

Научная статья

УДК 665.53/543.424

DOI: 10.17586/2310-1164-2026-19-1-39-64

Сравнительный анализ оптических свойств эфирных масел и CO₂-экстрактов эфирномасличного и пряно-ароматического сырья методами Фурье ИК-спектроскопии и рефрактометрии

А.П. Нечипоренко^{1*}, Л.В. Плотникова², О.С. Везо², У.Ю. Нечипоренко³¹Университет ИТМО, Россия, Санкт-Петербург, *allanech2512@yandex.ru²Санкт-Петербургский государственный университет, Россия, Санкт-Петербург³ООО Аэромед

Аннотация: Методами Фурье ИК-спектроскопии и рефрактометрии проведено сравнительное исследование оптических свойств эфирных масел водно-паровой дистилляции и субкритических CO₂-экстрактов, полученных из разных анатомических частей пяти видов растительного сырья – имбирь, мята перечная, мускатный орех, корица, гвоздика; серии вспомогательных веществ, являющихся в системе исследуемых образцов доминирующими компонентами, и их купажей. Использование вспомогательных веществ и купажирования позволило выделить области спектра, в которых наиболее показательно идентифицируются характеристические полосы основных компонентов экстрактов в зависимости от природы растительного сырья и технологических особенностей методов выделения. Отмечены потенциальные возможности экспресс-метода Фурье ИК-спектроскопии для оценки качества экстрактов обеих технологий узко специализированного назначения в различных сферах применения.

Ключевые слова: эфирные масла; CO₂-экстракты; оптические свойства эфирномасличного сырья; Фурье ИК-спектроскопия; качество экстрактов

Original article

Comparative analysis of the optical properties of essential oils and CO₂ extracts of essential oil and spice-aromatic raw materials using Fourier transform IR spectroscopy and refractometry

Alla P. Nechiporenko^{1*}, Lyudmila V. Plotnikova², Olga S. Vezo², Ulyana Yu. Nechiporenko³¹ITMO University, St. Petersburg, Russia, *allanech2512@yandex.ru²Saint Petersburg State University, St. Petersburg, Russia³Aeromed LLC

Abstract. A comparative study of the optical properties of essential oils obtained by water-steam distillation and subcritical CO₂ extracts from different anatomical parts of five types of plant raw materials – ginger, peppermint, nutmeg, cinnamon, cloves, and a series of auxiliary substances that are the dominant components in the system of the studied samples and their blends – was conducted using Fourier IR spectroscopy and refractometry. The use of auxiliary substances and blending allowed us to identify the areas of the spectrum where the characteristic bands of the main components of the extracts are most clearly identified, depending on the nature of the plant raw material and the technological features of the extraction methods. The potential of the express Fourier IR spectroscopy method for assessing the quality of extracts from both specialized technologies in various fields of application has been noted.

Keywords: essential oils; CO₂ extracts; optical properties of essential oil raw materials; Fourier IR spectroscopy; quality of extracts

Введение

Эфирные масла (аромамасла) – обширная категория очень летучих природных жидкостей, представляющих собой многокомпонентные смеси душистых веществ (400–800 наименований), относящихся преимущественно к монотерпенам, сесквитерпенам, ароматическим соединениям и их производным: спиртам, кетонам, альдегидам, сложным эфирам [1–3], которые являются вторичными метаболитами, синтезируемыми растениями как ответ на воздействие инфекций и вредителей. Однако преобладающей группой являются моноциклические, бициклические и алифатические монотерпены.

За летучесть эфирные масла названы эфирными, а за внешнее сходство с жидкими жирными растительными маслами – маслами. Это прозрачные легкоподвижные маслянистые жидкости, не оставляющие пятна на бумаге, бесцветные или окрашенные (желтые, зеленые, синие, коричневые, красноватые), в которых отсутствуют триглицериды.

Источником эфирных масел, обладающих комплексом сильных физиологических и фармакологических свойств, являются эфиромасличные растения [4, 5]. Характерный, ярко выраженный аромат эфирного масла связан прежде всего с хемотипом данного растения, но зависит от его географического происхождения, погодных условий в год сбора, длительности и условий хранения, способа извлечения из сырья. Кроме того, аромабуquet масла в значительной мере определяют сорт растения, состав и структура почв, влажность и температура воздуха, количество солнечных дней, перенесенные болезни и атаки вредителей в период вегетации.

