новиков, Л. А. Новицкая // Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования. – 2017. – № S12. – С. 291–292.

53. Нуштаева, А. В. Пищевые стабилизаторы эмульсий Пикеринга / А. В. Нуштаева // Образование и наука в современном мире. Инновации. – 2019. – № 5 (24). – С. 90–97.
54. Определение белка: общая фармакопейная статья (ОФС.1.2.3.0012.15) / утверждены Приказом Минздрава России от 31.10.2018 № 749. // Государственная фармакопея Российской Федерации. – XIV изд. – Т. I – Москва, 2018.
55. Патент № 2417254 С1 Российская Федерация, МПК С11В 9/00. Способ получения кориандрового эфирного масла / В. Е. Тарасов, Е. Ю. Бондаренко, Д. С. Браславец; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования. – № 2010100414/13; заявл. 11.01.2010; опубл. 27.04.2011.
56. Пехова, О. А. Особенности определения содержания эфирного масла в семенах нигеллы / О. А. Пехова, И. Л. Данилова, Л. А. Тимашева [и др.] // Современное состояние, проблемы и перспективы развития аграрной науки. – 2019. – С. 91–94.
57. Племенков, В. В. Химия изопреноидов. Глава 5. Монотерпены (продолжение) / В. В. Племенков // Химия растительного сырья. – 2006. – № 3. – С. 55–72.
58. Подлесный, А. А. Способ подготовки плодов кориандра к извлечению эфирного масла / А. А. Подлесный // Научные труды Южного филиала Национального университета биоресурсов и природопользования Украины «Крымский агротехнологический университет». Серия: Технические науки. – 2012. – № 150. – С. 125–130.
59. Потороко, И. Ю. Перспективы применения эмульсий Пикеринга в пищевых системах / И. Ю. Потороко // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. – 2022. – Т. 10, № 1. – С. 15–22.
60. Потороко, И. Ю. Экотехнологии для эффективного использования продовольственных ресурсов в технологии пищевых систем. Часть 2: Технология

бифункциональных пищевых систем на основе эмульсий Пикеринга / И. Ю. Потороко, Н. В. Науменко, А. М. Кади [и др.] // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. – 2022. – Т. 10, № 3. – С. 55–63.

61. Постраш, Я. В. Микрокапсулирование в фармации – современное состояние и перспективы / Я. В. Постраш, О. М. Хишова // Вестник фармации. – 2010. – № 2 (48). – С. 73–79.

62. Пряности, специи, эфирные масла: Полная энциклопедия. – СПб.: Весь, 2001. – 255 с.

63. Росстат: официальный сайт. – URL: <https://rosstat.gov.ru> (дата обращения: 10.06.2024).

64. Рудь, Н. К. Основные результаты фитохимического и фармакологического исследования чернушки посевной / Н. К. Рудь, А. М. Сампиев, Н. А. Давитаян // Актуальные проблемы медицины. – 2013. – Т. 24, № 25 (168). – С. 207–212.

65. Самбукова, Т. В. Перспективы использования фитопрепаратов в современной фармакологии / Т. В. Самбукова, Б. В. Овчинников, В. П. Гананольский // Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии. – 2017. – № 2. – С. 56–63.

66. Сапарклычева, С. Е. Биологические особенности и фармакологические свойства дикорастущих эфиросодержащих растений / С. Е. Сапарклычева, Т. Л. Чапалда, В. В. Чулкова // Вестник биотехнологии. – 2020. – № 2. – С. 14.

67. Селин, В. А. Эфирные масла лаванды, герани и мелиссы как элементы биологически активного вещества седативного и противовирусного действия / В. А. Селин, А. Г. Овсянников // Бюллетень сибирской медицины. – 2011. – Т. 10, № 5. – С. 140–145.

68. Синх, Н. К. Настольная книга производителя и переработчика плодово-овощной продукции / Н. К. Синх, И. Г. Хью; перевод с английского. – СПб.: Профессия, 2013. – С. 489–505.

69. Скрыбина, О. В. Подбор видового и качественного состава микрофлоры закваски для сырного продукта специализированного назначения / О. В. Скрыбина, Д. С. Рябкова // Сыроделие и маслоделие. – 2023. – № 3. – С. 45–50.
70. Смотраева, И. В. Технология продуктов из растительного сырья: учебно-методическое пособие / И. В. Смотраева, П. Е. Баланов. – СПб.: Университет ИТМО, 2014. – 78 с.
71. Степанова, Э. Ф. Микрокапсулы: перспективы использования в современной фармацевтической практике / Э. Ф. Степанова, М. Е. Ким, К. Б. Мурзагулова [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 5. – С. 767.
72. Суханов, Г. Т. Синтез, идентификация и оценка биологической активности новых производных терпеноидов, содержащих нитротриазоловые гетероциклы / Г. Т. Суханов, И. А. Крупнова, К. К. Босов [и др.] // Южно-Сибирский научный вестник. – 2020. – № 6. – С. 177–182.
73. Тихойкин, Д. В. Состояние и тенденции развития рынка функциональных пищевых продуктов / Д. В. Тихойкин // Science. Research. Practice (Наука. Исследования. Практика). – 2023. – С. 48–50.
74. Трусова, М. М. Перспективы использования хитозана как стабилизатора при коллоидных помутнениях / М. М. Трусова, Т. Н. Камедько, О. В. Павлова // Пищевая промышленность: наука и технологии. – 2022. – Т. 14, № 4. – С. 97–102.
75. Файзиев, Ш. И. Экспериментальное исследование технологического процесса CO₂-экстракции ингредиентов из растительного сырья / Ш. И. Файзиев, К. З. Абидов, К. Х. Гафуров // Universum: технические науки. – 2020. – № 8–1 (77). – С. 44–47.
76. Феськова, Е. В. Определение компонентного состава семян чернушки посевной (*Nigella sativa*) / Е. В. Феськова, О. С. Игнатовец, И. Н. Тычина [и др.] // Труды БГТУ. Серия 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология. – 2018. – № 2 (211). – С. 167–170.

77. Филиппова, О. Е. Хитозан и его гидрофобные производные: получение и агрегация в разбавленных водных растворах / О. Е. Филиппова, Е. В. Корчагина // Высокомолекулярные соединения. Серия А. – 2012. – Т. 54, № 7. – С. 1130.
78. Хайдаров, Д. Фитохимический состав *Zingiber officinale* Roscoe / Д. Хайдаров // Центральноазиатский журнал образования и инноваций. – 2023. – Т. 2, № 6. – С. 36–42.
79. Шабанов, П. Д. Фармакология лекарственных препаратов пептидной структуры / П. Д. Шабанов // ПФБН. – 2008. – № 3–4. – С. 2399–2425.
80. Ших, Е. В. Экстракты лекарственных растений в гепатопротекции: антиоксидантные и иммуномодулирующие эффекты / Е. В. Ших, Е. Д. Хайтович, Д. Н. Цветков // Терапевтический архив. – 2024. – Т. 96, № 8. – С. 836–845.
81. Шишкова, Ю. С. Изучение антимикробной активности некоторых двухосновных карбоновых кислот в сочетании с прополисом / Ю. С. Шишкова, Е. В. Симонян, О. С. Абрамовских [и др.] // Медицинский альманах. – 2014. – № 1 (31). – С. 99–101.
82. Шухалова, О. М. Основные критерии подбора заквасочных микроорганизмов в состав бактериальных заквасок для созревающих сыров / О. М. Шухалова // Пищевые системы. – 2021. – Т. 4, № 3S. – С. 315–320.
83. Aaron, D. Separation of CO₂ from flue gas: a review / D. Aaron, C. Tsouris // Separation Science and Technology. – 2005. – Vol. 40, No. 1–3. – P. 321–348.
84. Abdel-Moneim, A. Beneficial therapeutic effects of *Nigella sativa* and/or *Zingiber officinale* in HCV patients in Egypt / A. Abdel-Moneim, B. M. Morsy, A. M. Mahmoud [et al.] // EXCLI Journal. – 2013. – Vol. 12. – P. 943–955. – PMID: 27298610.
85. Agoeva, E. A. Modified forms: production, properties, and application. Review / E. A. Agoeva, S. Y. Khashirova // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Seriya "Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya". – 2025. – Vol. 68, No. 3. – P. 6–19.
86. Albakry, Z. A comparative study of black cumin seed (*Nigella sativa* L.) oils extracted with supercritical fluids and conventional extraction methods / Z.

Albakry, E. Karrar, I. A. M. Ahmed, [et al.] // Journal of Food Measurement and Characterization. – 2023. – Vol. 17, No. 3. – P. 2429–2441.

87. Amin, B. Black cumin (*Nigella sativa*) and its active constituent, thymoquinone: an overview on the analgesic and anti-inflammatory effects / B. Amin, H. Hosseinzadeh // Planta Medica. – 2016. – Vol. 82, No. 01/02. – P. 8–16.

88. Tyagi, A. K. Identification of a novel compound (β -sesquiphellandrene) from turmeric (*Curcuma longa*) with anticancer potential: comparison with curcumin / A. K. Tyagi, S. Prasad, W. Yuan [et al.] // Preclinical Studies. – 2015. – Vol. 33. – P. 1175–1186.

89. Azhari, H. N. Extraction and chemical compositions of Ginger (*Zingiber Officinale* Roscoe) essential oils as Cockroaches Repellent / H. N. Azhari, S. S. Yap, A. H. Nour // Australian Journal of Basic and Applied Sciences. – 2017. – Vol. 11, No. 3. – P. 1–8.

90. Baginska, S. Monoterpenes as Medicinal Agents: Exploring the Pharmaceutical Potential of *p*-Cymene, *p*-Cymenene, and γ -Terpinene / S. Baginska, A. Golonko, R. Swislocka [et al.] // Acta Poloniae Pharmaceutica. – 2023. – Vol. 80, No. 6. – P. 879–892. – DOI: 10.32383/appdr/178242.

91. Balachandran, S. Ultrasonic enhancement of the supercritical extraction from ginger / S. Balachandran, S. E. Kentish, R. Mawson [et al.] // Ultrasonics Sonochemistry. – 2006. – Vol. 13, No. 6. – P. 471–479. – DOI: 10.1016/j.ultsonch.2005.11.006.

92. Borts, B. Materials and sample preparation for simulation of supercritical fluid extraction of Uranium in Carbon Dioxide Medium / B. Borts, S. F. Skoromnaya, Y. G. Kazarinov [et al.] // East European Journal of Physics. – 2012. – No. 1025 (4). – P. 69–76.

93. Bourhia, M. Volatile constituents in essential oil from leaves of *Withania adpressa* Coss. Ex exhibit potent antioxidant and antimicrobial properties against clinically-relevant pathogens / M. Bourhia, A. A. Alyousef, G. Doumane [et al.] // Molecules. – 2023. – Vol. 28, No. 6. – P. 2839.

94. Chen, Y. Extraction methods for small-scale features on a large scale: Investigating object-oriented cart decision tree for gravel information extraction / Y. Chen // *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. – 2023. – Vol. 17. – P. 438–449.
95. Chen, X. Chemical composition, antioxidant, and antimicrobial activities of essential oils from the fruits of *Piper guineense* Schum. (Piperaceae) / X. Chen // *Industrial Crops and Products*. – 2020. – Vol. 143. – P. 111611.
96. Cossu, A. Antifungal activity against *Candida albicans* of starch Pickering emulsion with thymol or amphotericin B in suspension and calcium alginate films / A. Cossu, M. S. Wang, A. Chaudhari [et al.] // *International Journal of Pharmaceutics*. – 2015. – Vol. 493, No. 1–2. – P. 233–242.
97. Duarte, D. Chemical profiling and cheminformatic insights into piper essential oils as sustainable antimicrobial agents against pathogens of cocoa crops / D. Duarte, M. Fuentes-Estrada, Y. Martínez Aroca // *Molecules*. – 2026. – Vol. 31, No. 2. – P. 326. – DOI: 10.3390/molecules31020326.
98. El-Shazly, A. Structures, distribution, and biological properties of pyrrolizidine alkaloids of the Boraginaceae / A. El-Shazly, M. Wink // *Diversity*. – 2014. – Vol. 6. – P. 188–282. – DOI: 10.3390/d6020188.
99. Farkhondeh, T. The neuroprotective effects of thymoquinone: a review / T. Farkhondeh, S. Samarghandian, A. M. P. Shahri [et al.] // *Dose-Response*. – 2018. – Vol. 16, No. 2. – P. 1559325818761455.
100. Farré-Armengol, G. β -Ocimene, a key floral and foliar volatile involved in multiple interactions between plants and other organisms / G. Farré-Armengol, I. Filella, J. Llusà [et al.] // *Molecules*. – 2017. – Vol. 22, No. 7. – P. 1148. – DOI: 10.3390/molecules22071148.
101. García-Villalón, C. Influence of plant growth regulators on the essential oil content and composition of coriander (*Coriandrum sativum* L.) seed / C. García-Villalón // *Industrial Crops and Products*. – 2019. – Vol. 125. – P. 173–180.

102. Ghasemi, S. Production of pectin-whey protein nano-complexes as carriers of orange peel oil / S. Ghasemi, S. M. Jafari, E. Assadpour [et al.] // *Carbohydrate Polymers*. – 2017. – Vol. 177. – P. 369–377. – DOI: 10.1016/j.carbpol.2017.09.009.
103. Gómez, B. Microencapsulation of antioxidant compounds through innovative technologies and its specific application in meat processing / B. Gómez, F. J. Barba, R. Domínguez // *Trends in Food Science & Technology*. – 2018. – Vol. 82. – P. 135–147. – DOI: 10.1016/j.tifs.2018.10.005.
104. Grosso, C. Supercritical carbon dioxide extraction of volatile oil from Italian coriander seeds / C. Grosso // *Food Chemistry*. – 2008. – Vol. 111, No. 1. – P. 197–203.
105. Human, C. Electrospraying as a suitable method for nanoencapsulation of the hydrophilic bioactive dihydrochalcone, aspalathin / C. Human, D. de Beer, M. van der Rijst // *Food Chemistry*. – 2019. – Vol. 276. – P. 467–474. – DOI: 10.1016/j.foodchem.2018.10.016.
106. Jafari, S. M. An overview of nanoencapsulation techniques and their classification / S. M. Jafari // *Nanoencapsulation Technologies for the Food and Nutraceutical Industries* / edited by S. M. Jafari. – London: Academic Press, 2017. – P. 1–34.
107. Jampílek, J. Potential of nanomaterial applications in dietary supplements and foods for special medical purposes / J. Jampílek, J. Kos, K. Králová // *Nanomaterials*. – 2019. – Vol. 9, No. 2. – P. 296. – DOI: 10.3390/nano9020296.
108. Kadappan, A. S. The efficacy of nanoemulsion-based delivery to improve vitamin D absorption: comparison of *in vitro* and *in vivo* studies / A. S. Kadappan, S. Guo, S. E. Gumus // *Molecular Nutrition & Food Research*. – 2018. – Vol. 62, No. 4. – P. 1700836. – DOI: 10.1002/mnfr.201700836.
109. Kay, W. Gases and vapors at high temperature and pressure-density of hydrocarbon / W. Kay // *Industrial & Engineering Chemistry*. – 1936. – Vol. 28, No. 9. – P. 1014–1019.

110. Kayitmazer, A. B. Thermodynamics of complex coacervation / A. B. Kayitmazer // *Advances in Colloid and Interface Science*. – 2017. – Vol. 239. – P. 169–177. – DOI: 10.1016/j.cis.2016.07.006.
111. Kohandel, Z. Anti-inflammatory effects of thymoquinone and its protective effects against several diseases / Z. Kohandel // *Biomedicine & Pharmacotherapy*. – 2021. – Vol. 138. – P. 111492. – DOI: 10.1016/j.biopha.2021.111492.
112. Kurkin, V. A. New approaches for the standardization of the *Monarda fistulosa* herb / V. A. Kurkin, A. S. Tsibina // *Fine Chemical Technologies*. – 2020. – Vol. 15, No. 4. – P. 30–38.
113. Lee, S. Y. Structural and functional properties of caseinate and whey protein isolate as affected by temperature and pH / S. Y. Lee, C. V. Morr, E. Y. Ha // *Journal of Food Science*. – 1992. – Vol. 57, No. 5. – P. 1210–1229.
114. Liu, W. Anti-inflammatory function of plant-derived bioactive peptides: A review / W. Liu, X. Chen, H. Li // *Foods*. – 2022. – Vol. 11, No. 15. – P. 2361. – DOI: 10.3390/foods11152361.
115. Liu, Y. Protein–polysaccharide complexes for O/W emulsions: Structural engineering and their relevance to food stability and safety / Y. Liu, Y. Liu, M. Zhong // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. – 2025. – Vol. 24, No. 5. – P. e70289.
116. Majdalawieh, A. F. Immunomodulatory and anti-inflammatory action of *Nigella sativa* and thymoquinone: A comprehensive review / A. F. Majdalawieh, M. W. Fayyad // *International Immunopharmacology*. – 2015. – Vol. 28, No. 1. – P. 295–304.
117. Mammadov, R. The antioxidant and cytotoxic potential of *C. cancellatus* subsp. *maziaricus* / R. Mammadov // *Sustainable Use and Conservation of Plant Life*: September 22–24, 2021. – 2021. – P. 60–62.
118. Mhemdi, H. A supercritical tuneable process for the selective extraction of fats and essential oil from coriander seeds / H. Mhemdi // *Journal of Food Engineering*. – 2011. – Vol. 105, No. 4. – P. 609–616.

119. Moslavac, T. Pressing and supercritical CO₂ extraction of *Camelina sativa* oil / T. Moslavac, S. Jokić, D. Šubarić // *Industrial Crops and Products*. – 2014. – Vol. 54. – P. 122–129.
120. Muhammad D. S. Solvent extraction of ginger oleoresin using ultrasound / D. S. Muhammad, A. Fuadi, P. N. Alam [et al.] // *Makara, Sains*. – 2011. – Vol. 15, No. 2. – P. 163–167.
121. Murthy, K. N. C. Nanoencapsulation: An advanced nanotechnological approach to enhance the biological efficacy of curcumin / K. N. C. Murthy, P. Monika, G. K. Jayaprakasha [et al.] // *ACS Symposium Series*. – Washington, DC: American Chemical Society, 2018. – P. 383–405.
122. Pan, Z. Optimizing carbonation reaction parameters of calcium carbide slag in acidic/alkaline environment enhancing CO₂ mineralization efficiency / Z. Pan // *Chemical Engineering Journal*. – 2024. – Vol. 498. – P. 155587.
123. Pateiro, M. Nanoencapsulation of promising bioactive compounds to improve their absorption, stability, functionality and the appearance of the final food products / M. Pateiro, B. Gómez, P. E. S. Munekata [et al.] // *Molecules*. – 2021. – Vol. 26, No. 6. – P. 1547. – DOI: 10.3390/molecules26061547.
124. Pathak, J. Interactions in globular proteins with polyampholyte: coacervation route for protein separation / J. Pathak // *RSC Advances*. – 2015. – Vol. 5, No. 18. – P. 13579–13589.
125. Paudel, P. N. Chemical composition, enantiomeric distribution, antimicrobial and antioxidant activities of *Origanum majorana* L. essential oil from Nepal / P. N. Paudel, P. Satyal, R. Satyal // *Molecules*. – 2022. – Vol. 27, No. 18. – P. 6136.
126. Pavela, R. Phenolic monoterpene-rich essential oils from Apiaceae and Lamiaceae species: insecticidal activity and safety evaluation on non-target earthworms / R. Pavela // *Entomologia Generalis*. – 2020. – Vol. 40, No. 4.
127. Qiao, Y. Method of grassland information extraction based on multi-level segmentation and cart model / Y. Qiao // *The International Archives of the*

Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – 2018. – Vol. 42. – P. 1415–1420.

128. Sadeghi, E. Molecular mechanisms and signaling pathways of black cumin (*Nigella sativa*) and its active constituent, thymoquinone: a review / E. Sadeghi, M. Imenshahidi, H. Hosseinzadeh // Molecular Biology Reports. – 2023. – Vol. 50, No. 6. – P. 5439–5454.

129. Sahib, N. G. Coriander (*Coriandrum sativum* L.): a potential source of high-value components for functional foods and nutraceuticals – a review / N. G. Sahib, F. Anwar, A. H. Gilani // Phytotherapy Research. – 2013. – Vol. 27, No. 10. – P. 1439–1456. – DOI: 10.1002/ptr.4897.

130. Salea, R. Optimization and scale-up process for supercritical fluids extraction of ginger oil from *Zingiber officinale* var. Amarum / R. Salea, B. Veriansyah, R. R. Tjandrawinata // The Journal of Supercritical Fluids. – 2017. – Vol. 120. – P. 285–294.

131. Sánchez-Hernández, E. Bioactive sesquiterpenoids from *Santolina chamaecyparissus* L. flowers: chemical profiling and antifungal activity against *Neocosmospora* species / E. Sánchez-Hernández // Plants. – 2025. – Vol. 14, No. 2. – P. 235.

132. Schmeller, T. Allelochemical activities of pyrrolizidine alkaloids: Interactions with neuroreceptors and acetylcholine related enzymes / T. Schmeller, A. El-Shazly, M. Wink // Journal of Chemical Ecology. – 1997. – Vol. 23. – P. 399–416. – DOI: 10.1023/B:JOEC.0000006368.25732.99.

133. Seigler, D. S. Plant secondary metabolism / D. S. Seigler. – Boston: Kluwer Academic Publishers, 1995.

134. Sharma, T. R. *In vitro* microrhizome production in *Zingiber officinale* Rosc / T. R. Sharma, B. M. Singh // Plant Cell Reports. – 1995. – Vol. 15, No. 3. – P. 274–277.

135. Silva, R. C. E. Monoterpenes and sesquiterpenes of essential oils from *Psidium* species and their biological properties / R. C. E. Silva, J. S. D. Costa, R. O.

Figueiredo // *Molecules*. – 2021. – Vol. 26, No. 4. – P. 965. – DOI: 10.3390/molecules26040965.

136. Singh, G. Studies on essential oils, Part 42: Chemical, antifungal, antioxidant and sprout suppressant studies on ginger essential oil and its oleoresin / G. Singh, S. Maurya, C. Catalan [et al.] // *Flavour and Fragrance Journal*. – 2005. – Vol. 20. – P. 1–6. – DOI: 10.1002/ffj.1406.

137. Turgeon, S. L. Protein + polysaccharide coacervates and complexes: from scientific background to their application as functional ingredients in food products / S. L. Turgeon, S. I. Laneuville // *Modern Biopolymer Science* / edited by S. Kasapis, I. T. Norton, J. B. Ubbink. – London: Academic Press, 2009. – P. 327–363.

138. Van Wyk, B.-E. *Phytomedicines, Herbal drugs and Poisons* / B.-E. Van Wyk, M. Wink. – Cambridge: Briza, Kew Publishing, Cambridge University Press, 2015.

139. Wagner, H. *Pharmazeutische Biologie 2. Biogene Arzneistoffe und Grundlagen von Gentechnik und Immunologie* / H. Wagner, A. Vollmar, A. Bechthold. – 7th ed. – Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, 2007.

140. Wang, Z. Rapid analysis of the essential oils from dried *Illicium verum* Hook. f. and *Zingiber officinale* Rosc. by improved solvent-free microwave extraction with three types of microwave-absorption medium / Z. Wang, L. Wang, T. Li [et al.] // *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. – 2006. – Vol. 386. – P. 1863–1868. – DOI: 10.1007/s00216-006-0720-4.

141. Winatta, S. Effects of temperature and pressure on volatile compounds of black cumin seeds (*Nigella sativa* L.) oil extracted by supercritical carbon dioxide / S. Winatta, S. Buntita, N. Somkiat // *Journal of the American Oil Chemists' Society*. – 2024. – Vol. 102, No. 1. – P. 61–69.

142. Xie, Y. Formation and applications of typical basic protein-based heteroprotein complex coacervations / Y. Xie // *Foods*. – 2024. – Vol. 13, No. 20. – P. 3281. – DOI: 10.3390/foods13203281.

143. Xu, Y. Protein purification by polyelectrolyte coacervation: influence of protein charge anisotropy on selectivity / Y. Xu // *Biomacromolecules*. – 2011. – Vol. 12, No. 5. – P. 1512–1522. – DOI: 10.1021/bm101465y.
144. Yerlan, G. Y. Полимерные системы для пероральной доставки инсулина / G. Y. Yerlan, B. B. Tyussyupova, S. M. Tazhibayeva [et al.] // *Chemical Bulletin of Kazakh National University*. – 2023. – Vol. 108, No. 1. – P. 12–29.
145. Yiasmin, M. N. The state-of-the-art on exploring polysaccharide-protein interactions and its mechanisms, stability, and their role in food systems / M. N. Yiasmin, S. Al Azad, M. Easdani // *Food Reviews International*. – 2025. – P. 1–36.
146. Yuan, Y. Complex coacervation of soy protein with chitosan: Constructing antioxidant microcapsule for algal oil delivery / Y. Yuan, Z. Y. Kong, Y. E. Sun [et al.] // *LWT*. – 2017. – Vol. 75. – P. 171–179.
147. Zarrinpashne, S. A study on the extraction of essential oil of Persian black cumin using static supercritical CO₂ extraction, and comparison with hydro-distillation extraction method / S. Zarrinpashne, S. Gorji Kandi // *Separation Science and Technology*. – 2019. – Vol. 54, No. 11. – P. 1778–1786.
148. Zeinab, S. Supercritical carbon dioxide (SC-CO₂) extraction of *Nigella sativa* L. oil using full factorial design / S. Zeinab, S. B. Badlishah, B. Hossein // *Industrial Crops and Products*. – 2012. – Vol. 36, No. 1. – P. 519–523. – DOI: 10.1080/01496395.2018.1548482.
149. Zhang, S. *Zingiber officinale* var. rubrum: Red Ginger's Medicinal Uses / S. Zhang, X. Kou, H. Zhao // *Molecules*. – 2022. – Vol. 27, No. 3. – P. 775. – DOI: 10.3390/molecules27030775.
150. Zhou, X. Combining feature extraction methods and categorical boosting to discriminate the lettuce storage time using near-infrared spectroscopy / X. Zhou // *Foods*. – 2025. – Vol. 14, No. 9. – P. 1601. – DOI: 10.3390/foods14091601.
151. What profit margin is usual for a company in the food and beverage sector? // Investopedia. – URL: <https://www.investopedia.com/ask/answers/071015/what-profit-margin-usual-company-food-and-beverage-sector.asp> (дата обращения: 10.06.2024).

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А – Хроматографические исследования образцов CO₂-экстрактов *Coriandrum sativum* L.

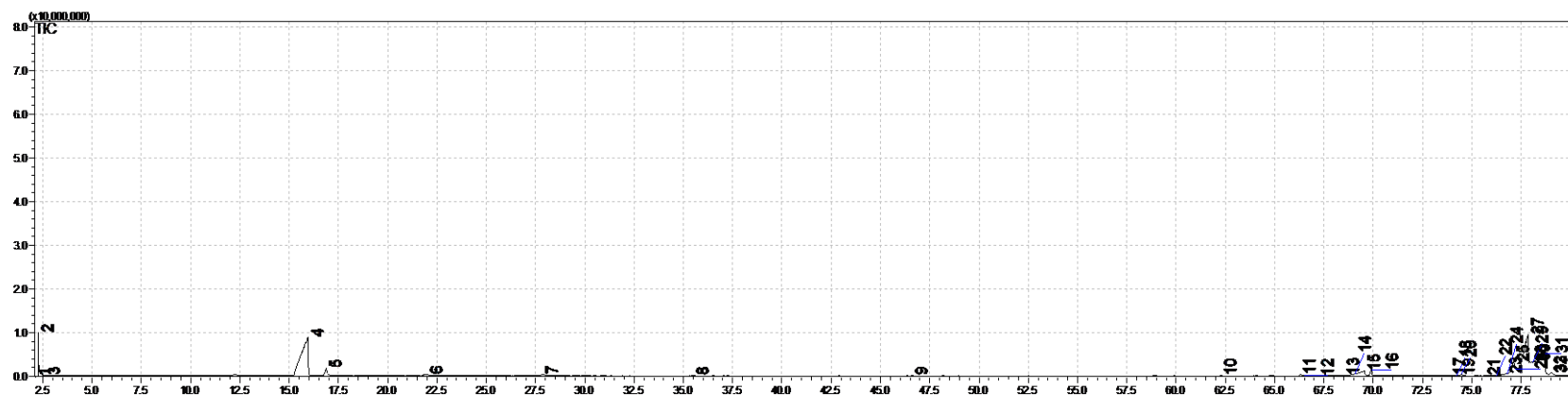


Рисунок А1 – Хроматограмма образца № 1 CO₂-экстракта *Coriandrum sativum* L.

Таблица А1 – Компонентный состав образца № 1 CO₂-экстракта *Coriandrum sativum* L.

	Время пика	Начало выхода	Конец выхода	Содержание относительно других компонентов, %	Название
1	2	3	4	5	6
1	2,135	2,115	2,260	0,25	6-Iodo-2-methylquinazolin-4(3H)-one
2	2,285	2,260	2,645	3,38	Hexane (CAS)
3	2,600	2,545	2,620	0,00	Heptane (CAS)
4	15,961	15,240	16,045	39,04	Linalool

Продолжение Таблицы А1

1	2	3	4	5	6
5	16,877	16,665	17,200	2,59	Bicyclo[2,2,1]heptan-2-one, 1,7,7-trimethyl-, (1S)-
6	21,985	21,700	22,190	0,92	3,7-Dimethyl-1,5-octadiene-3,7-diol
7	27,857	27,635	28,035	0,54	1,7-Octadiene-3,6-diol, 2,6-dimethyl-
8	35,487	35,410	35,630	0,11	Geranyl acetate
9	46,592	46,500	46,695	0,13	2-Tridecenal, (E)-
10	62,290	62,195	62,400	0,16	2-Pentadecanone, 6,10,14-trimethyl- (CAS)
11	66,312	66,175	66,425	0,42	1,2-Benzenedicarboxylic acid, dibutyl ester (CAS)
12	66,495	66,425	66,535	0,05	Hexadecanoic acid, methyl ester (CAS)
13	68,490	68,295	68,680	0,13	Hexadecanoic acid (CAS)
14	69,085	68,775	69,105	0,66	Tridecanoic acid
15	69,547	69,185	69,665	2,11	n-Hexadecanoic acid
16	69,904	69,745	70,015	1,38	HEXADECANOIC ACID, ETHYL ESTER
17	73,906	73,770	74,055	0,30	10,13-Octadecadienoic acid, methyl ester (CAS)
18	74,225	74,175	74,335	0,10	,Delta,-Nonalactone
19	74,365	74,335	74,385	0,06	15-Octadecenoic acid, methyl ester (CAS)
20	74,470	74,385	74,585	0,49	6-Octadecenoic acid, methyl ester, (Z)-
21	75,663	75,580	75,755	0,07	Methyl stearate
22	76,245	76,190	76,360	0,07	1-Oxacyclododec-6-ene-2,10-dione, 7-methyl-
23	76,770	76,360	76,790	1,20	10,10-DIMETHYL-3-OXATRICYCLO[7.1.1.0]UNDECAN-4-ONE
24	76,810	76,790	76,835	0,23	11,11-DIMETHYLBICYCLO[8.2.0]DODECANE
25	77,116	76,835	77,205	6,96	Linoleic acid ethyl ester
26	77,225	77,205	77,240	0,55	5-Heptadecene, 1-bromo- (CAS)
27	77,860	77,300	78,000	18,22	Ethyl Oleate
28	78,046	77,995	78,090	3,19	Oxirane, tetradecyl-
29	78,110	78,090	78,125	1,19	10-Heneicosene (c,t)
30	78,180	78,125	78,200	2,62	Trans-Undec-4-enal
31	78,728	78,245	78,845	12,00	6-Octadecenoic acid, (Z)-
32	79,028	78,905	79,055	0,54	Octadecanoic acid (CAS)
33	79,080	79,055	79,215	0,34	Octadecanoic acid, ethyl ester

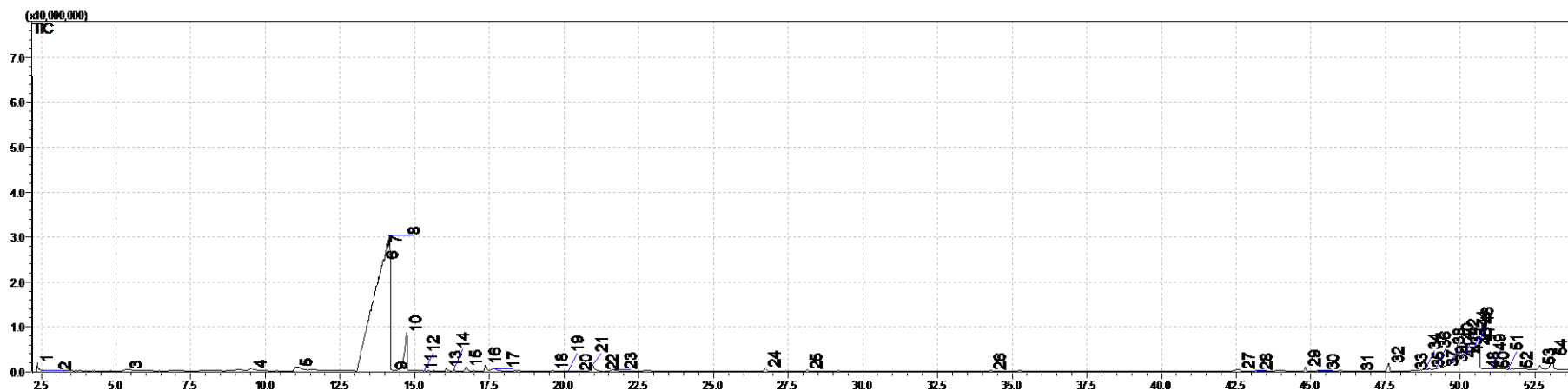


Рисунок А2 – Хроматограмма образца № 2 CO₂-экстракта *Coriandrum sativum* L.

Таблица А2 – Компонентные состав образца № 2 CO₂-экстракта *Coriandrum sativum* L.

	Время пика	Начало выхода	Конец выхода	Содержание относительно других компонентов, %	Название
1	2	3	4	5	6
1	2,360	2,205	2,520	0,52	1,2-Epoxy-nonane
2	2,595	2,520	2,625	0,05	Heptane (CAS)
3	5,371	5,220	5,620	0,22	,Alpha,-Pinene
4	9,511	9,395	9,835	0,26	D-Limonene
5	11,051	10,915	11,405	0,87	,Gamma,-Terpinene
6	14,170	13,020	14,310	75,90	1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-
7	14,250	14,235	14,270	0,00	2,6-Octadien-1-ol, 3,7-dimethyl- (CAS)
8	14,729	14,380	14,805	3,97	(+)-2-Bornanone
9	15,222	15,170	15,280	0,02	Cyclohexanol, 1-methyl-4-(1-methylethenyl)-
10	15,321	15,280	15,380	0,02	Cyclohexanone, 5-methyl-2-(1-methylethyl)-, cis- (CAS)
11	16,061	15,985	16,190	0,19	Endo-Borneol
12	16,302	16,190	16,420	0,09	2H-Pyran-3-ol, 6-ethenyltetrahydro-2,2,6-trimethyl-

Продолжение Таблицы А2

1	2	3	4	5	6
13	16,733	16,630	16,880	0,33	Terpinen-4-ol
14	17,369	17,275	17,480	0,44	3-Cyclohexene-1-methanol, ,alpha,,,alpha,,4-trimethyl-, (S)- (CAS)
15	17,645	17,480	17,875	0,43	3,7-Dimethyl-1,5-octadiene-3,7-diol
16	19,609	19,540	19,740	0,05	2,6-Octadien-1-ol, 3,7-dimethyl-, (Z)-
17	20,137	20,070	20,200	0,02	Cyclopropanecarboxylic acid, 2,2-dimethyl-3-(2-propenyl)-
18	20,430	20,380	20,525	0,02	2,6-Octadiene, 4,5-dimethyl-
19	20,955	20,810	21,250	0,82	2,6-Octadien-1-ol, 3,7-dimethyl-, (Z)-
20	21,323	21,250	21,405	0,03	5-Oxohexanethioic acid, S-t-butyl ester
21	21,640	21,470	21,845	0,23	1,7-Octadiene-3,6-diol, 2,6-dimethyl-
22	26,732	26,645	26,855	0,23	Geranyl acetate
23	28,135	28,060	28,250	0,10	Trans-Caryophyllene
24	34,273	34,190	34,420	0,11	TRANS-2-TRIDECENAL
25	42,601	42,310	42,715	0,32	Tetradecanoic acid
26	43,148	43,085	43,230	0,04	Tetradecanoic acid, ethyl ester (CAS)
27	44,816	44,720	44,910	0,26	2-Pentadecanone, 6,10,14-trimethyl- (CAS)
28	45,217	45,140	45,290	0,04	1-Dodecanol, 3,7,11-trimethyl-
29	46,580	46,520	46,635	0,02	Pentadecanoic acid, ethyl ester
30	47,601	47,455	47,735	0,63	1,2-BENZENEDICARBOXYLIC ACID, BIS(2-METHYLPROPYL) ESTER
31	48,410	48,370	48,455	0,00	7-Tetradecenal, (Z)-
32	48,837	48,760	48,895	0,05	Ethyl 9-hexadecenoate
33	48,967	48,895	49,050	0,09	ETHYL 9-HEXADECENOATE
34	49,190	49,160	49,220	0,01	Cycloundecanone, oxime (CAS)
35	49,660	49,450	49,685	0,83	Pentadecanoic acid (CAS)
36	49,942	49,780	50,690	11,19	HEXADECANOIC ACID, ETHYL ESTER
37	50,795	50,780	50,810	0,00	Tetradecanoic acid (CAS)
38	51,015	51,000	51,090	0,01	l-(+)-Ascorbic acid 2,6-dihexadecanoate
39	51,132	51,090	51,180	0,01	2-Tridecenoic acid, (E)-
40	51,919	51,860	52,000	0,03	Oleic Acid
41	52,666	52,550	52,805	0,30	9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-, methyl ester
42	53,078	52,890	53,290	1,25	6-Octadecenoic acid, methyl ester, (Z)-

Приложение Б – Хроматографические исследования образцов CO₂-экстрактов *Zingiber officinale*