Ароматические масла – древнейшее лечебное средство [6], оказывающее в зависимости от состава различное воздействие на организм и применяющееся для разных целей [7–13]. В настоящее время известно несколько тысяч эфирных масел, каждое из которых по-своему уникально. Выбор масла связан со сферой его применения в качестве добавок и часто определяется комплексом фармакологических, медицинских, парфюмерных, вкусо-ароматических свойств. Одним из ценнейших свойств эфирных масел является широкий спектр антибактериальной, противовирусной, противовоспалительной, антиоксидантной активности [14–17], а также высокая биологическая активность в лечении и профилактике многих заболеваний сердечно-сосудистой, нервной, респираторной, эндокринной, мышечной систем, кожи [18–27]. Направленность и выраженность действия не одинакова у разных эфирных масел, что объясняет дифференцированность их применения в разных случаях.

Современная медицина считает аромамасла прекрасным средством профилактики, лечения и реабилитации больных рядом психических заболеваний [28–30]. В официальной медицине и фармакопее используют как эфирные масла, так и выделенные из них индивидуальные душистые вещества, а также сами эфиромасличные растения и ароматные воды на их основе. Общеизвестно широкое использование эфирных масел в парфюмерии и косметологии [31, 32].

Существует несколько способов производства эфирных масел [33–35], и каждая технология имеет свои особенности: дистилляция, перколяция, мацерация, анфлераж, холодный отжим, экстракция органическими растворителями, динамическая адсорбция. Самыми редкими и дорогими сегодня считаются анфлераж и мацерация. Их объединяет принцип естественного поглощения жирными растворителями (растительное масло, свиной, говяжий жир) летучих веществ из разных частей растения. В настоящее время чаще всего применяется экономичный и одновременно самый естественный, существовавший еще в древности, метод дистилляции – отгонка с паром. Методом холодного прессования получают ароматические масла только из целых фруктов и кожуры цитрусовых. В случае динамической адсорбции, современного и достаточно технологичного способа, в роли «поглотителя аромата» выступает активированный уголь.

Эфирные масла обладают способностью растворяться во многих летучих органических растворителях (гексан, гептан, диэтиловый эфир, этанол, бензол, ацетон, толуол и др.), и это их свойство используется, когда термолабильные компоненты эфирных масел при перегонке с водяным паром разрушаются. Одним из перспективных способов экстракции эфиромасличного сырья является экстракция сжиженными газами: в качестве экстрагента используют сжиженные бутан, пропан, аргон, азот, аммиак, углекислый газ, фреоны и др. Для каждого эфирного масла существуют определенные технические требования к способу его получения и качеству технического сырья, поскольку от этого зависит качественный и количественный химический состав эфирного масла и его биологическая активность [36–40].

Эфирные масла образуются во всех частях эфиромасличных растений – цветки, почки, плоды, листья, корни, кора, луковицы, содержание которых в различных анатомических частях колеблется от тысячных долей процента до 5–6%, а для некоторых видов сырья (бутоны гвоздичного дерева) достигает 20%. Кроме того, содержание и соотношение компонентов в различных частях растений зависит от региона произрастания и меняется индивидуально в зависимости от множества факторов природного характера – сезон (весна, лето, осень) и погодные условия.

В настоящее время в медицинской, фармацевтической, парфюмерной, косметической, пищевой промышленности, бытовой химии все шире применяются натуральные эфиромасличные и пряно-ароматические экстракты, полученные из растительного сырья с помощью уникального растворителя – сжиженного CO₂ [41, 42], новой технологии XXI века, пришедшей на смену традиционным методам

экстракции. Начало этому положило авторское свидетельство на применение сжиженных газов для извлечения компонентов из растительного сырья («Способ получения цветочных экстрактов», 1948), полученное русским инженером Б. С. Алаевым [43, 44], хотя способ использования сжиженных газов, как технологических реагентов в различных технических процессах известен со времен Майкла Фарадея. Использование докритического сжиженного CO_2 дает возможность практически полностью или частично отказаться от органических растворителей, загрязняющих продукт своими остатками, и не вызывает негативного влияния на окружающую среду. В сравнении с традиционными методами гидроdistилляции это позволяет избежать разрушения термочувствительных и химически нестабильных эфиромасличных компонентов, ответственных за уникальность аромата, вкуса, цвета и биологическую активность готовых экстрактов.