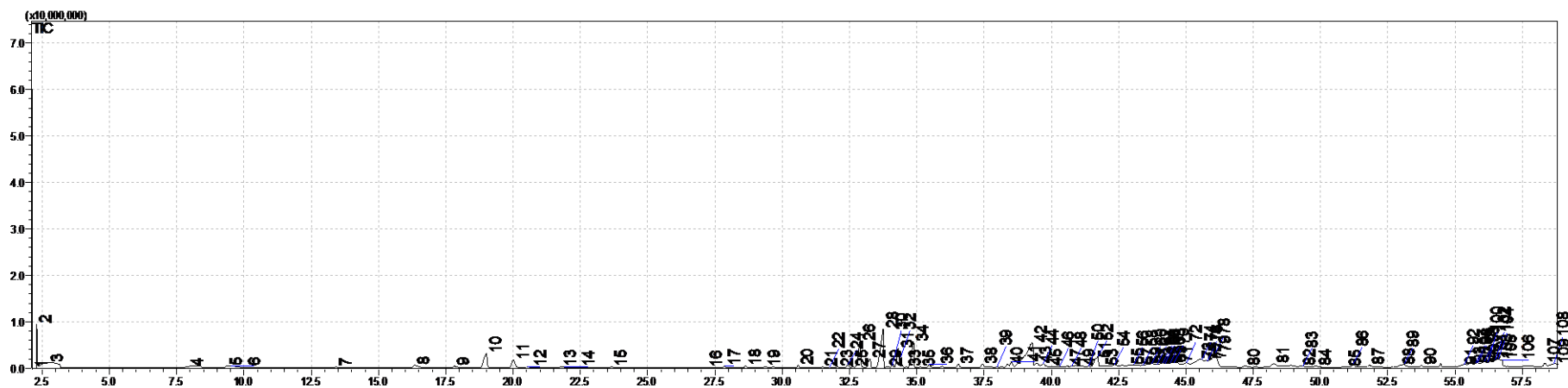


Рисунок Б1 – Хроматограмма образца № 1 CO₂-экстракта *Zingiber officinale*

Таблица Б1 – Компонентный состав образца № 1 CO₂-экстракта *Zingiber officinale*

	Время пика	Начало выхода	Конец выхода	Содержание относительно других компонентов, %	Название
1	2	3	4	5	6
1	2,150	2,135	2,280	0,21	Benzenamine, 4-methyl-N-[2-[1-(4-methylphenyl)-5-tetrazolyl]ethenyl]-
2	2,305	2,280	2,370	1,52	Furan, tetrahydro-2,5-dimethyl- (CAS)
3	2,735	2,335	3,220	3,34	Hexanal (CAS)

Продолжение Таблицы Б1

1	2	3	4	5	6
4	7,940	7,785	7,960	0,07	1,1-Dideuterocyclododecane
5	9,376	9,235	9,420	0,35	Eucalyptol
6	9,519	9,420	9,800	0,68	BICYCLO[2,2,1]HEPT-2-ENE, 1,7,7-TRIMETHYL-
7	13,449	13,340	13,490	0,07	1,6-OCTADIEN-3-OL, 3,7-DIMETHYL-
8	16,343	16,215	16,675	0,85	Endo-Borneol
9	17,820	17,720	18,055	0,37	Alpha,-Terpineol
10	19,003	18,780	19,170	3,39	Decanal (CAS)
11	20,017	19,865	20,220	1,76	(-)-Carvone
12	20,539	20,440	20,695	0,19	Citronellol
13	21,789	21,695	21,850	0,17	Trans-Geraniol
14	21,890	21,850	22,025	0,10	2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-, (Z)-
15	23,671	23,580	23,800	0,19	2-Undecanone (CAS)
16	27,203	27,140	27,285	0,05	1,2,4-Metheno-1H-indene, octahydro-1,7a-dimethyl-5-(1-methylethyl)-, [1S-(1,alpha,,2,alpha,,3a,beta,,4,alpha,,5,alpha,,7a,beta,,
17	27,858	27,765	27,965	0,19	Copaene
18	28,635	28,555	28,740	0,23	Cyclohexane, 1-ethenyl-1-methyl-2,4-bis(1-methylethenyl)-, [1S-(1,alpha,,2,beta,,4,beta,,)]-
19	29,344	29,250	29,560	0,30	Dodecanal (CAS)
20	30,592	30,500	30,705	0,29	Cyclohexane, 1-ethenyl-1-methyl-2-(1-methylethenyl)-4-(1-methylethylidene)-
21	31,487	31,405	31,585	0,16	Alloaromadendrene (CAS)
22	31,762	31,685	31,860	0,09	Cyclohexene, 3-(1,5-dimethyl-4-hexenyl)-6-methylene-, [S-(R*,S*)]-
23	32,055	31,970	32,140	0,09	(Z)-,Beta,-Farnesene
24	32,444	32,325	32,545	0,51	GERMACRENE-D
25	32,620	32,545	32,690	0,10	Naphthalene, decahydro-4a-methyl-1-methylene-7-(1-methylethenyl)-, [4aR-(4a,alpha,,7,alpha,,8a,beta,,)]-
26	32,893	32,690	33,045	4,61	BENZENE, 1-(1,5-DIMETHYL-4-HEXENYL)-4-METHYL-
27	33,258	33,045	33,370	1,68	NAPHTHALENE, 1,2,3,4,4A,5,6,8A-OCTAHYDRO-7-METHYL-4-METHYLENE-1-(1-METHYLETHYL)-, (1,ALPHA,,4A,BETA,,8A,ALPHA,,)-
28	33,753	33,480	33,805	8,38	Zingiberene (CAS)
29	33,892	33,805	34,010	0,21	1-ISOPROPYL-4-METHYL-7-METHYLENE-1,2,3,4,4A,5,6,7-OCTAHYDRONAPHTHALENE #
30	34,095	34,010	34,165	0,33	Cubedol
31	34,309	34,165	34,355	2,88	,Beta,-Bisabolene
32	34,412	34,355	34,540	1,58	Farnesene (CAS)

Продолжение Таблицы Б1

1	2	3	4	5	6
33	34,609	34,540	34,660	0,09	,Delta,-Cadinene (CAS)
34	34,883	34,660	34,985	4,79	,Beta,-Sesquiphellandrene (CAS)
35	35,129	35,065	35,210	0,10	Bicyclo[3,1,1]hept-2-ene, 2,6-dimethyl-6-(4-methyl-3-pentenyl)-
36	35,458	35,360	35,590	0,51	Cyclohexanemethanol, 4-ethenyl-,alpha,,,alpha,,4-trimethyl-3-(1-methylethenyl)-, [1R-(1,alpha,,3,alpha,,4,beta,,)]-
37	36,542	36,425	36,650	0,50	1,6,10-Dodecatrien-3-ol, 3,7,11-trimethyl-, (E)-
38	37,441	37,335	37,565	0,54	7-Epi-cis-sesquisabinene hydrate
39	37,982	37,890	38,065	0,08	1H-Cycloprop[e]azulen-7-ol, decahydro-1,1,7-trimethyl-4-methylene-, [1ar-(1a,alpha,,4a,alpha,,7,beta,,7a,beta,,7b,alpha,,)]-
40	38,370	38,245	38,430	0,53	Ledene oxide-(I)
41	38,520	38,430	38,630	1,03	Zingiberenol
42	39,267	38,645	39,370	11,75	2-Butanone, 4-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)- (CAS)
43	39,467	39,355	39,575	1,00	2-Naphthalenemethanol, decahydro-,alpha,,,alpha,,4a-trimethyl-8-methylene-, [2R-(2,alpha,,4a,alpha,,8a,beta,,)]-
44	39,698	39,575	39,780	0,81	2-Naphthalenemethanol, 1,2,3,4,4a,5,6,7-octahydro-,alpha,,,alpha,,4a,8-tetramethyl-, (2R-cis)-
45	39,820	39,780	39,935	0,18	,Alpha,-Cadinol
46	40,299	40,195	40,400	0,12	3,5,9-Trimethyl-deca-2,4,8-trien-1-ol
47	40,592	40,515	40,660	0,15	4-Hexen-1-ol, 6-(2,6,6-trimethyl-1-cyclohexenyl)-4-methyl-, (E)-
48	40,769	40,660	40,835	0,20	,beta,-bisabolol
49	41,072	40,995	41,220	0,28	7-Hydroxyfarnesen
50	41,391	41,315	41,440	0,06	,Alpha,-Bisabolol
51	41,655	41,440	41,685	1,56	3a(1H)-Azulenol, 2,3,4,5,8,8a-hexahydro-6,8a-dimethyl-3-(1-methylethyl)-, [3R-(3,alpha,,3a,alpha,,8a,alpha,,)]- (CAS)
52	41,725	41,685	41,825	1,07	6,10-Dodecadien-1-yn-3-ol, 3,7,11-trimethyl-
53	41,936	41,825	42,005	0,15	(E)-4-(1',2'-Epoxy-2',6',6'-trimethyl-1'-cyclohexyl)-2-methyl-1,3-pentadiene
54	42,341	42,240	42,460	0,25	Cembrene
55	42,888	42,770	42,970	0,30	Cyclopropanemethanol, ,alpha,,2-dimethyl-2-(4-methyl-3-pentenyl)-, [1,alpha,(R*),2,alpha,]-
56	43,049	42,970	43,150	0,31	4,8,12-Tetradecatrienal, 5,9,13-trimethyl-
57	43,242	43,150	43,310	0,23	FARNESOL 3
58	43,408	43,310	43,425	0,18	trans-6-shogaol
59	43,550	43,425	43,580	0,42	1-(5,5-Dimethyl-2-methylene-5,6,7,7a-tetrahydro-2H-cyclopenta[b]pyran-4a-yl)-ethanone
60	43,727	43,625	43,760	0,58	cis-6-shogaol
61	43,785	43,760	43,860	0,39	Bicyclo[3,1,0]hexan-3-ol, 4-methyl-1-(1-methylethyl)-

Продолжение Таблицы Б1

1	2	3	4	5	6
62	43,935	43,860	43,960	0,34	2,6-DITERT-BUTYL-4-METHYLPHENYL PHENYL CARBAMATE
63	44,000	43,960	44,030	0,29	1-Propene, 1-methoxy(1-methyl-2-cyclopenten-1-yl)- (CAS)
64	44,140	44,030	44,190	0,85	Trans-6-shogaol
65	44,200	44,190	44,215	0,14	8,8-Dicyclopropyl-2,2-dimethyl-1,7-dioxaspiro[4,4]nonan-6-one
66	44,230	44,215	44,265	0,27	Phenol, 2-methyl-5-(1,2,2-trimethylcyclopentyl)-, (S)-
67	44,275	44,265	44,290	0,12	2H-1,3-Benzoxazine, octahydro-2-(4-methoxyphenyl)-, trans-
68	44,420	44,290	44,435	0,78	(E)-4-(2',6',6'-Trimethyl-1',2'-epoxycyclohexyl)-3-penten-2-one
69	44,465	44,435	44,475	0,25	1-(4-Pyridin-2-yl-piperazin-1-yl)-ethanone
70	44,570	44,475	44,595	0,81	Gingerol
71	44,660	44,595	44,815	1,23	Trans-6-shogaol
72	45,028	44,815	45,130	1,63	Gingerol
73	45,500	45,130	45,510	3,03	,Alpha,-Cedrene oxide
74	45,593	45,510	45,695	2,16	Cis-6-shogaol
75	45,742	45,695	45,795	1,05	Cedrane, 8-propoxy-
76	45,810	45,795	45,845	0,53	3,3-Dimethyl-cis-1,3a,4,9b-tetrahydro-3H-[1]benzopyrano[4,3-c]isoxazole
77	45,938	45,845	45,950	1,28	Gingerol
78	46,090	45,950	46,100	2,84	2,5,5,8a-Tetramethyl-4-methylene-6,7,8,8a-tetrahydro-4H,5H-chromen-4a-yl hydroperoxide
79	46,112	46,100	46,420	2,02	Naphthalene, 1,1'-(1,2-ethanediyl)bis[decahydro-
80	47,194	47,060	47,375	0,40	Isoaromadendrene epoxide
81	48,274	48,075	48,470	0,98	Spiro[4,5]decan-7-one, 1,8-dimethyl-8,9-epoxy-4-isopropyl-
82	49,260	49,170	49,290	0,12	Geranyl-,alpha,-terpinene
83	49,345	49,290	49,460	0,13	Bicyclo[2,2,1]heptan-2-ol, 2-allyl-1,7,7-trimethyl-
84	49,840	49,710	50,015	0,21	Benzenepropanamide, 3,4-dimethoxy-N-(5-methyl-3-isoxazolyl)-
85	50,940	50,815	50,990	0,06	6,10-Dodecadien-1-yn-3-ol, 3,7,11-trimethyl- (CAS)
86	51,218	51,105	51,350	0,54	1,2-Benzenedicarboxylic acid, bis(2-methylpropyl) ester
87	51,819	51,680	51,950	0,28	Geranyl-p-cymene
88	52,945	52,790	52,970	0,25	Geranyl-,alpha,-terpinene
89	53,104	52,970	53,220	0,71	n-Hexadecanoic acid
90	53,740	53,660	53,835	0,22	Hexadecanoic acid, ethyl ester
91	55,250	55,045	55,265	0,32	7,14-Methano-2H,6H-dipyrido[1,2-a:1',2'-E][1,5]diazocin-6-one, dodecahydro-, [7s-(7,alpha,,7a,beta,,14,alpha,,14a,alpha,)]-
92	55,337	55,265	55,435	0,63	Gingerol
93	55,580	55,435	55,690	1,29	Gingerol

Продолжение Таблицы Б1

94	55,765	55,690	55,775	0,45	DIEPI-,ALPHA,-CEDRENEPOXIDE
95	55,795	55,775	55,805	0,19	Pelargonic acid vanillylamide
96	55,832	55,805	55,895	0,57	Gingerol
97	55,925	55,895	55,940	0,26	1-(6,6-Dimethylbicyclo[3,1,1]hept-2-en-2-ylmethyl)-4-phenyl-1,2,4-triazolidine-3,5-dione
98	56,083	55,940	56,095	1,20	Gingerol
99	56,119	56,095	56,185	0,78	Gingerol
100	56,220	56,185	56,235	0,36	Gingerol
101	56,401	56,235	56,475	2,80	Furan, 2,5-dibutyl-
102	56,495	56,475	56,540	0,78	Gingerol
103	56,570	56,540	56,580	0,52	Gingerol
104	56,611	56,580	56,685	1,37	Gingerol
105	56,721	56,685	56,730	0,50	Gingerol
106	56,745	56,730	56,795	0,43	Gingerol
107	58,340	58,215	58,430	0,47	1,6,10,14-Hexadecatetraen-3-ol, 3,7,11,15-tetramethyl-, (E,E)-

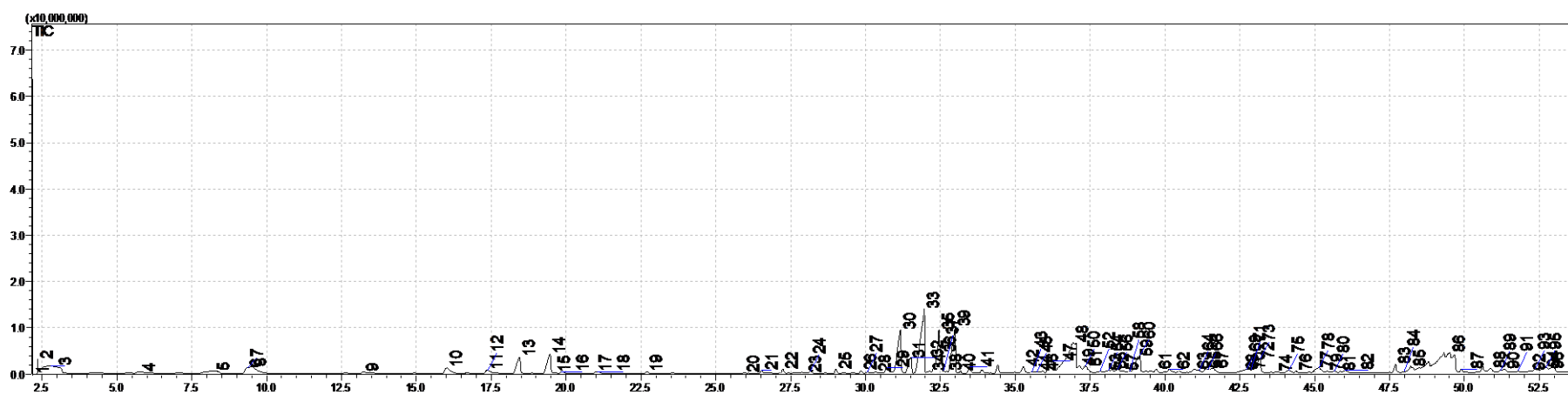


Рисунок Б2 – Хроматограмма образца № 2 CO₂-экстракта *Zingiber officinale*

Таблица Б2 – Компонентные состав образца № 2 CO₂-экстракта *Zingiber officinale*

	Время пика	Начало выхода	Конец выхода	Содержание относительно других компонентов, %	Название
1	2	3	4	5	6
1	2,215	2,185	2,330	0,13	Tetraethyl 2,7,12,18-tetramethyl-7,8(diacetyl)methylene-21H,23H-porphine-3,8,13,17-tetrapropionate
2	2,355	2,330	2,375	0,32	2-Heptanol, 3-methyl-
3	2,789	2,450	3,200	2,88	Hexanal (CAS)
4	5,754	5,610	6,010	0,34	Camphene
5	8,242	7,760	8,500	1,07	OCTANAL
6	9,352	9,195	9,365	0,58	Eucalyptol
7	9,375	9,365	9,395	0,18	1-Cyclopentene-1-methanol, 2-methyl-5-(1-methylethyl)-
8	9,491	9,395	10,070	2,16	BICYCLO[2,2,1]HEPT-2-ENE, 1,7,7-TRIMETHYL-
9	13,241	13,125	13,260	0,11	Linalool
10	16,012	15,850	16,390	1,27	Endo-Borneol
11	17,361	17,240	17,380	0,26	,Alpha,-Terpineol
12	17,390	17,380	17,605	0,30	3-Cyclohexene-1-methanol, ,alpha,,,alpha,,4-trimethyl-, (S)- (CAS)
13	18,442	18,210	18,605	2,49	Decanal (CAS)
14	19,466	19,225	19,585	2,96	(-)-Carvone
15	19,625	19,585	19,755	0,09	E-Citral
16	19,855	19,755	20,025	0,27	Citronellol
17	20,992	20,885	21,030	0,18	2,6-OCTADIEN-1-OL, 3,7-DIMETHYL-, (E)-
18	21,065	21,030	21,255	0,22	3,7-DIMETHYL-2,6-OCTADIENAL
19	22,715	22,595	22,830	0,20	2-Undecanone (CAS)
20	25,954	25,870	26,030	0,10	1,2,4-Metheno-1H-indene, octahydro-1,7a-dimethyl-5-(1-methylethyl)-, [1S-(1,alpha,,2,alpha,,3a,beta,,4,alpha,,5,alpha,,7a,beta,
21	26,534	26,435	26,630	0,27	Copaene
22	27,243	27,155	27,360	0,35	(-)-,Beta,-Elemene
23	28,011	27,940	28,080	0,09	1-PENTEN-3-ONE, 2-METHYL-
24	28,149	28,080	28,330	0,23	Zingiberene (CAS)
25	29,014	28,910	29,120	0,38	Cyclohexane, 1-ethenyl-1-methyl-2-(1-methylethenyl)-4-(1-methylethylidene)-
26	29,852	29,750	29,960	0,23	Alloaromadendrene
27	30,066	29,960	30,200	0,14	Cyclohexene, 3-(1,5-dimethyl-4-hexenyl)-6-methylene-, [S-(R*,S*)]-
28	30,327	30,200	30,455	0,14	Cis-,beta,-Farnesene