Промышленное производство докритических CO_2 -экстрактов в России началось в 1965 г. на экспериментальном заводе Краснодарского НИИ пищевой промышленности под руководством А. В. Пехова. Сегодня для получения CO_2 -экстрактов (компания «Караван», Краснодар, с 1992 г.) применяются две технологии экстракции сжиженным газом – в докритическом и сверхкритическом состоянии [45–50]. Сжиженный углекислый газ в докритическом состоянии ведет себя как жидкость, а в сверхкритическом – одновременно как жидкость и как газ (флюид). Критическими (переходными) для сжиженного CO_2 являются параметры – температура $31,1^\circ\text{C}$ и давление 7,38 МПа. Докритическая экстракция осуществляется без нагревания при температуре $15\text{--}28^\circ\text{C}$ под давлением 6,5–7,0 МПа. Сверхкритическую (флюидную) экстракцию проводят при параметрах, превышающих критические, получая экстракты с более высоким (98–99%) содержанием биологически активных веществ широкого спектра действия. Обе технологии производят экологически чистую (до 99,9%) продукцию, не имеющую следов растворителей, представляющую натуральный концентрат природных биоактивных комплексов и компонентов с наивысшей функциональностью, в десятки раз превосходя традиционные органические экстрагенты.

Отличия двух технологий, очерчивающие область применимости каждой, состоят в том, что в ходе сверхкритической CO_2 -экстракции, работающей при более жестких условиях, возможны окислительные процессы и другие химические реакции, а также разрушение соединений, чувствительных к повышенным давлению и температуре, что заметно меняет компонентный состав, загрязняя конечный продукт. Однако, являясь одним из инновационных способов экстрагирования, быстрым и экономичным, которому не более 30–35 лет, варьируя температуру, время, расход экстрагента и давление, метод сверхкритической экстракции позволяет управлять процессом для точного извлечения нужных экстрагируемых веществ и их фракционирования в соответствии с конкретной задачей, поставленной потребителем. Докритическая холодная CO_2 -технология полностью лишена всех описанных недостатков, представляя продукт максимально близкий по своему составу к природному сырью, не содержащий никаких посторонних примесей, но она более продолжительна по времени, с продуктивностью ниже в 1,5–2 раза и с ограниченными возможностями фракционирования. Нельзя сказать какая из двух технологий лучше, все определяет запрос потребителя, но докритическая CO_2 -экстракция – это универсальный инструмент, продукция которого идеально подходит для любой сферы жизни и промышленного производства, а сверхкритическая – специализированный.

Сегодня производство CO_2 -экстрактов – безальтернативная экологически чистая, энерго- и ресурсосберегающая, безотходная технология XXI века, мировое первенство в разработке и реализации которой в промышленных масштабах принадлежит России [51] с приоритетом от 21.09.93 г.

Веществами, нерастворимыми для жидкого диоксида углерода являются целлюлоза, гемицеллюлозы, крахмал, органические полимеры с высокой молекулярной массой, сахара, гликозиды, протеины, металлы и их соли. Качество большинства получаемых CO_2 -экстрактов в первую очередь определяется содержанием в них целевых компонентов. Сырьем для их получения являются самые различные лекарственные, пряно-ароматические, эфиромасличные растения, а также вторичное сырье перерабатывающих отраслей (кожура цитрусовых, плодовые и ягодные выжимки, шроты, жмыхи и т.п.), продукты животного происхождения. Использование же сухих измельченных CO_2 -шротов (*schrot* – твердый остаток после любого вида химической экстракции) из растительного сырья в качестве высокоактивных и полезных пищевых добавок обогащает продукты питания хлебобулочного,

кондитерского, мясного, рыбного, молочного, масложирового, консервно-овощного производств, делая CO₂-технологии безотходными.