Продолжение Таблицы Б2

1	2	3	4	5	6
29	30,721	30,585	30,830	0,68	GERMACRENE-D
30	31,168	30,890	31,305	6,32	BENZENE, 1-(1,5-DIMETHYL-4-HEXENYL)-4-METHYL-
31	31,485	31,305	31,495	1,33	Cubedol
32	31,519	31,495	31,595	0,79	NAPHTHALENE, 1,2,3,4,4A,5,6,8A-OCTAHYDRO-7-METHYL-4-METHYLENE-1-(1-METHYLETHYL)-, (1,ALPHA,,4A,BETA,,8A,ALPHA,)-
33	31,962	31,595	32,000	10,81	Zingiberene (CAS)
34	32,140	32,000	32,195	0,30	1-ISOPROPYL-4-METHYL-7-METHYLENE-1,2,3,4,4A,5,6,7-OCTAHYDRONAPHTHALENE #
35	32,453	32,195	32,515	5,45	,Beta,-Bisabolene (CAS)
36	32,525	32,515	32,585	0,84	Farnesene (CAS)
37	32,613	32,585	32,660	0,16	6-Epi-shyobunol
38	32,706	32,660	32,755	0,15	,Delta,-Cadinene (CAS)
39	32,992	32,755	33,040	6,32	,Beta,-Sesquiphellandrene (CAS)
40	33,166	33,100	33,240	0,14	Bicyclo[3,1,1]hept-2-ene, 2,6-dimethyl-6-(4-methyl-3-pentenyl)-
41	33,478	33,360	33,675	0,74	Cyclohexanemethanol, 4-ethenyl-,alpha,,alpha,,4-trimethyl-3-(1-methylethenyl)-, [1R-(1,alpha,,3,alpha,,4,beta,)]-
42	35,275	35,130	35,400	0,80	7-Epi-cis-sesquisabinene hydrate
43	35,560	35,400	35,580	0,14	Octadecanoic acid, 4-hydroxybutyl ester
44	35,694	35,620	35,715	0,13	Dodecanoic acid (CAS)
45	35,732	35,715	35,835	0,16	Humulen-(v1)
46	35,916	35,835	36,000	0,25	2-Naphthalenemethanol, 1,2,3,4,4a,5,6,7-octahydro-,alpha,,alpha,,4a,8-tetramethyl-, (2R-cis)-
47	36,242	36,000	36,330	1,97	1,6,10-Dodecatrien-3-ol, 3,7,11-trimethyl-, (E)-
48	36,939	36,360	37,070	9,21	2-Butanone, 4-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)- (CAS)
49	37,148	37,060	37,245	1,09	,Beta,-Eudesmol (CAS)
50	37,334	37,245	37,355	0,64	(-)-Spathulenol
51	37,370	37,355	37,545	0,62	2-Naphthalenemethanol, 1,2,3,4,4a,5,6,8a-octahydro-,alpha,,alpha,,4a,8-tetramethyl-, [2R-(2,alpha,,4a,alpha,,8a,beta,)]-
52	37,824	37,635	37,930	0,30	3,5,9-Trimethyl-deca-2,4,8-trien-1-ol
53	38,040	37,930	38,055	0,16	1H-Cycloprop[e]azulen-7-ol, decahydro-1,1,7-trimethyl-4-methylene-, [1a-(1a,alpha,,4a,alpha,,7,beta,,7a,beta,,7b,alpha,)]-
54	38,115	38,055	38,155	0,23	Acetaldehyde, (3,3-dimethylcyclohexylidene)-, (Z)-
55	38,217	38,155	38,285	0,37	,Beta,-bisabolol
56	38,422	38,285	38,575	0,73	Alloaromadendrene oxide-(2)

Продолжение Таблицы Б2

1	2	3	4	5	6
57	38,615	38,575	38,695	0,19	3,6,6,7B-TETRAMETHYLDECAHYDRO-1H-CYCLOBUTA[E]INDEN-3-OL #
58	38,824	38,695	38,865	0,24	,Alpha,-Bisabolol
59	39,086	38,865	39,125	2,29	2-Cyclohexen-1-ol, 2-methyl-5-(1-methylethenyl)-, cis-
60	39,166	39,125	39,285	1,19	6,10-Dodecadien-1-yn-3-ol, 3,7,11-trimethyl- (CAS)
61	39,700	39,275	39,780	0,48	Cembrene
62	40,150	40,035	40,260	0,48	2,6,10,14-Hexadecatetraen-1-ol, 3,7,11,15-tetramethyl-, acetate, (E,E,E)-
63	40,998	40,840	41,100	0,65	CITRONELLA
64	41,140	41,100	41,245	0,25	7R,8R-8-Hydroxy-4-isopropylidene-7-methylbicyclo[5,3,1]undec-1-ene
65	41,375	41,245	41,425	0,53	Phenol, 2-methyl-5-(1,2,2-trimethylcyclopentyl)-, (S)- (CAS)
66	41,437	41,425	41,470	0,15	(2,4,6-Trimethyl-5-oxocyclohex-3-enyl)acetic acid, methyl ester
67	41,599	41,470	41,865	0,92	3,6-Dimethyl-2,3,3a,4,5,7a-hexahydrobenzofuran
68	42,610	42,375	42,635	0,38	1-Pentyl-4-(4-propylcyclohexyl)cyclohexane
69	42,724	42,635	42,785	0,47	Tetradecanoic acid (CAS)
70	42,839	42,785	42,860	0,24	2-Naphthalenemethanol, decahydro-,alpha,,alpha,,4a-trimethyl-8-methylene-, [2R-(2,alpha,,4a,alpha,,8a,beta,,)]-
71	42,870	42,860	42,890	0,09	2-(1,1,3,3-Tetramethylbutyl)-1,4-benzenediol peak 1
72	43,130	42,890	43,145	1,99	(-)-Caryophyllene oxide
73	43,177	43,145	43,445	0,92	2-Butanone, 4-(2,6,6-trimethyl-2-cyclohexen-1-yl)-, (R)-
74	43,725	43,600	43,865	0,14	Cyclopropanemethanol, ,alpha,,2-dimethyl-2-(4-methyl-3-pentenyl)-, [1,alpha,(R*),2,alpha,]-
75	44,133	43,975	44,295	0,37	Caryophyllene oxide
76	44,385	44,295	44,495	0,13	Neoisolongifolane, hydroxy-
77	45,095	44,910	45,110	0,56	2-Dodecen-1-yl(-)succinic anhydride
78	45,143	45,110	45,320	0,62	DIEPI-,ALPHA,-CEDRENEPOXIDE
79	45,416	45,320	45,525	0,21	3,5,9-Trimethyl-deca-2,4,8-trien-1-ol
80	45,658	45,525	45,785	0,24	2,3a-Dimethylhexahydrobenzofuran-7a-ol
81	45,863	45,785	45,900	0,10	Geranyl-,alpha,-terpinene
82	46,019	45,900	46,160	0,37	Neoisolongifolane, hydroxy-
83	47,702	47,555	47,865	0,82	1,2-BENZENEDICARBOXYLIC ACID, BIS(2-METHYLPROPYL) ESTER
84	47,990	47,865	48,005	0,10	m-Toluic acid, hexadecyl ester
85	48,201	48,005	48,250	0,84	Geranyl-p-cymene
86	49,519	48,255	49,760	12,14	Gingerol
87	49,897	49,790	49,975	0,22	Hexadecanoic acid, ethyl ester
88	50,881	50,730	51,025	0,48	Dihydrocapsaicin

Продолжение Таблицы Б2

1	2	3	4	5	6
89	51,222	51,115	51,265	0,19	Benzenepropanamide, 3,4-dimethoxy-N-(5-methyl-3-isoxazolyl)-
90	51,337	51,265	51,500	0,31	7-Oxabicyclo[4,1,0]heptane, 1-(2,3-dimethyl-1,3-butadienyl)-2,2,6-trimethyl-, (E)-
91	51,790	51,715	51,870	0,11	1,6,10,14-Hexadecatetraen-3-ol, 3,7,11,15-tetramethyl-, (E,E)-
92	52,188	52,005	52,235	0,15	(E)-4-(1',2'-Epoxy-2',6',6'-trimethyl-1'-cyclohexyl)-2-methyl-1,3-pentadiene
93	52,372	52,235	52,500	0,61	(E)-4-(2',6',6'-Trimethyl-1',2'-epoxycyclohexyl)-3-penten-2-one
94	52,675	52,525	52,685	0,50	Dodecanoic acid, 9-decen-1-yl ester
95	52,727	52,685	52,805	0,48	2H-Cyclopropa[g]benzofuran, 4,5,5a,6,6a,6b-hexahydro-4,4,6b-trimethyl-2-(1-methylethenyl)- (CAS)
96	52,820	52,805	52,830	0,08	2-Ethyl-6-methyl-6,7-dihydro-9H-5-oxa-9-azabenzocyclohepten-8-one

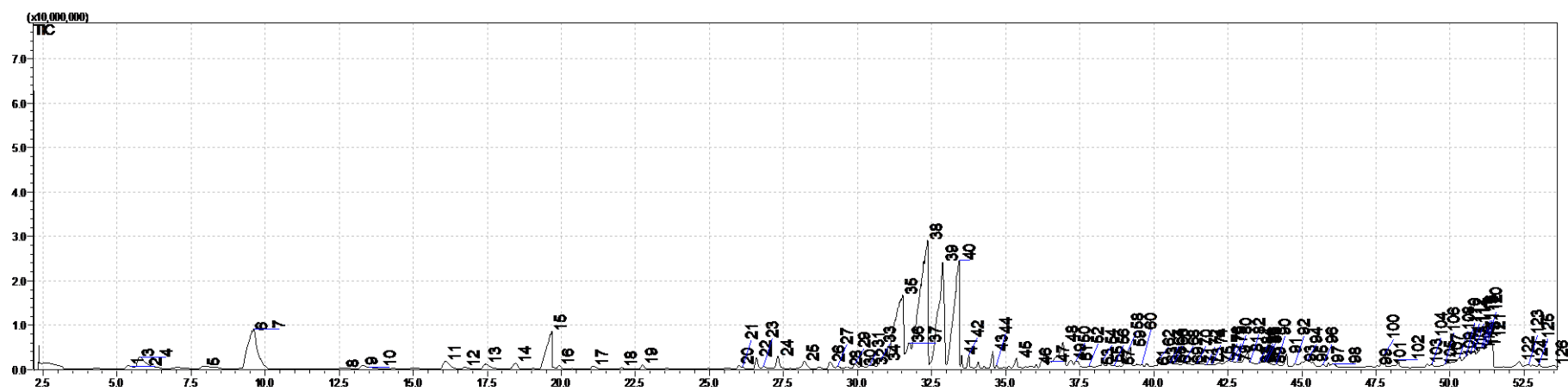


Рисунок Б3 – Хроматограмма образца № 3 CO₂-экстракта *Zingiber officinale*

Таблица Б3 – Компонентные состав образца № 3 CO₂-экстракта *Zingiber officinale*

	Время пика	Начало выхода	Конец выхода	Содержание относительно других компонентов, %	Название
1	2	3	4	5	6
1	5,382	5,210	5,445	0,23	,Alpha,-Pinene
2	5,460	5,445	5,575	0,12	,Beta,-Ocimene
3	5,758	5,575	5,770	0,57	Camphene (CAS)
4	5,788	5,770	6,315	1,40	TRICYCLO[3,1,0,0(2,4)]HEXANE, 3,3,6,6-TETRAMETHYL-, (1,ALPHA,,2,BETA,,4,BETA,,5,ALPHA,)-
5	7,957	7,765	8,630	0,55	,Beta,-Myrcene
6	9,559	9,205	9,590	3,79	p-Menth-2-en-1-ol
7	9,610	9,590	10,160	3,28	BICYCLO[2,2,1]HEPT-2-ENE, 1,7,7-TRIMETHYL-
8	12,644	12,440	12,930	0,14	Bicyclo[4,1,0]heptan-3-ol, 3,7,7-trimethyl-, [1S-(1,alpha,,3,beta,,6,alpha,)]-
9	13,291	13,155	13,470	0,30	Linalool
10	13,516	13,470	13,710	0,11	2-Nonanol (CAS)
11	16,093	15,905	16,575	0,94	Endo-Borneol
12	16,717	16,610	16,970	0,12	3-Cyclohexen-1-ol, 4-methyl-1-(1-methylethyl)- (CAS)
13	17,468	17,280	17,780	0,47	3-Cyclohexene-1-methanol, ,alpha,,alpha,,4-trimethyl-, (S)- (CAS)
14	18,465	18,250	18,675	0,49	Decanal (CAS)
15	19,674	19,285	19,710	3,59	(-)-Carvone
16	19,922	19,825	20,125	0,20	Citronellol
17	21,065	20,935	21,310	0,23	2,6-OCTADIEN-1-OL, 3,7-DIMETHYL-, (E)-
18	22,030	21,930	22,195	0,07	,Alpha,-Fenchyl acetate
19	22,737	22,625	22,930	0,23	2-Undecanone
20	25,991	25,885	26,065	0,18	1,2,ALPHA,,4-METHENOINDAN, 3A,BETA,,4,BETA,,5,6,7,7A-HEXAHYDRO-5,ALPHA,-ISOPROPYL-1,BETA,,7A,BE TA,-DIMETHYL-
21	26,114	26,065	26,260	0,09	(+)-CYCLOISOSATIVENE
22	26,591	26,455	26,730	0,54	Copaene
23	26,816	26,730	27,050	0,17	Geranyl acetate
24	27,317	27,190	27,575	0,70	Cyclohexane, 1-ethenyl-1-methyl-2,4-bis(1-methylethenyl)-, [1S-(1,alpha,,2,beta,,4,beta,)]-
25	28,195	27,955	28,445	0,59	Trans-,alpha,-Bergamotene
26	29,066	28,945	29,245	0,48	Cyclohexane, 1-ethenyl-1-methyl-2-(1-methylethenyl)-4-(1-methylethylidene)-
27	29,326	29,245	29,485	0,17	,Alpha,-Bergamotene (CAS)
28	29,643	29,485	29,800	0,17	1H-Benzocycloheptene, 2,4a,5,6,7,8,9,9a-octahydro-3,5,5-trimethyl-9-methylene-, (4aS-cis)- (CAS)

Продолжение Таблицы БЗ

1	2	3	4	5	6
29	29,908	29,800	30,040	0,34	Alloaromadendrene
30	30,113	30,040	30,265	0,22	,Beta,-Sesquiphellandrene (CAS)
31	30,404	30,265	30,420	0,18	,Beta,-Farnesene
32	30,520	30,485	30,555	0,10	Caryophyllene
33	30,797	30,630	30,920	0,98	GERMACRENE-D
34	30,925	30,920	30,975	0,19	1H-Cyclopenta[1,3]cyclopropa[1,2]benzene, octahydro-7-methyl-3-methylene-4-(1-methylethyl)-, [3aS-(3a,α,,3b,β,,4,β,,7
35	31,522	31,005	31,580	9,27	Benzene, 1-(1,5-dimethyl-4-hexenyl)-4-methyl-
36	31,725	31,585	31,735	1,37	BICYCLO[4,4,0]DEC-1-EN, 2-ISOPROPYL-5-METHYL-9-METHYLENE-
37	31,748	31,735	31,815	0,89	1-ISOPROPYL-4-METHYL-7-METHYLENE-1,2,3,4,4A,5,6,7-OCTAHYDRONAPHTHALENE #
38	32,363	31,825	32,410	16,82	Zingiberene (CAS)
39	32,872	32,415	32,990	12,10	,Alpha,-Farnesene
40	33,433	32,995	33,460	10,92	,Beta,-Sesquiphellandrene (CAS)
41	33,515	33,465	33,635	0,31	,Alpha,-Bergamotene (CAS)
42	33,754	33,635	33,805	0,41	Cyclohexanemethanol, 4-ethenyl-,α,,α,,4-trimethyl-3-(1-methylethenyl)-, [1R-(1,α,,3,α,,4,β,,)]-
43	34,563	34,420	34,630	0,60	1,6,10-Dodecatrien-3-ol, 3,7,11-trimethyl-, (E)-
44	34,693	34,630	34,795	0,12	Benzene, 1-(1,5-dimethylhexyl)-4-methyl- (CAS)
45	35,357	35,190	35,480	0,44	7-Epi-cis-sesquisabinene hydrate
46	36,029	35,960	36,100	0,11	,Gama,-eudesmol
47	36,512	36,410	36,545	0,30	1H-Cycloprop[e]azulen-7-ol, decahydro-1,1,7-trimethyl-4-methylene-, [1ar-(1a,α,,4a,α,,7,β,,7a,β,,7b,α,,)]-
48	36,939	36,615	37,030	1,58	2-Butanone, 4-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)- (CAS)
49	37,205	37,065	37,290	0,54	2-Naphthalenemethanol, decahydro-,α,,α,,4a-trimethyl-8-methylene-, [2R-(2,α,,4a,α,,8a,β,,)]-
50	37,370	37,290	37,395	0,26	(-)-Spathulenol (CAS)
51	37,418	37,395	37,585	0,29	2-Naphthalenemethanol, 1,2,3,4,4a,5,6,8a-octahydro-,α,,α,,4a,8-tetramethyl-, [2R-(2,α,,4a,α,,8a,β,,)]-
52	37,814	37,685	37,885	0,11	d-Nerolidol
53	38,153	37,980	38,200	0,16	Caryophyllene oxide
54	38,281	38,200	38,375	0,32	7-Epi-trans-sesquisabinene hydrate
55	38,472	38,375	38,620	0,35	1H-Cycloprop[e]azulene, decahydro-1,1,4,7-tetramethyl-, [1aR-(1a,α,,4,β,,4a,β,,7,β,,7a,β,,7b,α,,)]-
56	38,668	38,620	38,755	0,12	Cyclopentanone, 3-[3,5-decadienyl]-, (E,E)-

Продолжение Таблицы Б3

1	2	3	4	5	6
57	38,835	38,755	38,915	0,11	,Alpha,-Bisabolol
58	39,145	38,915	39,175	1,13	2-Cyclohexen-1-ol, 2-methyl-5-(1-methylethenyl)-, cis-
59	39,221	39,185	39,495	-0,59	6,10-Dodecadien-1-yn-3-ol, 3,7,11-trimethyl-
60	39,602	39,520	39,675	0,18	DIHYDROIONONE
61	40,005	39,870	40,020	0,09	6-Nonenal, (E)- (CAS)
62	40,201	40,080	40,285	0,48	,Alpha,-Bisabolol
63	40,305	40,285	40,385	0,15	cis-Farnesol
64	40,552	40,385	40,580	0,34	1,6,10,14-Hexadecatetraen-3-ol, 3,7,11,15-tetramethyl-, (E,E)-
65	40,595	40,580	40,625	0,09	2-Chloroethyl linoleate
66	40,675	40,625	40,705	0,15	2,5-Furandione, dihydro-3-(2-methyl-2-propenyl)-
67	40,763	40,705	40,900	0,32	Zingiberene (CAS)
68	41,035	40,900	41,140	0,48	5-Isopropenyl-2-methyl-7-oxabicyclo[4,1,0]heptan-2-ol
69	41,170	41,140	41,320	0,28	9-Isopropyl-1-methyl-2-methylene-5-oxatricyclo[5,4,0,0(3,8)]undecane
70	41,454	41,320	41,530	0,35	Phenol, 2-methyl-5-(1,2,2-trimethylcyclopentyl)-, (S)-
71	41,598	41,530	41,750	0,36	(+) Spathulenol
72	41,775	41,750	41,805	0,07	E3-DODECENYLACETATE
73	41,867	41,805	41,910	0,14	Cyclopentanol, 3-methyl-2-(2-pentenyl)-
74	41,955	41,910	41,970	0,08	Acetate, (acetyloxy)(4-ethoxy-1-oxo-2-pyridyl)methyl ester
75	42,192	42,050	42,280	0,42	9-Undecenal, 2,6,10-trimethyl-
76	42,518	42,280	42,545	0,65	Ethyl Oleate
77	42,555	42,545	42,605	0,18	10-Methyldodecan-5-olide
78	42,645	42,605	42,710	0,29	6-Octadecenoic acid, (Z)-
79	42,770	42,710	42,795	0,22	DIEPI-,ALPHA,-CEDRENEPOXIDE
80	42,808	42,795	42,940	0,36	Gingerol
81	43,166	42,940	43,270	1,44	2,6,10,14-Hexadecatetraen-1-ol, 3,7,11,15-tetramethyl-, acetate, (E,E,E)-
82	43,245	43,240	43,440	0,01	3-(3-Hydroxy-4-methoxyphenyl)-l-alanine
83	43,495	43,425	43,505	0,13	(2E)-4-(4-Hydroxy-3-methoxyphenyl)-2-butanone oxime
84	43,545	43,505	43,560	0,11	Dihydrocapsaicin
85	43,615	43,585	43,630	0,10	1-(2,4-Dihydroxyphenyl)-2-(4-methoxy-3-nitrophenyl)ethanone
86	43,715	43,630	43,730	0,25	3-Hexanol, 3,4-diethyl-,
87	43,744	43,730	43,770	0,11	CIS-VERBENOL
88	43,800	43,770	43,935	0,38	N-Formyl(4-hydroxy-2-methoxyphenyl)alanine,ethyl ester
89	43,945	43,935	44,035	0,15	Gingerol

Продолжение Таблицы Б3

1	2	3	4	5	6
90	44,134	44,035	44,270	0,30	1H-CYCLOPROP[E]AZULEN-4-OL, DECAHYDRO-1,1,4,7-TETRAMETHYL-, [1AR-(1A,ALPHA,,4,ALPHA,,4A,BETA,,7,ALPHA,,7A,BETA,,7B,ALPHA,,)]-
91	44,484	44,270	44,550	0,69	Neoisolongifolane, hydroxy-
92	44,769	44,645	44,825	0,22	Globulol
93	44,999	44,825	45,015	0,31	3,7-Benzofurandiol, 2,3-dihydro-2,2-dimethyl-, 7-(methylcarbamate) (CAS)
94	45,186	45,045	45,310	0,78	(E)-4-(1',2'-Epoxy-2',6',6'-trimethyl-1'-cyclohexyl)-2-methyl-1,3-pentadiene
95	45,363	45,310	45,530	0,32	(E)-4-(2',6',6'-Trimethyl-1',2'-epoxycyclohexyl)-3-penten-2-one
96	45,709	45,530	45,820	0,21	7-Tetradecenal, (Z)-
97	45,898	45,820	45,945	0,15	Geranyl-,alpha,-terpinene
98	46,055	45,945	46,315	0,32	9-(3,3-Dimethyloxiran-2-yl)-2,7-dimethylnona-2,6-dien-1-ol
99	47,543	47,395	47,600	0,10	(E,E)-7,11,15-Trimethyl-3-methylene-hexadeca-1,6,10,14-tetraene
100	47,789	47,600	47,875	0,75	1,2-BENZENEDICARBOXYLIC ACID, BIS(2-METHYLPROPYL) ESTER
101	47,995	47,875	48,010	0,07	BUTANE, 1,2-DIDEUTERO-2-(P-ANISYL)-
102	48,259	48,170	48,400	0,29	Geranyl-p-cymene
103	49,233	49,090	49,285	0,15	Geranyl-,alpha,-terpinene
104	49,390	49,285	49,530	0,23	n-Hexadecanoic acid
105	49,725	49,655	49,750	0,08	GERANYL LINALOOL ISOMER B
106	49,828	49,750	49,860	0,15	Cis-6-shogaol
107	49,945	49,860	49,995	0,35	HEXADECANOIC ACID, ETHYL ESTER
108	50,309	50,005	50,320	-0,09	(E)-4-(2',6',6'-Trimethyl-1',2'-epoxycyclohexyl)-3-penten-2-one
109	50,344	50,320	50,395	0,30	Gingerol
110	50,525	50,395	50,540	0,61	Trans-6-shogaol
111	50,626	50,540	50,680	0,97	1,6,10,14-Hexadecatetraen-3-ol, 3,7,11,15-tetramethyl-, (E,E)-
112	50,693	50,680	50,705	0,16	Cis-6-shogaol
113	50,725	50,705	50,735	0,20	Trans-6-shogaol
114	50,833	50,770	50,935	-0,01	Gingerol
115	50,985	50,940	50,995	0,43	Cis-6-shogaol
116	51,064	51,005	51,075	0,02	Trans-6-shogaol
117	51,097	51,080	51,120	0,38	Trans-6-shogaol
118	51,130	51,120	51,150	0,27	Cis-6-shogaol
119	51,187	51,150	51,200	0,46	Phenol, 4-ethyl-2-methoxy- (CAS)
120	51,255	51,200	51,275	0,77	Trans-6-shogaol
121	51,368	51,305	51,500	0,67	Gingerol

Продолжение Таблицы Б3

1	2	3	4	5	6
122	52,329	52,080	52,465	0,49	(E)-4-(2',6',6'-Trimethyl-1',2'-epoxycyclohexyl)-3-penten-2-one
123	52,652	52,465	52,720	0,23	Pulegone semicarbazone
124	52,777	52,720	52,930	0,14	4-Methyl-5-(3'-methyl-2'-butenyl)-6-methyl-1-formyl-6-(4"-methyl-3"-pentenyl)-1,3-cyclohexadiene
125	53,001	52,930	53,180	0,13	9-Octadecenoic acid, methyl ester (CAS)
126	53,483	53,365	53,500	0,07	2,6-Octadiene, 2,6-dimethyl-

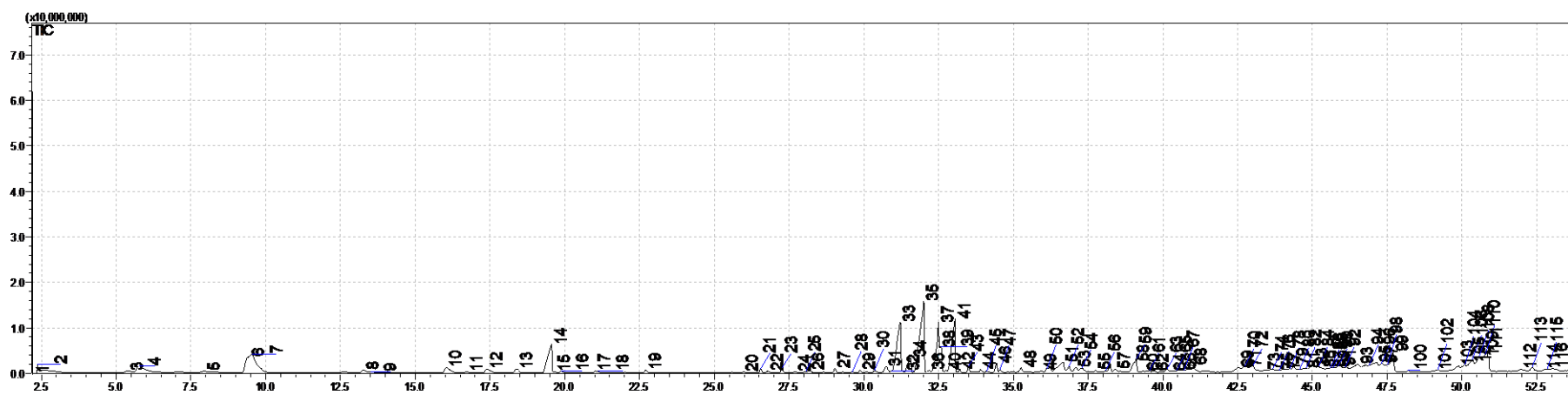


Рисунок Б4 – Хроматограмма образца № 4 CO₂-экстракта *Zingiber officinale*

Таблица Б4 – Компонентные состав образца № 4 CO₂-экстракта *Zingiber officinale*

	Время пика	Начало выхода	Конец выхода	Содержание относительно других компонентов, %	Название
1	2	3	4	5	6
1	2,225	2,205	2,350	0,12	Methyl 8-[3'-hexylidene-2'-methoxy-5'-(oct-1''-enyl)-2'-oxo-2',3'-dihydro-2,lambda(5),-[1,2]-oxaphosphol-4'-yl]-octanoate
2	2,376	2,370	3,195	-0,27	2-Hexanol, 3,4-dimethyl- (CAS)
3	5,378	5,220	5,595	0,37	,Alpha,-Pinene
4	5,765	5,595	6,180	1,75	Camphene
5	7,946	7,765	8,090	0,16	,Beta,-Myrcene
6	9,440	9,205	9,450	2,26	1,8-Cineole
7	9,546	9,450	10,095	4,99	BICYCLO[2,2,1]HEPT-2-ENE, 1,7,7-TRIMETHYL-
8	13,259	13,150	13,455	0,40	Linalool
9	13,514	13,455	13,660	0,10	2-Nonanol (CAS)
10	16,047	15,895	16,400	1,10	Endo-Borneol
11	16,723	16,620	16,910	0,11	3-CYCLOHEXEN-1-OL, 4-METHYL-1-(1-METHYLETHYL)-
12	17,406	17,265	17,650	0,59	,Alpha,-Terpineol
13	18,401	18,240	18,590	0,59	Decanal
14	19,560	19,250	19,635	4,82	(-)-Carvone
15	19,670	19,635	19,785	0,10	Citral
16	19,888	19,785	20,090	0,25	Citronellol
17	21,022	20,915	21,060	0,15	Geraniol
18	21,105	21,060	21,290	0,17	3,7-DIMETHYL-2,6-OCTADIENAL
19	22,711	22,620	22,880	0,28	2-Undecaneone
20	25,970	25,890	26,050	0,12	1,2,ALPHA,,4-METHENOINDAN, 3A,BETA,,4,BETA,,5,6,7,7A-HEXAHYDRO-5,ALPHA,-ISOPROPYL-1,BETA,,7A,BE TA,-DIMETHYL-
21	26,554	26,450	26,690	0,36	Copaene
22	26,791	26,690	26,890	0,18	2,6-OCTADIEN-1-OL, 3,7-DIMETHYL-, ACETATE
23	27,271	27,165	27,380	0,43	(-),Beta,-Elemene
24	27,715	27,625	27,825	0,13	5,6-Dihydroxy-5-isopropyl-6-methyl-hept-3-en-2-one
25	28,061	27,945	28,095	0,12	1-PENTEN-3-ONE, 2-METHYL-
26	28,166	28,095	28,330	0,33	Zingiberene (CAS)

Продолжение Таблицы Б4

1	2	3	4	5	6
27	29,037	28,930	29,145	0,36	,Gamma,-Elemene
28	29,616	29,500	29,730	0,09	1H-Benzocycloheptene, 2,4a,5,6,7,8,9,9a-octahydro-3,5,5-trimethyl-9-methylene-, (4aS-cis)-
29	29,875	29,775	29,995	0,24	Alloaromadendrene (CAS)
30	30,353	30,245	30,490	0,23	Cis-,beta,-Farnesene
31	30,750	30,590	30,865	0,75	GERMACRENE-D
32	30,910	30,865	30,925	0,06	Spiro[4,5]decane, 6-methylene- (CAS)
33	31,219	30,925	31,350	8,24	Benzene, 1-(1,5-dimethyl-4-hexenyl)-4-methyl-
34	31,564	31,350	31,630	2,01	NAPHTHALENE, 1,2,3,4,4A,5,6,8A-OCTAHYDRO-7-METHYL-4-METHYLENE-1-(1-METHYLETHYL)-, (1,ALPHA,,4A,BETA,,8A,ALPHA,)-
35	32,004	31,630	32,060	12,40	Zingiberene (CAS)
36	32,194	32,060	32,245	0,25	(+)-Epi-Bicyclosesquiphellandrene
37	32,495	32,245	32,540	5,56	,Beta,-Bisabolene
38	32,553	32,540	32,565	0,64	,Alpha,-Farnesene
39	32,588	32,565	32,690	1,23	Farnesene (CAS)
40	32,756	32,690	32,795	0,17	,Delta,-Cadinene (CAS)
41	33,049	32,795	33,100	7,17	Cyclohexene, 3-(1,5-dimethyl-4-hexenyl)-6-methylene-, [S-(R*,S*)]-
42	33,207	33,145	33,285	0,16	Bicyclo[3,1,1]hept-2-ene, 2,6-dimethyl-6-(4-methyl-3-pentenyl)-
43	33,505	33,405	33,600	0,46	Cyclohexanemethanol, 4-ethenyl-,alpha,,alpha,,4-trimethyl-3-(1-methylethenyl)-, [1R-(1,alpha,,3,alpha,,4,beta,)]-
44	33,904	33,835	34,010	0,24	7-Epi-cis-sesquisabinene hydrate
45	34,116	34,010	34,185	0,12	17,Beta,-Hydroxy-6-oxo-4,5-secoandrostan-4-oic acid methyl ester
46	34,432	34,305	34,500	0,77	1,6,10-Dodecatrien-3-ol, 3,7,11-trimethyl-, (E)-
47	34,553	34,500	34,695	0,24	4-Epi-cubedol
48	35,260	35,075	35,410	0,55	7-Epi-cis-sesquisabinene hydrate
49	35,924	35,790	36,015	0,20	,Gama,-eudesmol
50	36,125	36,015	36,165	0,40	Neoclovene oxide
51	36,659	36,350	36,770	1,71	2-Butanone, 4-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)- (CAS)
52	36,867	36,755	36,960	0,68	2,6,10,14-Hexadecatetraen-1-ol, 3,7,11,15-tetramethyl-, acetate, (E,E,E)-
53	37,086	36,960	37,180	0,67	2-Naphthalenemethanol, decahydro-,alpha,,alpha,,4a-trimethyl-8-methylene-, [2R-(2,alpha,,4a,alpha,,8a,beta,)]-
54	37,295	37,180	37,495	0,74	2-Naphthalenemethanol, 1,2,3,4,4a,5,6,7-octahydro-,alpha,,alpha,,4a,8-tetramethyl-, (2R-cis)-
55	37,746	37,600	37,820	0,16	Veridiflorol
56	38,079	38,020	38,135	0,12	4-Hexen-1-ol, 6-(2,6,6-trimethyl-1-cyclohexenyl)-4-methyl-, (E)-

Продолжение Таблицы Б4

1	2	3	4	5	6
57	38,390	38,315	38,535	0,33	Diepicedrene-1-oxide
58	39,046	38,855	39,060	1,06	Cis-Carveol
59	39,108	39,060	39,220	0,87	6,10-Dodecadien-1-yn-3-ol, 3,7,11-trimethyl-
60	39,363	39,220	39,405	0,12	6-Octen-1-yn-3-ol, 3,7-dimethyl- (CAS)
61	39,560	39,495	39,615	0,17	,Alpha,-Bisabolol
62	39,681	39,615	39,820	0,17	(-)-Spathulenol (CAS)
63	40,148	40,030	40,225	0,34	ALPHA-BISABOLOL
64	40,255	40,225	40,350	0,10	Farnesol
65	40,460	40,350	40,505	0,19	Cyclopropanecarboxylic acid, 2-methylphenyl ester
66	40,611	40,555	40,655	0,16	Erythro-(cis)(1,4),(cis)(1',4')-4,4'-Dihydroxybicyclooctyl
67	40,700	40,655	40,720	0,10	2-Cyclohexen-1-ol, 3-methyl-6-(1-methylethyl)-, trans-
68	40,959	40,720	41,245	1,55	Isopropyl linoleate
69	42,533	42,275	42,600	0,77	6-Octadecenoic acid, (Z)-
70	42,739	42,600	42,755	0,70	6,9-Octadecadienoic acid, methyl ester
71	42,770	42,755	42,860	0,49	Oxirane, tetradecyl-
72	43,011	42,860	43,170	1,24	2,5,5,8a-Tetramethyl-4-methylene-6,7,8,8a-tetrahydro-4H,5H-chromen-4a-yl hydroperoxide
73	43,433	43,340	43,485	0,23	4,5-Heptadien-2-one, 3,3,6-trimethyl- (CAS)
74	43,666	43,485	43,785	0,62	(E)-2,3-DIMETHYL-4-(2',6',6'-TRIMETHYL-1',2'-EPOXYCYCLOHEX-1'-YL)-BUTA-1,3-DIENE
75	43,870	43,785	43,885	0,15	Carbamic acid, N-phenyl-, 1-methyl-1-(4-methylcyclohex-3-enyl)ethyl ester
76	43,900	43,885	43,945	0,10	Ethyl-,beta,-(4-hydroxy-3-methoxy-phenyl)-propionate
77	44,062	43,945	44,160	0,52	ARISTOLENEPOXIDE
78	44,249	44,160	44,290	0,36	Tricyclo[20,8,0,0(7,16)]triacontane, 1(22),7(16)-diepoxy-
79	44,380	44,290	44,505	0,83	Neoisolongifolane, hydroxy-
80	44,570	44,505	44,600	0,22	Acetate, 4-(1,1-dimethylethyl)-1-methyl-4-(penten-2-ynyl) ester
81	44,739	44,600	44,760	0,48	Spiro[4,5]dec-8-en-7-ol, 4,8-dimethyl-1-(1-methylethyl)-
82	44,790	44,760	44,850	0,31	Gingerol
83	45,021	44,850	45,155	1,71	(2,6,6-Trimethylcyclohex-1-enylmethanesulfonyl)benzene
84	45,205	45,155	45,265	0,55	Gingerol
85	45,275	45,265	45,365	0,37	2-Pentanone, 5-(2,2,3-trimethylcyclopentyl)-
86	45,590	45,365	45,590	-0,03	6-[m-Trifluoromethylbenzoyl]-2,4-diamino-6,7-dihydro-5H-pyrrolo[3,4-d]pyrimidine
87	45,610	45,555	45,625	0,26	Naphthalene, 1-[1-(3-cyclohexylpropyl)undecyl]decahydro- (CAS)
88	45,690	45,675	45,725	0,19	2-Propen-1-ol, 2-methyl-3-(2,6,6-trimethyl-2-cyclohexen-1-yl)-, (E)- (CAS)

Продолжение Таблицы Б4

1	2	3	4	5	6
89	45,745	45,725	45,770	0,18	Gingerol
90	45,867	45,770	45,890	0,61	Geranyl-,alpha,-terpinene
91	45,935	45,890	46,005	0,61	Gingerol
92	46,099	46,005	46,115	0,47	3,6-Dimethyl-2,3,3a,4,5,7a-hexahydrobenzofuran
93	46,528	46,165	46,870	0,01	Gingerol
94	46,900	46,835	46,920	0,54	(E)-4-(2',6',6'-Trimethyl-1',2'-epoxycyclohexyl)-3-penten-2-one
95	47,127	46,970	47,215	0,34	Gingerol
96	47,290	47,220	47,300	0,59	7-Oxabicyclo[4,1,0]heptane, 1-(2,3-dimethyl-1,3-butadienyl)-2,2,6-trimethyl-, (E)-
97	47,330	47,315	47,470	-0,06	Gingerol
98	47,510	47,455	47,525	0,49	3-Nonen-5-yne, 4-ethyl-
99	47,701	47,525	47,905	2,78	1,2-Benzenedicarboxylic acid, dibutyl ester (CAS)
100	48,203	48,135	48,260	0,10	Geranyl-p-cymene
101	49,115	48,950	49,135	0,09	1-(5,5-Dimethyl-2-methylene-5,6,7,7a-tetrahydro-2H-cyclopenta[b]pyran-4a-yl)-ethanone
102	49,199	49,135	49,310	0,15	,Beta, Carotene
103	49,890	49,660	49,955	1,04	Hexadecanoic acid, ethyl ester
104	50,099	49,955	50,150	1,02	Gingerol
105	50,270	50,150	50,285	0,96	Trans-6-shogaol
106	50,344	50,285	50,415	1,31	Gingerol
107	50,450	50,415	50,460	0,36	Cis-6-shogaol
108	50,582	50,460	50,645	2,36	(E)-4-(1',2'-Epoxy-2',6',6'-trimethyl-1'-cyclohexyl)-2-methyl-1,3-pentadiene
109	50,730	50,645	50,740	1,31	Nerol, pentafluoropropionate
110	50,785	50,740	50,800	0,96	Benzenemethanol, 4-methoxy-,alpha,-(2-nitrocyclopentyl)-, [1,alpha,(R*),2,alpha,-]
111	50,830	50,805	50,940	0,53	Gingerol
112	51,971	51,830	52,075	0,29	Nonivamide
113	52,352	52,190	52,465	0,50	Benzaldehyde, 4-[(4-hydroxy-3-methoxyphenoxy)methyl]-3-methoxy-
114	52,750	52,680	52,785	0,12	4-Methyl-5-(3'-methyl-2'-butenyl)-6-methyl-1-formyl-6-(4"-methyl-3"-pentenyl)-1,3-cyclohexadiene
115	52,854	52,785	52,880	0,16	2,6-Dimethyl-9-nitro[3,4]benzo-2-azabicyclo[3,3,1] nonan-7-one
116	53,030	52,880	53,270	0,62	3-(6-Hydroxy-3,7-dimethyl-octa-2,7-dienyl)-4-methoxy-phenol

Приложение В – Хроматографические исследования образцов CO₂-экстрактов *Nigella sativa* L.