CO₂-экстракты представляют собой жидкие маслянистые или мазеобразные продукты, полностью передающие свойства, вкус, аромат тех растений, из которых получены. Благодаря содержанию природных консервантов и антиоксидантов (токоферолы, тритерпены, каротиноиды, флавоноиды и др.), которые помогают сохранить продукт без применения синтетических консервантов, обладая очень широким спектром антибактериальной и антимикробной активности, они нашли свою нишу в производстве здоровой пищи – детское, диетическое, лечебно-профилактическое, спортивное питание, в качестве компонентов для БАД и фармпрепаратов [52–54].

Сравнительное исследование разных методов экстракции (гидродистилляция, экстракция растворителями, до и сверхкритическая CO₂-экстракция) [55–59] показывают, что качественный состав экстрактов, полученных из одного сырья, практически одинаков, а основные отличия между ними заключаются в количественном соотношении компонентов. При этом отмечается большее разнообразие в составе сверхкритических CO₂-экстрактов. Таким образом, выбор метода экстракции оказывает значительное влияние на состав конечных продуктов – концентрацию и соотношение извлекаемых соединений и это, как отмечается в ряде работ [60–66], заметно проявляется в разных механизмах и эффективности их целевой биологической направленности. Данный экспериментальный факт является немаловажным для использования продуктов экстракции растительного сырья в различных сферах медицины, фармакопеи, косметологии, пищевой промышленности, а также для разработки эффективных методов контроля качества продукции разного узкоцелевого назначения.

Технический прогресс и возросшая потребность промышленности вызвали необходимость производства синтетических душистых веществ [67–71], многие из которых хорошо имитируют известные запахи, например, бензилацетат – запах жасмина, гераниол – розы, линалоол – ландыша, терпинеол – сирени, эвгенол – лимона и т. д. Сегодня синтетические душистые вещества наряду с другими способами широко используются при фальсификации натуральной продукции разного назначения [72–74]. Но синтетические аналоги природных эфирных масел, имея сходный аромат, не проявляют биологической активности, не обладают терапевтическими эффектами и не могут быть эмоционально полезны.

Следует заметить, что при огромном количестве публикаций по компонентному составу продуктов экстракции пряно-ароматического и эфирномасличного сырья оптические свойства, независимо от метода их выделения, сегодня исследованы недостаточно. Из представленных в литературе методов ЯМР, ПМР, электронной, ИК- и масс-спектропии, применительно к исследованию эфирных масел и CO₂-экстрактов наиболее используемым сегодня является метод ИК-спектропии [37, 64, 75].

Цель данной работы – сравнительное исследование оптических свойств двух серий экстрактов из разных анатомических частей пяти видов пряно-ароматического сырья – эфирных масел водно-паровой дистилляции и сверхкритических CO₂-экстрактов методами Фурье ИК-спектропии и рефрактометрии.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования выбраны эфирные масла (ООО «Лекус») и CO₂-экстракты (компания «Караван») – мяты, имбиря, гвоздики, мускатного ореха, корицы (таблица 1), а также основные компоненты объектов изучения в качестве вспомогательных веществ и купажи эфирных масел и CO₂-экстрактов мяты и мускатного ореха с эвгенолом и α-пиненом.

Колебательные спектры (32 скана) всех объектов исследования получали на Фурье-спектрометре Tensor 37 (Bruker, Германия) с алмазным НПВО элементом, управляемым программным пакетом OPUS со стандартными градуировочными возможностями, в диапазоне частот 4000–600 см⁻¹ в формате поглощения. Обработка полученных данных проводилась в программе Origin.

Рефрактометрические параметры исследуемых образцов – показатель преломления (nD), йодное число (IN), приведенные в таблице 2, снимали на высокоточном цифровом рефрактометре Abbemat WR/MW (Anton Paar, Австрия) на длине волны 589,3 нм при 20 и 40°C. Исследование

проводилось с использованием оборудования Центра диагностики функциональных материалов для медицины, фармакологии и нанoeлектроники Научного парка СПбГУ в рамках проекта 125021702335-5.

Таблица 1. Объекты исследования и их происхождение
Table 1. Objects of research and their origin

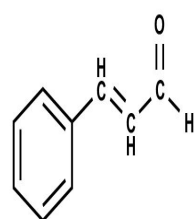
Образец	Источник	Образец	Источник
<i>Эфирные масла</i>		<i>СО₂-экстракты</i>	
имбирь	корень	имбирь	корень
корица	кора	корица	кора
гвоздика	бутоны	гвоздика	бутоны
мускатный орех	семена	мускатный орех	семена
мята перечная	все растение	мята перечная	все растение
<i>Купаж</i>		<i>Вспомогательные вещества</i>	
мускатный орех	СО ₂ -экстракт, α-пинен	коричный альдегид	синтетические
мускатный орех	эфирное масло, α-пинен	эвгенол	
мята перечная	СО ₂ -экстракт, эвгенол	α-пинен	
мята перечная	эфирное масло, эвгенол	ментол	

Таблица 2. Рефрактометрические показатели объектов исследования
Table 2. Refractometric indicators of the objects under study

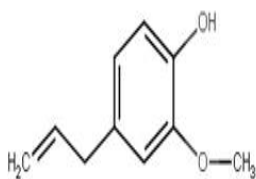
Образец	nD, 20°C	nD, 40°C	IN 40°C	Образец	nD, 20°C	nD, 40°C	IN 40°C
<i>Эфирные масла</i>				<i>СО₂-экстракты</i>			
корица	1,57867	1,56834	888,22	корица	1,59563	1,58551	1057,90
гвоздика	1,52589	1,51661	442,00	гвоздика	1,52860	1,51919	461,93
имбирь	1,50514	1,49583	290,15	имбирь	1,50396	1,49544	287,50
мускат. орех	1,46530	1,45991	65,31	мускат. орех	1,49032	1,48059	188,85
мята	1,45819	1,44973	9,46	мята	1,47560	1,46740	107,95
<i>Вспомогательные вещества</i>				<i>Купаж экстрактов мяты и эвгенола</i>			
эвгенол	1,54176	1,53211	565,47	эфир. масло	1,48469	1,47559	157,39
коричн. альд.	1,53176	1,52276	489,94	СО ₂ -экстракт	1,49559	1,48645	226,83
α-пинен	1,46640	1,45668	46,86	<i>Купаж экстракт. мускатн. ореха и α-пинена</i>			
ментол	1,44624	1,43878	-45,82	эфирное масло	1,46549	1,45967	64,45
				СО ₂ -экстракт	1,47873	1,46987	122,63

Результаты и их обсуждение

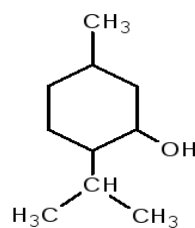
Исследованию выборки пар эфирных масел и СО₂-экстрактов растительного сырья одной природы предшествовал сравнительный спектральный анализ серии вспомогательных веществ, являющихся в их составе основными, доминирующими, согласно литературным данным, в процентном соотношении компонентами (таблица 3)



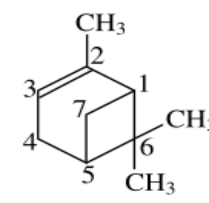
Коричный альдегид
Cinnamic aldehyde



Эвгенол
Eugenol



Ментол
Menthol



α-Пинен
α-Pinene

Коричный альдегид и эвгенол – ароматические соединения класса альдегидов и фенолов соответственно, ментол – моноциклический терпеновый спирт, α-пинен – бициклический монотерпен.

Таблица 3. Основные компоненты эфирных масел и CO₂-экстрактов растительного сырья различного происхождения [17, 33, 38, 61, 72, 76]

Table 3. Main components of essential oils and CO₂ extracts of plant raw materials of various origins [17, 33, 38, 61, 72, 76]

Экстракт	Основные компоненты, сырье	Содержание, %
имбирь	зингиберен (корень)	30–70
корица	коричный альдегид (кора/листья)	40–80/2–8
	эвгенол (кора/листья)	4–10/40–96
гвоздика	эвгенол (бутоны/листья)	30–95/82–88
мускатный орех	α-пинен/сабинен (семена, мацис, лист)	36–80/28–62
мята перечная	ментол/ментон (все растение)	33–68/6–40

Анализ рисунка 1, представляющего общий вид ИК-спектров серии вспомогательных веществ, позволяет отметить заметную разницу в их оптических свойствах во всех диапазонах шкалы волновых чисел. Обращает на себя внимание наличие полосы 3600–3200 см⁻¹ в спектрах коричневого альдегида, эвгенола и ментола, обусловленных колебаниями ОН, С-О, С=О-группировок, и отсутствие в спектре α-пинена, не имеющего их в структуре своей молекулы [77, 78].