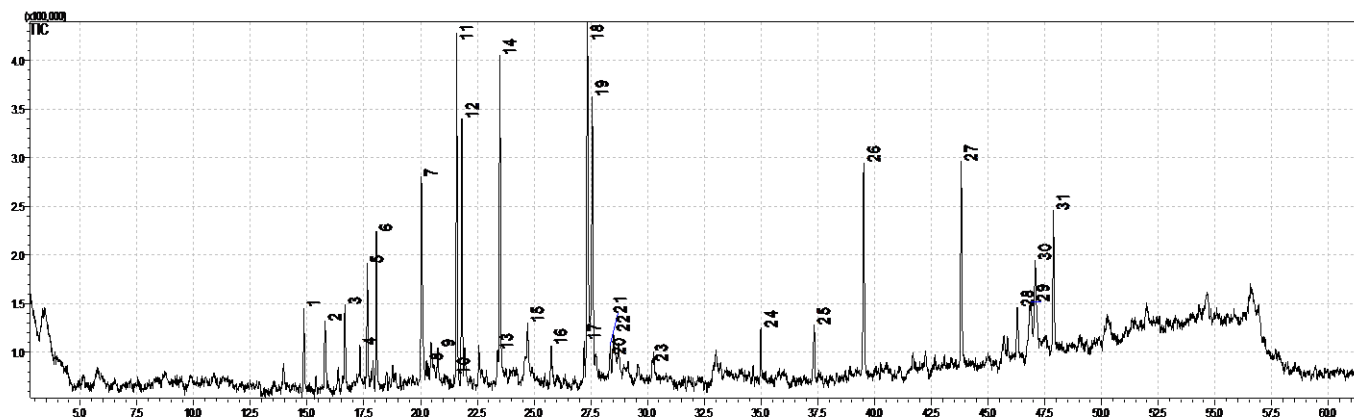


Рисунок В1 – Хроматограмма CO₂-экстракта *Nigella sativa* L., полученного при давлении экстракции 10 Мпа и сепаратора 6 Мпа

Таблица В1 – Компонентные CO₂-экстракта *Nigella sativa* L., полученного при давлении экстракции 10 Мпа и сепаратора 6 Мпа

	Время пика	Начало выхода	Конец выхода	Содержание относительно других компонентов, %	Название
1	2	3	4	5	6
1	14,860	14,795	14,935	2,10	Неофитадиен
2	15,784	15,735	15,875	2,14	3,7,11,15-тетраметил-2-гексадецен-1-ол
3	16,671	16,610	16,740	2,16	Сандаракопимарадиен

Продолжение Таблицы В1

1	2	3	4	5	6
4	17,330	17,290	17,390	0,67	Z-8-Тетрадоцен-1-илацетат
5	17,656	17,590	17,715	2,67	Геранил линалоол изомер В
6	18,052	18,000	18,140	3,80	Гексадекановая кислота, этиловый эфир
7	20,036	19,970	20,155	7,11	Фитол
8	20,259	20,155	20,295	0,36	10-Ундеценоилхлорид (КАС)
9	20,759	20,735	20,815	0,40	Додекан, 2,6,10-триметил- (CAS)
10	21,450	21,435	21,535	0,37	2-Циклогексен-1-он, 3-(1,3-бутадиенил)-2,4,4-триметил-, (Е)- (CAS)
11	21,594	21,535	21,700	9,06	9,12-Октадекадиеновая кислота (Z,Z)-
12	21,821	21,750	21,890	6,85	Этилолеат
13	23,380	23,340	23,430	0,72	Виниловый эфир пальмитиновой кислоты
14	23,492	23,430	23,590	9,34	Виниловый эфир пальмитиновой кислоты
15	24,710	24,660	24,790	1,04	Фенантрен, 1,2,3,4,4а,9,10,10а-октагидро-7-метокси-1,1,4а-триметил-8-(1-метилэтил)-, (4аS-транс)-
16	25,751	25,700	25,800	0,77	Фенантрен, 1,2,3,4,4а,9,10,10а-октагидро-6-метокси-1,1,4а-триметил-7-(1-метилэтил)-, (4аS-транс)- (CAS)
17	27,208	27,155	27,260	0,82	3а,6,6,9а-Тетраметилдодекагидронафто[2,1-Ь]фуран-2-ол #
18	27,352	27,260	27,435	12,55	9,12-Октадекадиеновая кислота (Z,Z)-, 2-гидрокси-1-(гидроксиметил)этиловый эфир
19	27,567	27,435	27,655	10,28	Олеилхлорид
20	28,320	28,295	28,335	0,20	Гексан, 3-бром- (CAS)
21	28,350	28,335	28,400	0,43	1-Ундецен, 4-метил-
22	28,494	28,445	28,545	0,75	5-Тетрадецин
23	30,185	30,155	30,250	0,34	1,2-Бензолдикарбоновая кислота, дибутиловый эфир (КАС)
24	34,992	34,940	35,055	1,23	Эйкозан
25	37,336	37,265	37,400	1,68	Сквален
26	39,526	39,435	39,605	6,12	Генеикозан
27	43,821	43,745	43,900	5,85	Генеикозан
28	46,288	46,220	46,380	1,87	4,4,6а,6b,8а,11,11,14b-Октаметил-1,4,4а,5,6,6а,6b,7,8,8а,9,10,11,12,12а,14,14а,14b-октадекагидро-2Н-пицен-3-он
29	46,885	46,795	46,940	1,18	Stigmast-5-en-3-ol, (3,beta,.,24S)- (CAS)
30	47,083	46,995	47,210	3,40	4,4,6а,6b,8а,11,11,14b-Октаметил-1,4,4а,5,6,6а,6b,7,8,8а,9,10,11,12,12а,14,14а,14b-октадекагидро-2Н-пицен-3-он
31	47,886	47,810	47,950	3,74	Эйкозан

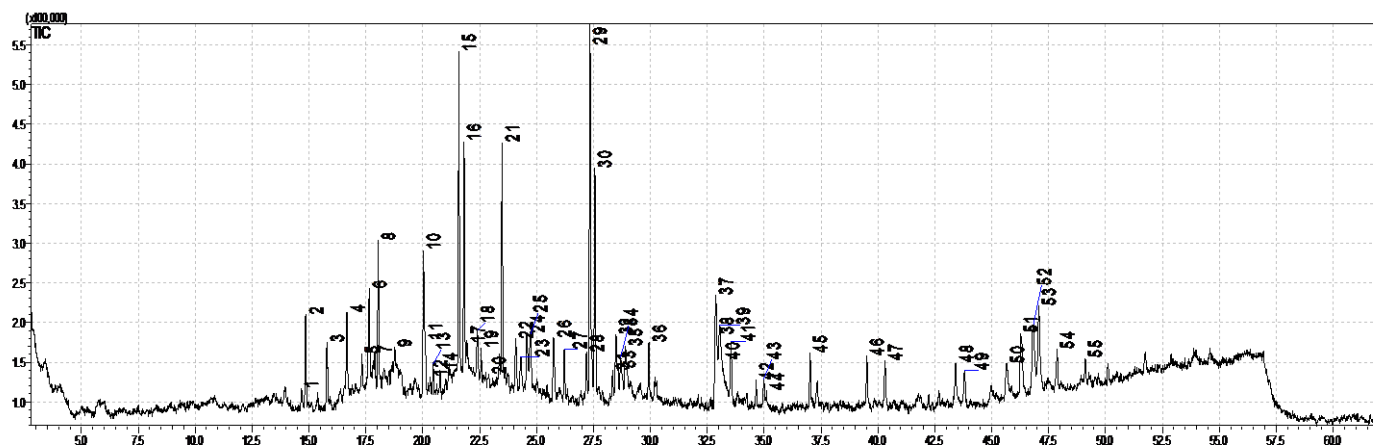


Рисунок В2 – Хроматограмма CO₂-экстракта *Nigella sativa* L., полученного при давлении экстракции 10 Мпа и сепаратора 5 Мпа

Таблица В2 – Компонентные CO₂-экстракта *Nigella sativa* L., полученного при давлении экстракции 10 Мпа и сепаратора 5 Мпа

	Время пика	Начало выхода	Конец выхода	Содержание относительно других компонентов, %	Название
1	2	3	4	5	6
1	14,665	14,635	14,800	0,47	2-Пентадеканон, 6,10,14-триметил-
2	14,859	14,800	14,925	2,58	Неофитадиен
3	15,798	15,725	15,870	2,10	3,7,11,15-Тетраметил-2-гексадец-1-ол
4	16,664	16,605	16,740	2,11	Сандаракопимарадиен
5	17,323	17,280	17,385	0,69	Z-8-тетрадец-1-илацетат
6	17,650	17,565	17,720	2,62	Геранил линалоол изомер в
7	17,892	17,860	17,945	0,38	Масляная кислота, пентадециловый эфир

Продолжение Таблицы В2

1	2	3	4	5	6
8	18,042	17,975	18,110	3,42	Гексадекановая кислота, этиловый эфир
9	18,765	18,725	18,795	0,29	Фенантрен, 1,2,3,4,4а,9,10,10а-октагидро-1,1,4а-триметил-7-(1-метилэтил)-, (4аS-транс)- (CAS)
10	20,030	19,960	20,105	4,95	Цис-9-гексадеценал
11	20,115	20,105	20,170	0,80	5-Изопропенил-2-метил-7-оксабицикло[4,1,0]гептан-2-ол
12	20,316	20,290	20,370	0,35	Холеста-8,24-диен-3-ол, 4-метил-, (3,бета,,4,альфа,)- (KAC)
13	20,458	20,405	20,505	0,70	Транс-кариофиллен
14	20,759	20,720	20,800	0,39	Октадекан (CAS)
15	21,586	21,510	21,670	7,82	9,12-Октадекадиеновая кислота (Z,Z)-
16	21,814	21,745	21,885	5,87	Этилолеат
17	21,955	21,885	21,985	0,52	9-Октадеценовая кислота (Z)-(CAS)
18	22,570	22,535	22,630	0,52	Октадекановая кислота, этиловый эфир
19	22,912	22,815	22,930	0,43	Бицикло[3,1,0]гексан-3-он, 4-метил-1-(1-метилэтил)- (CAS)
20	23,483	23,420	23,575	6,35	Виниловый эфир пальмитиновой кислоты
21	24,083	24,025	24,155	1,38	(1S,3R,6R,13S)-7-Метокси-1-(2-метилпроп-1-енил)-3,6,9-триметил-2,3,3а,4,5,6-гексагидро-1H-фенален
22	24,315	24,240	24,380	1,04	2(3H)-Фуранон, дигидро-5-тетрадецил- (CAS)
23	24,574	24,520	24,655	1,77	Октадекановая кислота, 2-гидрокси-1,3-пропандиоловый эфир
24	24,734	24,655	24,810	2,18	Тотаролон
25	25,751	25,685	25,835	2,05	9(1H)-Фенантрон, 2,3,4,4а,10,10а-гексагидро-6-гидрокси-1,1,4а-триметил-7-(1-метилэтил)-, (4аS-транс)-
26	27,198	27,140	27,255	1,11	9,12-Октадекадиенилхлорид, (Z,Z)-
27	27,348	27,265	27,485	12,61	9,12-Октадекадиеновая кислота (Z,Z)-, 2-гидрокси-1-(гидроксиметил)этиловый эфир
28	27,561	27,485	27,650	7,09	Олеилхлорид
29	28,340	28,305	28,400	0,41	N,N'-Бис(трифторацетил)-N,N'-этилен-бис(стеарамид)
30	28,480	28,420	28,545	2,04	9,12-Октадекадиен-1-ол (CAS)
31	28,585	28,545	28,625	0,59	9-Гексадецин-1-ол
32	28,692	28,645	28,735	0,56	9-Октадеценовая кислота, 1,2,3-пропантриоловый эфир, (E,E,E)-
33	28,906	28,840	28,985	1,27	Гексадекановая кислота, 2-гидрокси-1-(гидроксиметил)этиловый эфир (CAS)
34	32,872	32,790	32,915	3,41	9,12-Октадекадиенилхлорид, (Z,Z)-
35	32,925	32,915	32,975	1,01	2,2,6,7-Тетраметил-10-оксатрицикло[4,3,0,1(1,7)]декан-5-он
36	33,050	32,975	33,135	2,84	9-Октадеценовая кислота (Z)-, 2,3-дигидроксипропиловый эфир (CAS)
37	33,145	33,135	33,170	0,11	Уксусная кислота, 4-морфолин-4-ил-циклогекс-3-ениловый эфир
38	34,650	34,620	34,705	0,43	Циклогексанкарбоновая кислота, дециловый эфир
39	34,980	34,930	35,045	0,76	2-Метилотактозан

Продолжение Таблицы В1

1	2	3	4	5	6
40	35,115	35,045	35,145	0,29	Циклогексаноксим тертио-бутил-4
41	39,512	39,455	39,590	1,35	2-Метилонктакозан
42	43,805	43,755	43,865	0,81	Эйкозан
43	45,654	45,600	45,740	0,78	Стигмастерол
44	46,281	46,210	46,385	2,55	4,4,6а,6b,8а,11,11,14b-Октаметил-1,4,4а,5,6,6а,6b,7,8,8а,9,10,11,12,12а,14,14а,14b-октадекагидро-2Н-пицен-3-он
45	46,838	46,715	46,955	3,66	Stigmast-5-en-3-ol, (3,beta,,24s)-
46	47,068	46,955	47,165	3,36	4,4,6а,6b,8а,11,11,14b-Октаметил-1,4,4а,5,6,6а,6b,7,8,8а,9,10,11,12,12а,14,14а,14b-октадекагидро-2Н-пицен-3-он
47	47,867	47,805	47,940	1,18	Октадекан (CAS)

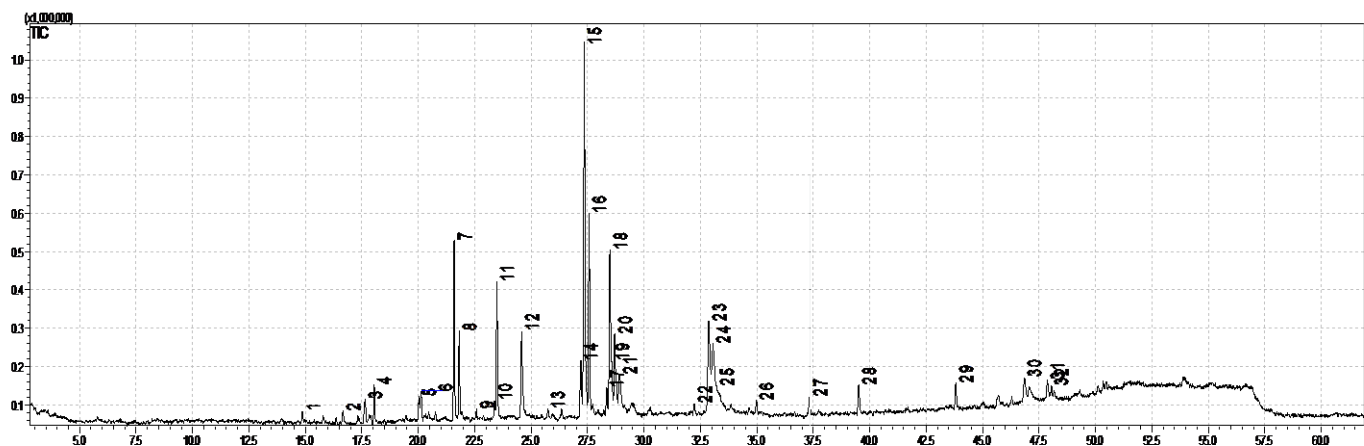


Рисунок В3 – Хроматограмма CO₂-экстракта *Nigella sativa* L., полученного при давлении экстракции 20 Мпа и сепаратора 6 Мпа

Таблица В3 – Компонентные CO₂-экстракта *Nigella sativa* L., полученного при давлении экстракции 20 Мпа и сепаратора 6 Мпа

	Время пика	Начало выхода	Конец выхода	Содержание относительно других компонентов, %	Название
1	2	3	4	5	6
1	14,864	14,835	14,925	0,29	Оксиран, тетрадецил-
2	16,675	16,620	16,715	0,36	(Альбиканол) Декагидро-2-метилен-5,5,8а-триметил-1-нафталинметанол
3	17,643	17,560	17,715	1,42	2,10-Додекадиен-1-ол, 3,7,11-триметил-, (Z)-
4	18,049	17,990	18,115	1,46	Гексадекановая кислота, этиловый эфир
5	20,032	19,975	20,075	1,02	Цис-9-гексадеценал
6	20,119	20,075	20,180	1,27	9-Ундаценаль, 2,10-диметил-
7	21,589	21,505	21,665	7,29	9,12-Октадекадиеновая кислота (Z,Z)-, метиловый эфир
8	21,813	21,740	21,875	3,51	Этилолеат
9	22,579	22,535	22,610	0,25	Октадекановая кислота, этиловый эфир
10	23,379	23,325	23,415	0,67	Сернистая кислота, додецил 2-пропиловый эфир
11	23,487	23,415	23,570	6,20	Виниловый эфир пальмитиновой кислоты
12	24,577	24,500	24,680	4,77	Гексадекановая кислота, 1-(гидроксиметил)-1,2-этандиниловый эфир
13	25,736	25,710	25,795	0,24	1-(2,6,6-Триметил-2-циклогексенил)-2-бутин-1-ол
14	27,202	27,120	27,265	2,98	9-Метил-10,12-гексадекадиен-1-ол ацетат
15	27,355	27,265	27,485	20,44	9,12-Октадекаденилхлорид, (Z,Z)-
16	27,568	27,485	27,660	9,59	Олеилхлорид
17	28,344	28,285	28,400	1,20	Октадекановая кислота, 2,3-дигидроксипропиловый эфир
18	28,489	28,400	28,560	9,19	9,12-Октадекаденилхлорид, (Z,Z)-
19	28,565	28,560	28,635	1,45	Бицикло[3,1,1]гептан-2-метанол, 6,6-диметил-, [1S-(1,альфа,,2,альфа,,5,)]-
20	28,699	28,635	28,835	4,73	Ди-(9-октадеценонил)-глицерин
21	28,915	28,835	29,020	1,99	Гексадекановая кислота, 2-гидрокси-1-(гидроксиметил)этиловый эфир
22	32,226	32,185	32,260	0,25	11,13-Эйкозадиеновая кислота, метиловый эфир (CAS)