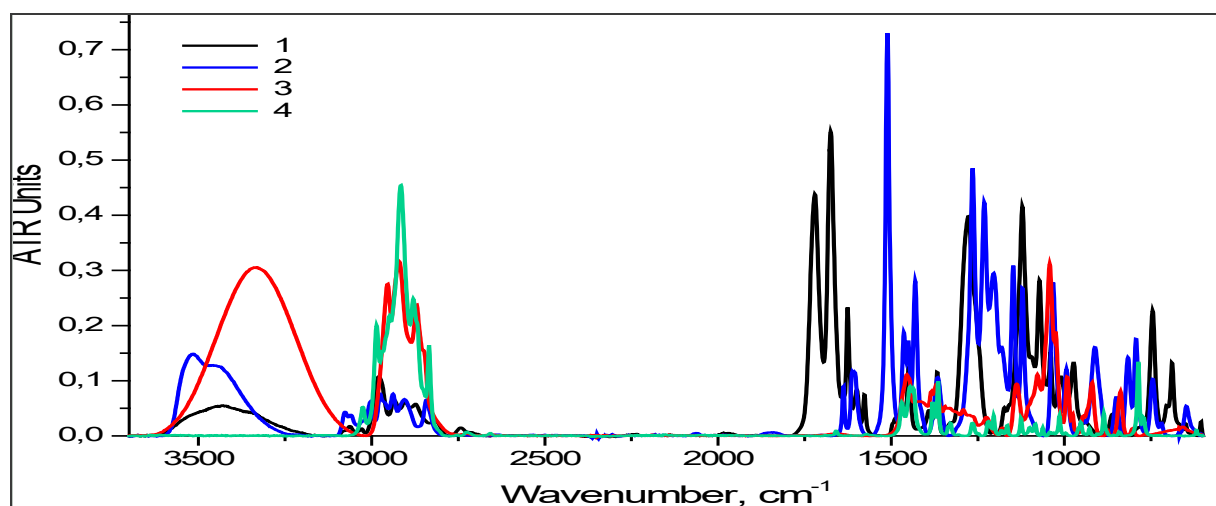


Рисунок 1 – Общий вид ИК-спектров вспомогательных компонентов: 1 – коричный альдегид, 2 – эвгенол, 3 – ментол, 4 – α-пинен

Figure 1. General view of the IR spectra of the auxiliary components: 1 – cinnamic aldehyde, 2 – eugenol, 3 – menthol, 4 – α-pinene

Кроме того наблюдается разделение исследуемых веществ на две подгруппы – коричный альдегид, эвгенол и α-пинен, ментол, что хорошо выражено в относительном расположении полос в области 3000–2800 см⁻¹, где регистрируются валентные асимметричные и симметричные колебания СН_n-группировок. Заметно разделение на подгруппы и по второму, не менее информативному диапазону спектра 1780–600 см⁻¹.

Полосами 2950–2986 и 2870–2886 см⁻¹ (рисунок 2а) в спектрах рассматриваемых образцов представлены асимметричные и симметричные колебания СН₃-функционалов, полосами 2916–2919 и 2843–2867 см⁻¹ асимметричные и симметричные колебания СН₂-групп. В области 3100–3000 см⁻¹ проявляют себя валентные колебания СН-группировок при кратной связи α-пинена (С=СН), при кратных связях ароматического ядра и в боковых цепях коричневого альдегида и эвгенола. Их отсутствие в структуре молекулы ментола подтверждает спектр.

По фрагментам спектров 1780–1500 см⁻¹ (рисунок 2б) не менее очевидно отмеченное разделение не только на подгруппы – отсутствие выраженных полос в спектрах ментола и α-пинена, но и разделение в пределах первой подгруппы, отражающее структурные особенности каждого компонента. В спектре коричневого альдегида видны характерные пики колебаний основных структурных и функциональных элементов – полоса 1721 см⁻¹ обязана С=О-группе, полосы 1674 и 1598 см⁻¹ – валентным асимметричным и симметричным колебаниям кратных связей ароматического кольца, а полоса 1626 см⁻¹ – колебаниям изолированной С=C-связи в структуре его боковой цепи [79–82].