Продолжение Таблицы В3

1	2	3	4	5	6
23	32,868	32,765	32,970	7,23	9,12-Октадекадиеновая кислота (Z,Z)-, 2-гидрокси-1-(гидроксиметил)этиловый эфир (CAS)
24	33,058	32,970	33,180	5,57	9-Октадеценовая кислота (Z)-, 2,3-дигидроксипропиловый эфир (CAS)
25	33,220	33,180	33,250	0,29	1-Пропен, 3-хлор-1,1,2,3,3-пентафтор-
26	34,987	34,930	35,040	0,49	Гексакозан
27	37,335	37,295	37,405	0,55	2,6,10,14,18,22-Тетракосагексаен, 2,6,10,15,19,23-гексаметил-, (все-E)- (CAS)
28	39,514	39,440	39,590	1,53	Генеикозан
29	43,811	43,745	43,885	1,14	Генеикозан
30	46,863	46,775	46,975	1,63	,Гамма-ситостерол
31	47,865	47,800	47,915	0,67	2-Метилгексакозан
32	48,050	48,010	48,095	0,33	2,3-Дигидрофарнезилацетат

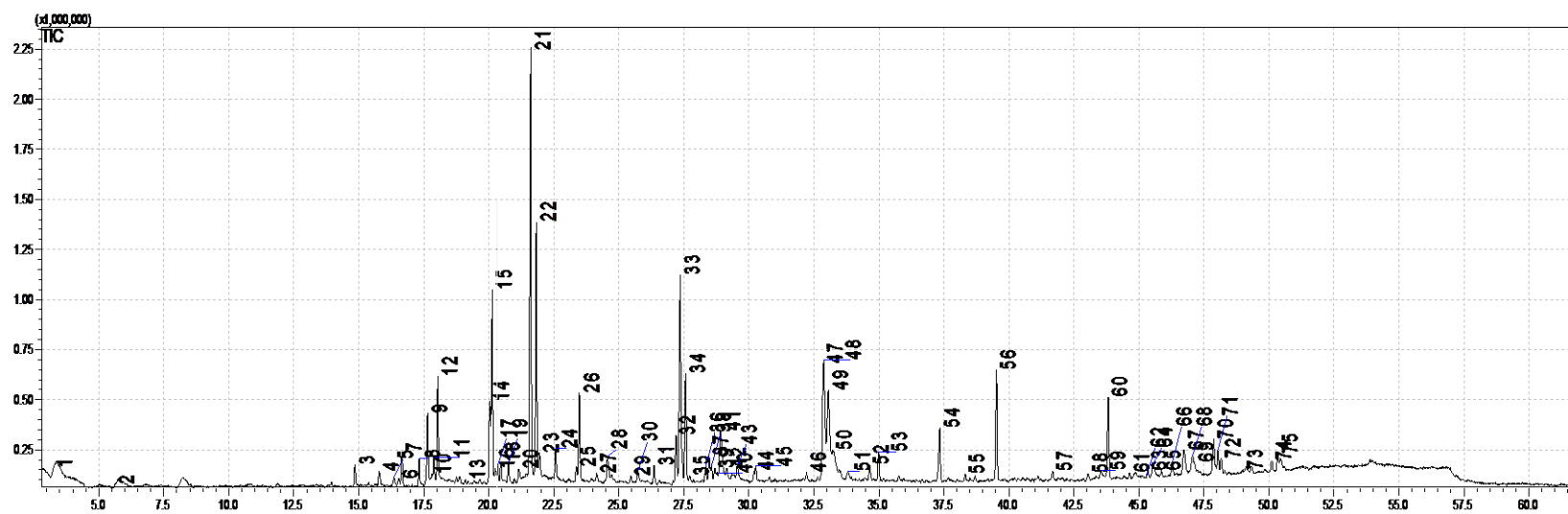


Рисунок В4 – Хроматограмма CO₂-экстракта *Nigella sativa* L., полученного при давлении экстракции 20 Мпа и сепаратора 5 Мпа

Таблица В4 – Компонентные CO₂-экстракта *Nigella sativa* L., полученного при давлении экстракции 20 Мпа и сепаратора 5 Мпа

	Время пика	Начало выхода	Конец выхода	Содержание относительно других компонентов, %	Название
1	2	3	4	5	6
1	3,245	3,195	3,260	0,04	3-Циклогексен-1-метанол, ,альфа,,,альфа,,4-триметил-, (S)- (CAS)
2	5,625	5,610	5,690	0,05	,Бета,-Шамигрена
3	14,851	14,785	14,925	0,63	Неофитадиен
4	15,785	15,725	15,870	0,52	Неофитадиен
5	16,350	16,315	16,455	0,17	(E,E)-7,11,15-Триметил-3-метилен-гексадека-1,6,10,14-тетраен
6	16,538	16,470	16,590	0,26	Дибутилфталат
7	16,661	16,590	16,745	1,06	Сандараконимарадиен
8	17,319	17,255	17,380	0,64	Цис-7-тетрадоцен-1-илацетат
9	17,644	17,550	17,730	2,11	Геранил линалоол изомер в
10	17,815	17,730	17,845	0,27	Транс-,бета,-терпинилпентаноат
11	17,888	17,845	17,955	0,59	Масляная кислота, тетрадециловый эфир
12	18,039	17,960	18,110	2,54	Гексадекановая кислота, этиловый эфир
13	19,094	19,050	19,120	0,07	3-Бутен-2-ол, 2-метил-4-(1,3,3-триметил-7-оксабицикло[4,1,0]гепт-2-ил)-
14	20,034	19,955	20,070	2,69	Цис-9-гексадеценал
15	20,128	20,070	20,190	5,72	Цитронелла
16	20,244	20,190	20,290	0,46	10-Октадеценная кислота, метиловый эфир (CAS)
17	20,327	20,290	20,400	0,46	6,10-Додекадиен-1-ин-3-ол, 3,7,11-триметил-
18	20,456	20,400	20,530	0,56	,Бета, бисаболен
19	20,751	20,695	20,835	0,59	Нонадекан
20	21,148	21,090	21,220	0,36	D-Неролидол
21	21,613	21,495	21,715	13,68	9,12-Октадекадиеновая кислота (Z,Z)-
22	21,825	21,715	21,890	7,07	Этилолеат
23	21,950	21,890	22,060	0,91	Циклопропанкарбоксальдегид, 2-метил-2-(4-метил-3-пентенил)-, транс-(,+,-)-
24	22,563	22,500	22,635	0,86	Октадекановая кислота, этиловый эфир
25	23,366	23,305	23,405	0,46	Виниловый эфир пальмитиновой кислоты
26	23,481	23,405	23,580	2,76	Виниловый эфир пальмитиновой кислоты

Продолжение Таблицы В4

1	2	3	4	5	6
27	24,144	24,090	24,235	0,28	2,6,10,14-Гексакатретраен-1-ол, 3,7,11,15-тетраметил-, ацетат, (Е,Е,Е)-
28	24,562	24,495	24,665	0,86	Гексадекановая кислота, 1-(гидроксиметил)-1,2-этандиловый эфир
29	25,451	25,425	25,520	0,11	Нонадекан
30	25,741	25,690	25,830	0,31	9(1Н)-Фенантренол, 2,3,4,4а,10,10а-гексагидро-6-гидрокси-1,1,4а-триметил-7-(1-метилэтил)-, (4аS-транс)- (CAS)
31	26,356	26,295	26,445	0,52	9,12-Октадекадиеновая кислота (Z,Z)-
32	27,197	27,125	27,260	1,60	9-Метил-10,12-гексадекадиен-1-ол ацетат
33	27,356	27,260	27,490	7,96	9,12-Октадекадиенилхлорид, (Z,Z)-
34	27,567	27,490	27,660	3,50	Олеилхлорид
35	27,726	27,660	27,785	0,17	9-Октадеценивая кислота (Z)-, 2-гидрокси-1-(гидроксиметил)этиловый эфир
36	28,340	28,275	28,405	0,48	Октадекановая кислота, 2,3-дигидроксипропиловый эфир
37	28,469	28,405	28,530	0,92	9,12-Октадекадиеновая кислота (Z,Z)-, 2-гидрокси-1-(гидроксиметил)этиловый эфир (CAS)
38	28,565	28,530	28,625	0,44	9,12-Октадекадиенилхлорид, (Z,Z)-
39	28,689	28,625	28,735	0,45	Ди-(9-октадеценил)-глицерин
40	28,780	28,735	28,815	0,25	Циклогексанкарбоновая кислота, гептадециловый эфир
41	28,907	28,815	29,060	2,84	Гексадекановая кислота, 2-гидрокси-1-(гидроксиметил)этиловый эфир (CAS)
42	29,148	29,060	29,245	0,51	Гексадекановая кислота, 2,3-бис[(триметилсилил)окси]пропиловый эфир
43	29,546	29,490	29,620	0,40	Диагидроглюцитол, ст. л. 2х
44	30,194	30,130	30,225	0,28	1,2-Бензолдикарбоновая кислота, моно(2-этилгексил) эфир
45	30,270	30,225	30,325	0,42	Генеикозан
46	32,220	32,185	32,275	0,12	Этанол, 2-(9,12-октадекадиенилокси)-, (Z,Z)- (CAS)
47	32,855	32,740	32,865	2,93	Этиллинолеат
48	32,879	32,865	32,970	3,99	9,12-Октадекадиеновая кислота (Z,Z)-
49	33,056	32,970	33,175	5,44	9-Октадеценивая кислота, 1,2,3-пропантрииловый эфир, (Е,Е,Е)-
50	33,211	33,175	33,415	1,79	1,3-Диоксолан, 4-[(2-метокси-4-гексадеценил)окси]метил]-2,2-диметил-
51	33,816	33,740	33,870	0,21	Октадекановая кислота, 2,3-дигидроксипропиловый эфир
52	34,637	34,585	34,710	0,44	Гександиевая кислота, бис(2-этилгексил) эфир
53	34,988	34,915	35,065	0,92	Генеикозан
54	37,340	37,215	37,425	2,07	2,6,10,14,18,22-Тетракозагексаен, 2,6,10,15,19,23-гексаметил-
55	38,325	38,280	38,370	0,17	Бицикло[2,2,1]гептан, 2-[9-борабицикло[3,3,1]не-9-илокси]-, 1,7,7-триметил-
56	39,523	39,430	39,600	3,38	Генеикозан
57	41,677	41,640	41,750	0,22	2-Метилотактозан
58	43,044	42,985	43,095	0,17	2-Метилотактозан

Продолжение Таблицы В4

1	2	3	4	5	6
59	43,554	43,480	43,605	0,20	2Н-1-Бензопиран-6-ол, 3,4-дигидро-2,7,8-триметил-2-(4,8,12,16,20,24,28,32-октаметил-3,7,11,15,19,23,27,31-тритриаконтаоктаены)
60	43,815	43,730	43,905	2,59	Генекозан
61	44,645	44,585	44,710	0,20	2,3-Дигидрофарнезилацетат
62	45,290	45,270	45,305	0,03	1-(Тетрагидронафтил)-4-фенилбутан
63	45,337	45,305	45,420	0,24	2-Метилортакозан
64	45,542	45,435	45,630	0,49	Стигмастерол
65	45,866	45,840	45,930	0,09	2-Бромотетрадекан
66	46,284	46,205	46,365	0,53	4,4,6а,6b,8а,11,11,14b-Октаметил-1,4,4а,5,6,6а,6b,7,8,8а,9,10,11,12,12а,14,14а,14b-октадекагидро-2Н-пицен-3-он
67	46,729	46,625	46,885	1,43	,Гамма-ситостерол
68	47,060	46,975	47,110	0,67	Метилкоммат D
69	47,140	47,110	47,215	0,25	2-Метилортакозан
70	47,875	47,775	47,985	1,45	2-Метилортакозан
71	48,041	47,985	48,110	0,76	2,6,10,14,18,22-Тетракосагексаен, 2,6,10,15,19,23-гексаметил- (CAS)
72	48,172	48,110	48,235	0,56	2,10-Додекадиен-1-ол, 3,7,11-триметил-, (Z)-
73	49,003	48,935	49,025	0,08	1-Метил-4-(2-гептил)-циклогексен
74	50,096	50,050	50,185	0,34	9,19-Циклоланост-24-ен-3-ол, ацетат
75	50,352	50,270	50,400	0,41	Трицикло[20,8,0,0(7,16)]триаконтан, 1(22),7(16)-диэпокси-

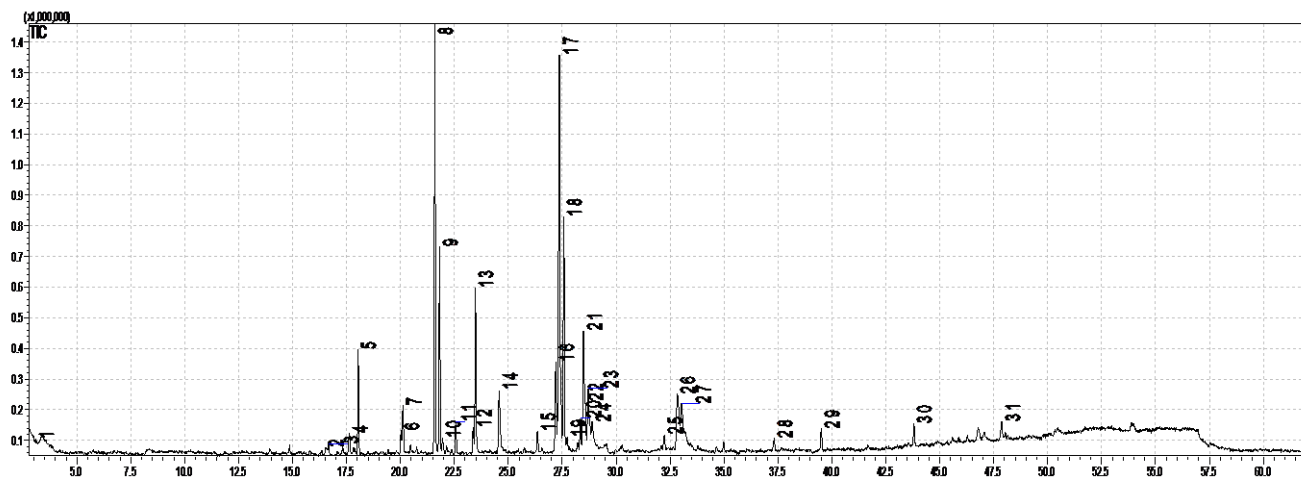


Рисунок В5 – Хроматограмма CO₂-экстракта *Nigella sativa* L., полученного при давлении экстракции 30 Мпа и сепаратора 6 Мпа

Таблица В5 – Компонентные CO₂-экстракта *Nigella sativa* L., полученного при давлении экстракции 30 Мпа и сепаратора 6 Мпа

	Время пика	Начало выхода	Конец выхода	Содержание относительно других компонентов, %	Название
1	2	3	4	5	6
1	3,081	3,065	3,110	0,05	7-Азабицикло[4,1,0]гептан
2	16,530	16,515	16,640	0,29	1,2-Бензолдикарбоновая кислота, дибутиловый эфир (КАС)
3	16,665	16,640	16,720	0,27	Сандаракопимарадиен
4	17,634	17,550	17,705	1,04	1,5,9-Декатриен, 2,3,5,8-тетраметил-
5	18,041	17,980	18,135	3,34	Гексадекановая кислота, этиловый эфир

Продолжение Таблицы В5

1	2	3	4	5	6
6	20,030	19,970	20,065	0,81	13-Оксабицикло[10,1,0]тридекан
7	20,116	20,065	20,185	1,78	9-Ундаценоаль, 2,10-диметил-
8	21,597	21,505	21,715	15,50	9,12-Октадекадиеновая кислота (Z,Z)-
9	21,815	21,715	21,900	7,30	Этилолеат
10	21,953	21,900	22,035	0,57	9-Октадеценовая кислота (z)-, этиловый эфир
11	22,566	22,505	22,630	1,17	Октадекановая кислота, этиловый эфир
12	23,376	23,315	23,415	0,98	Виниловый эфир пальмитиновой кислоты
13	23,480	23,415	23,590	5,74	Виниловый эфир пальмитиновой кислоты
14	24,572	24,495	24,685	3,15	Гексадекановая кислота, 1-(гидроксиметил)-1,2-этандинловый эфир
15	26,352	26,285	26,415	0,81	9,12-Октадекадиеновая кислота (Z,Z)-
16	27,202	27,120	27,265	4,06	9-Метил-10,12-гексадекадиен-1-ол ацетат
17	27,368	27,265	27,490	20,47	9,12-Октадекадиенилхлорид, (Z,Z)-
18	27,573	27,490	27,665	9,39	Олеилхлорид
19	27,735	27,665	27,770	0,38	9,12-Октадекадиенилхлорид, (Z,Z)-
20	28,342	28,275	28,405	1,23	Октадекановая кислота, 2,3-дигидроксипропиловый эфир
21	28,485	28,405	28,540	5,53	9,12-Октадекадиенилхлорид, (Z,Z)-
22	28,555	28,540	28,635	1,63	6,9-Октадекадиеновая кислота, метиловый эфир (CAS)
23	28,700	28,635	28,830	3,65	Ди-(9-октадеценоил)-глицерин
24	28,885	28,830	28,995	1,33	Гексадекановая кислота, 2-гидрокси-1-(гидроксиметил)этиловый эфир
25	32,229	32,170	32,315	0,56	9,12-Октадекадиен-1-ол (CAS)
26	32,828	32,725	32,950	4,13	9,12-Октадекадиеновая кислота (Z,Z)-, 2-гидрокси-1-(гидроксиметил)этиловый эфир
27	33,026	32,950	33,135	2,22	Олеилхлорид
28	37,329	37,285	37,395	0,28	2,6,10,14,18,22-Тетракосагексаен, 2,6,10,15,19,23-гексаметил-
29	39,509	39,450	39,580	0,83	Генеикозан
30	43,802	43,740	43,875	0,88	Генеикозан
31	47,871	47,805	47,930	0,63	Генеикозан

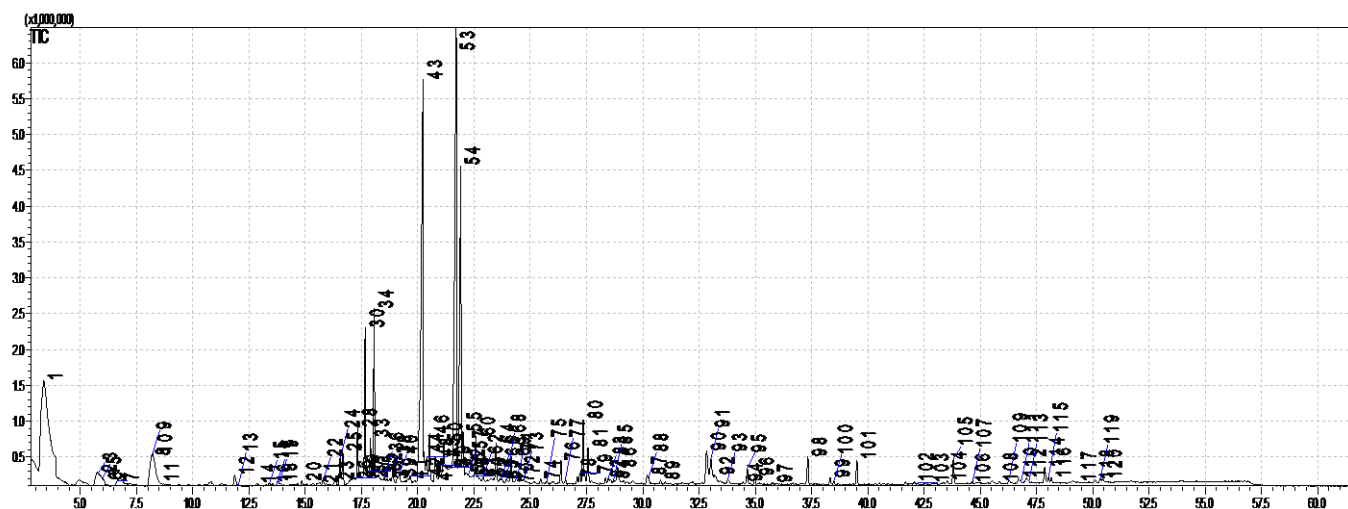


Рисунок В5 – Хроматограмма CO₂-экстракта *Nigella sativa* L., полученного при давлении экстракции 30 Мпа и сепаратора 5 Мпа

Таблица В5 – Компонентные CO₂-экстракта *Nigella sativa* L., полученного при давлении экстракции 30 Мпа и сепаратора 5 Мпа

	Время пика	Начало выхода	Конец выхода	Содержание относительно других компонентов, %	Название
1	2	3	4	5	6
1	3,363	3,140	4,470	18,74	Тимохинон
2	5,732	5,575	5,785	0,67	Лонгифолен
3	5,800	5,785	5,835	0,21	,Бета,-Шамигрена
4	5,900	5,835	5,950	0,40	Виддрен

Продолжение Таблицы В5

1	2	3	4	5	6
5	5,985	5,950	6,035	0,19	Железо, трикарбонил[(1,2,3,4-,эта,<4>)-1,3-циклооктадиен]-
6	6,050	6,035	6,125	0,09	Бицикло[2,2,2]окт-2-ен, 1,2,3,6-тетраметил-
7	6,630	6,560	6,650	0,02	2-Ацетил-3,4,6-триметилпирозин
8	8,160	7,965	8,170	1,19	1,4-Бензолдиол, 2-(1,1-диметилэтил)-(CAS)
9	8,185	8,170	8,195	0,29	9-(2-Дейтерозтил)-9-борабицикло[3,3,1]нонан (98,5% d1)
10	8,220	8,195	8,505	1,85	2',4'-Дигидрокси-3'-метилацетофенон
11	8,515	8,505	8,560	0,02	Бензальдегид, 4-метокси-3-(2-пропенилокси)-
12	11,860	11,760	11,960	0,41	Цитронеллаль
13	12,025	11,960	12,040	0,02	2,6-Бис(диметиламинометилен)-циклогексанон
14	12,838	12,795	12,930	0,07	5-Додецен-1-ол, ацетат, (Z)-
15	13,405	13,350	13,455	0,05	Масляная кислота, тетрадециловый эфир
16	13,540	13,505	13,590	0,03	Декановая кислота, этиловый эфир (CAS)
17	13,745	13,725	13,760	0,02	5,6,6-Триметил-5-(3-оксобут-1-енил)-1-оксапиро[2,5]октан-4-он
18	13,784	13,760	13,800	0,03	Цитронеллилацетат
19	13,830	13,800	13,840	0,02	9-Октадеценамид, (Z)- (CAS)
20	14,854	14,785	14,905	0,10	Неофитадиен
21	15,635	15,470	15,680	0,16	1-Гептатриакотанол
22	15,778	15,680	15,870	0,14	Неофитадиен
23	16,313	16,260	16,445	0,14	Нонадекан
24	16,543	16,445	16,600	0,79	Дибутилфталат
25	16,657	16,600	16,740	0,84	Сандаракопимарадиен
26	17,105	17,090	17,140	0,01	Оксиранэундекановая кислота, 3-пентил-, метиловый эфир, цис- (CAS)
27	17,151	17,140	17,165	0,01	Азелаальдегидная кислота, бутиловый эфир (CAS)
28	17,321	17,240	17,385	1,10	Z-8-Тетраоцен-1-илацетат
29	17,446	17,385	17,500	0,17	Этил9-гексадеценоат
30	17,661	17,500	17,735	3,35	Геранил линалоол изомер в
31	17,755	17,735	17,785	0,11	Додекановая кислота
32	17,820	17,785	17,835	0,14	2-Ноненовая кислота, метиловый эфир (CAS)
33	17,890	17,835	17,965	0,97	Масляная кислота, тетрадециловый эфир
34	18,059	17,965	18,145	3,61	Гексадекановая кислота, этиловый эфир
35	18,246	18,145	18,315	0,16	1,6,10-Додекатриен-3-ол, 3,7,11-триметил-, (E)-
36	18,507	18,465	18,565	0,05	Додекан, 2,6,11-триметил- (CAS)

Продолжение Таблицы В5

1	2	3	4	5	6
37	18,749	18,720	18,810	0,04	7-Изопропил-1,1,4а-триметил-1,2,3,4,4а,9,10,10а-октагидрофенантрен
38	18,886	18,810	18,995	0,38	Бутановая кислота, 5-метил-2-(1-метилэтил)циклогексильный эфир
39	19,080	19,035	19,125	0,12	-Мент-8-ен-3-ол, ацетат
40	19,168	19,125	19,280	0,24	2(3Н)-Фуранон, дигидро-5-тетрадецил-
41	19,561	19,500	19,595	0,09	1Н-Пиразол, 1-(9-борабицикло[3,3,1]не-9-ил)-3,5-бис(1,1-диметилэтил)-
42	19,653	19,595	19,725	0,17	Неролидилацетат
43	20,223	19,950	20,260	16,06	9-Ундаценаль, 2,10-диметил-
44	20,281	20,260	20,320	0,49	11-Октадеценная кислота, метильный эфир
45	20,397	20,320	20,450	0,84	Десмоesterol
46	20,517	20,450	20,630	1,15	,Бета,-Бисаболон
47	20,665	20,630	20,685	0,02	Октановая кислота, 8-(октилтио)-
48	20,768	20,695	20,875	0,72	1-Октадекансульфонилхлорид
49	20,983	20,915	21,040	0,27	Ледоль
50	21,144	21,040	21,245	0,84	3,7,11-Триметил-1,6,10-додекатриен-3-ол
51	21,415	21,400	21,440	0,02	8-Метиленциклооктен-3,4-диол
52	21,450	21,440	21,520	0,08	Метанол, [6,8,9-триметил-4-(1-пропенил)-3-оксабицикло[3,3,1]не-6-ен-1-ил]-
53	21,705	21,520	21,765	16,02	9,12-Октадекадиеновая кислота (Z,Z)-
54	21,904	21,765	21,950	8,81	Этилолеат
55	22,005	21,950	22,090	1,13	Циклооктанкарбоксальдегид
56	22,136	22,090	22,200	0,09	Гексестрол, О,О'-ди(пентафторпропионил)-
57	22,250	22,200	22,305	0,06	2-Диметил(триметилсилилметил)силоксипентадекан
58	22,347	22,305	22,365	0,02	19-Ди-торулосол
59	22,435	22,365	22,450	0,05	Масляная кислота, тетрадециловый эфир
60	22,580	22,450	22,640	0,97	Октадекановая кислота, этиловый эфир
61	22,679	22,640	22,720	0,03	Этиловый эфир линолевой кислоты
62	22,909	22,835	22,945	0,06	9,12-Октадекадиеновая кислота (Z,Z)-
63	23,367	23,330	23,400	0,04	Виниловый эфир пальмитиновой кислоты
64	23,479	23,400	23,565	0,90	Виниловый эфир пальмитиновой кислоты
65	23,641	23,580	23,675	0,07	4-Гексен-1-ол, 2-этилен-2,5-диметил-
66	23,700	23,675	23,715	0,03	1-Бромо-11-йодундекан
67	23,739	23,715	23,800	0,06	Этилинолеат
68	23,940	23,890	23,985	0,05	1-Циклогексанол, 2-(3-метил-1,3-бутаденил)-1,3,3-триметил-
69	24,153	24,080	24,235	0,57	Неролидол

Продолжение Таблицы В5

1	2	3	4	5	6
70	24,290	24,275	24,335	0,02	Теобромин (CAS)
71	24,370	24,335	24,500	0,13	,Бета,-цитронеллол, трифторацетат
72	24,564	24,500	24,655	0,24	Гексадекановая кислота, 1-(гидроксиметил)-1,2-этандиловый эфир
73	24,721	24,655	24,780	0,08	Бицикло[10,1,0]тридек-1-ен
74	25,456	25,400	25,530	0,10	Нонадекан
75	25,739	25,670	25,825	0,10	9(1H)-Фенантрон, 2,3,4,4а,10,10а-гексагидро-6-гидрокси-1,1,4а-триметил-7-(1-метилэтил)-, (4аS-транс)- (CAS)
76	26,359	26,285	26,445	0,53	9,12-Октадекадиеновая кислота (Z,Z)-
77	26,560	26,445	26,625	0,12	Этил-9-гексадеценоат
78	27,084	27,015	27,135	0,14	Гександиевая кислота, бис(2-этилгексил) эфир (КАС)
79	27,203	27,135	27,260	0,28	9-Метил-10,12-гексадекадиен-1-ол ацетат
80	27,358	27,260	27,490	1,90	9,12-Октадекадиеновая кислота (Z,Z)-, 2-гидрокси-1-(гидроксиметил)этиловый эфир
81	27,567	27,490	27,655	0,86	Олеилхлорид
82	28,342	28,270	28,405	0,13	Октадекановая кислота, 2,3-дигидроксипропиловый эфир
83	28,473	28,405	28,520	0,14	9,12-Октадекадиеновая кислота (Z,Z)-
84	28,551	28,520	28,630	0,10	9,12-Гексадекадиеновая кислота, метиловый эфир
85	28,700	28,630	28,715	0,03	Ди-(9-октадеценоил)-глицерин
86	28,879	28,790	29,020	0,53	Гексадекановая кислота, 2-гидрокси-1-(гидроксиметил)этиловый эфир (CAS)
87	30,196	30,130	30,230	0,20	1,2-Бензолдикарбоновая кислота, моно(2-этилгексил) эфир
88	30,268	30,230	30,330	0,16	Целидониол, дезокси-
89	30,793	30,735	30,865	0,09	Изопропилинолеат
90	32,833	32,710	32,945	1,43	9,12-Октадекадиеновая кислота (Z,Z)-, 2-гидрокси-1-(гидроксиметил)этиловый эфир (CAS)
91	33,026	32,945	33,160	1,08	9-Октадеценовая кислота (Z)-, 2,3-дигидроксипропиловый эфир
92	33,200	33,160	33,335	0,25	Циклогексан, (гептилтио) -
93	33,761	33,695	33,880	0,14	Адипиновая кислота, дециловый эфир
94	34,454	34,400	34,515	0,06	Борнилизовалериат
95	34,648	34,515	34,730	0,43	Гександиевая кислота, бис(2-этилгексил) эфир (КАС)
96	34,980	34,915	35,060	0,19	Генеикозан
97	35,775	35,705	35,815	0,04	Пентадекан, 8-гексил- (CAS)
1	2	3	4	5	6
98	37,334	37,230	37,420	0,73	2,6,10,14,18,22-Тетракосагексаен, 2,6,10,15,19,23-гексаметил-, (все-E)- (CAS)
99	38,328	38,250	38,390	0,18	Бицикло[2,2,1]гептан, 2-[9-борабицикло[3,3,1]не-9-илокси]-, 1,7,7-триметил-
100	38,492	38,390	38,565	0,10	Нафталин, 1,1'-(1,10-декандиил)бис[декагидро-

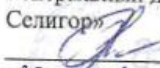
Продолжение Таблицы В5

101	39,518	39,425	39,585	0,61	Генеикозан
102	42,071	42,015	42,130	0,05	3-Изопропилиден-5-метил-гекс-4-ен-2-он
103	42,211	42,175	42,275	0,04	5,6
104	43,535	43,475	43,565	0,03	2Н-1-Бензопиран-6-ол, 3,4-дигидро-2,7,8-триметил-2-(4,8,12,16,20,24,28,32-октаметил-3,7,11,15,19,23,27,31-тритриаконтаоктаены)
105	43,808	43,725	43,880	0,61	Генеикозан
106	44,595	44,575	44,610	0,01	Силан, триметил[[(3,бета,)-стигмат-5-ен-3-ил]окси]- (CAS)
107	44,653	44,610	44,700	0,05	6,10-Додекадиен-3-ол, 3,7,11-триметил-
108	45,825	45,815	45,840	0,00	9-Октадецен, 1,1-диметокси-, (Z)-
109	46,267	46,205	46,350	0,08	4,4,6a,6b,8a,11,11,14b-Октаметил-1,4,4a,5,6,6a,6b,7,8,8a,9,10,11,12,12a,14,14a,14b-октадекагидро-2Н-пицен-3-он
110	46,727	46,640	46,800	0,19	,Гамма,-ситостерол
111	46,820	46,800	46,845	0,01	4-(3,4-Диметокси-фенил)-тетрагидро-пиран-4-карбоновая кислота (2-метокси-фенил)-амид
112	47,062	46,960	47,120	0,15	Метилкоммат С
113	47,165	47,120	47,185	0,03	2-Метилгексакозан
114	47,867	47,780	47,960	0,43	Тетртраконтан
115	48,043	47,960	48,100	0,17	2,3-Дигидрофарнезилацетат
116	48,156	48,100	48,235	0,13	2,3-Дигидрофарнезилацетат
117	49,307	49,285	49,365	0,03	Тетраконтан, 3,5,24-триметил-
118	50,092	50,050	50,155	0,05	9,19-Циклоланост-24-ен-3-ол, ацетат
119	50,330	50,260	50,395	0,10	Триинолеин
120	50,429	50,395	50,495	0,06	Бромуксусная кислота, дециловый эфир

Приложение Д – Акт производственной апробации ООО «Алтай-Селегор»

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор ООО «Алтай-Селегор»

 Н. Л. Трусова
«20» 02 2026 г.

АКТ

производственных испытаний технологии и выработки партии напитка безалкогольного на растительной основе функционального

Комиссия в составе:

Главный технолог

Ассистент кафедры технологии продуктов питания из растительного сырья ФГБОУ ВО КемГУ

Заведующая кафедрой технологии продуктов питания из растительного сырья ФГБОУ ВО КемГУ

Бенгардт С.Н.
Ищук Л.А.

Сергеева И.Ю.

в период с 13.02. 2026 г. по 20.02.2026 г. проверила факт наработки объекта испытаний.

1. Производственные испытания.

Производственные испытания проводились в соответствии с разработанной технологической инструкцией ТИ 11.07.19-302-02068309-2026 «Напиток безалкогольный таблетированный функциональный (варианты)». Рецептуры и технология напитков разработаны на основании проведенных результатов исследований при выполнении диссертационной работы Ищук Л.А. В ходе производственных испытаний выработана партия таблетированных напитков в кол-ве 5 тыс. таблеток.

2. Установлено:

2.1 Результаты производственных испытаний показали возможность получения в производственных условиях функционального таблетированного напитка содержащего в себе супрамолекулярные комплексы (СМК) CO₂ экстрактов *Coriandrum sativum* L., *Nigella sativa* L.

2.2 Результаты органолептического и физико-химического анализа свидетельствуют о том, что полученные напитки соответствуют требованиям ГОСТ 34144-2017 — межгосударственный стандарт «Концентраты для безалкогольных напитков. Общие технические условия». Отмечено, что полученные напитки имеют повышенную пищевую и физиологическую ценность в рецептуре напитка с СМК CO₂-экстракта *Coriandrum sativum* L. Содержится до 30,7% МНЖК от рекомендованного суточного потребления (РСП) Для напитков, содержащих СМК на основе *Nigella sativa* L., учитывалось содержание тимохинона, обладающего антиоксидантным эффектом, сопоставимым с действием убихинона (коэнзима Q10), содержание более 50 % от РСП Производство данных напитков имеет социальную значимость, позволит расширить ассортимент функциональных продуктов для целевой нутриентной поддержки организма и профилактики алиментарно-зависимых заболеваний

3. Вывод

Предложенные рецептуры и технология таблетированных функциональных напитков рекомендованы к внедрению.

Главный технолог

Ассистент кафедры технологии продуктов питания из растительного сырья ФГБОУ ВО КемГУ

Заведующая кафедрой технологии продуктов питания из растительного сырья ФГБОУ ВО КемГУ

 Бенгардт С.Н.

 Ищук Л.А.

 Сергеева И.Ю.

Приложение Ж – Акт промышленной апробации ООО «Мануфактура»

УТВЕРЖДАЮ

Директор ООО «Мануфактура»
Черескоков А.В.
«27» февраля 2026 г.

АКТ

производственных испытаний технологии и выработки партии напитка
безалкогольного на растительной основе функционального

Комиссия в составе:

Главный технолог
Ассистент кафедры технологии продуктов питания из
растительного сырья ФГБОУ ВО КемГУ
Заведующая кафедрой технологии продуктов питания из
растительного сырья ФГБОУ ВО КемГУ

Белобородова Е.Ю.
Ищук Л.А.

Сергеева И.Ю.

в период с 13.02. 2026 г. по 27.02.2026 г. проверила факт наработки объекта испытаний.

1. Производственные испытания.

Производственные испытания проводились в соответствии с разработанной технологической инструкцией 11.07-304-02068309-2026 «Напиток безалкогольный ферментированный с CO₂-экстрактом имбиря» Рецептура и технологический процесс разработан на основании проведенных результатов исследований при выполнении диссертационной работы Ищук Л.А. В ходе производственных испытаний выработана партия ферментированного напитка в количестве 100 дал.

2. Установлено:

2.1 Результаты производственных испытаний показали возможность ферментированного безалкогольного напитка с CO₂-экстрактом имбиря, функционального назначения

2.2 Результаты органолептического и физико-химического анализа свидетельствуют о том, что полученные напитки соответствуют требованиям ГОСТ 28188-2014 «Напитки безалкогольные. Общие технические условия». Разработанный напиток позиционируется как обогащенный согласно терминологии ГОСТ Р 52349-2005 «Продукты пищевые функциональные». Функциональный ингредиент в напитке - эмульсия CO₂-экстракта *Zingiber officinale*, которая содержит в своем составе вещества терпенового ряда. Производство напитка, позволит расширить ассортимент функциональных продуктов для целевой нутриентной поддержки организма.

3. Вывод

Предложенная технология ферментированного безалкогольного напитка с CO₂-экстрактом имбиря рекомендована к внедрению.

Главный технолог

Ассистент кафедры технологии продуктов питания из растительного
сырья ФГБОУ ВО КемГУ

Заведующая кафедрой технологии продуктов питания из
растительного сырья ФГБОУ ВО КемГУ

Белобородова Е.Ю.

Ищук Л.А.

Сергеева И.Ю.



Приложение К – Патент на изобретение № 2854453

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2854453

СПОСОБ ПРОИЗВОДСТВА БЕЗАЛКОГОЛЬНОГО НАПИТКА БРОЖЕНИЯ С CO₂-ЭКСТРАКТОМ ИМБИРЯ

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
"Кемеровский государственный университет" (RU)*

Авторы: *Рябоконева Лариса Алексеевна (RU), Сергеева
Ирина Юрьевна (RU), Марков Александр Сергеевич (RU),
Титов Кирилл Романович (RU)*

Заявка № 2025106986

Приоритет изобретения **24 марта 2025 г.**

Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений
Российской Федерации **13 января 2026 г.**

Срок действия исключительного права
на изобретение истекает **24 марта 2045 г.**



*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат 00a570e47ad38d531b4b8818e75f29506
Владелец **Зубов Юрий Сергеевич**
Действителен с 04.07.2025 по 28.11.2026

Ю.С. Зубов