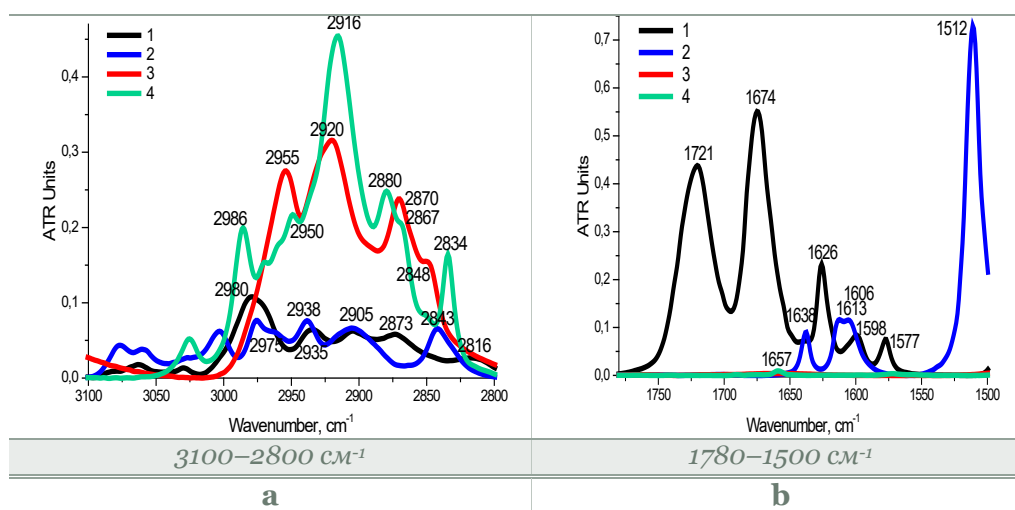
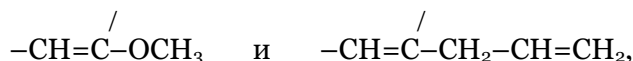


Рисунок 2 – Фрагменты ИК-спектров вспомогательных компонентов:
 1 – коричный альдегид, 2 – эвгенол, 3 – ментол, 4 – α-пинен
 Figure 2. Fragments of the IR spectra of the auxiliary components:
 1 – cinnamic aldehyde, 2 – eugenol, 3 – menthol, 4 – α-pinene

Валентным симметричным колебаниям С=С-связей ароматического кольца в спектре эвгенола принадлежит интенсивная полоса 1512 см⁻¹, колебаниям изолированной кратной связи (СН=СН₂) – полоса 1638 см⁻¹ [37, 83–85]. Дублет 1613/1606 см⁻¹ сформирован асимметричными валентными колебаниями С=С-связей ароматического кольца, связанных с разными боковыми функциональными группировками



так же, как и полоса 1577 см⁻¹ в спектре коричневого альдегида обязана симметричным колебаниям С=С-связи ароматического кольца, взаимодействующей с боковой цепочкой молекулы. В спектре бициклической молекулы α-пинена колебания С=С-связи в данном диапазоне представлены полосой очень слабой интенсивности 1657 см⁻¹ [86–88].

Разделение на подгруппы и выделение фрагментов 3600–2795 и 1500–600 см⁻¹ спектров эвгенола и коричневого альдегида показало (рисунок 3а) в высокочастотной области спектра коричневого альдегида уширенную полосу с максимумом при 3435 см⁻¹, отвечающим колебаниям С=О-групп. Полосы 3086, 3063, 3029 см⁻¹ принадлежат колебаниям трех вариантов СН-группировок при двойных связях – ароматического кольца и изолированной кратной связи. Полосы в спектре эвгенола – 3514 см⁻¹ (ОН), 3450 см⁻¹ (СОС), а полосы 3077, 3060 см⁻¹ принадлежат СН-группам при -СН=СН- и СН₂=СН- двойных связях.

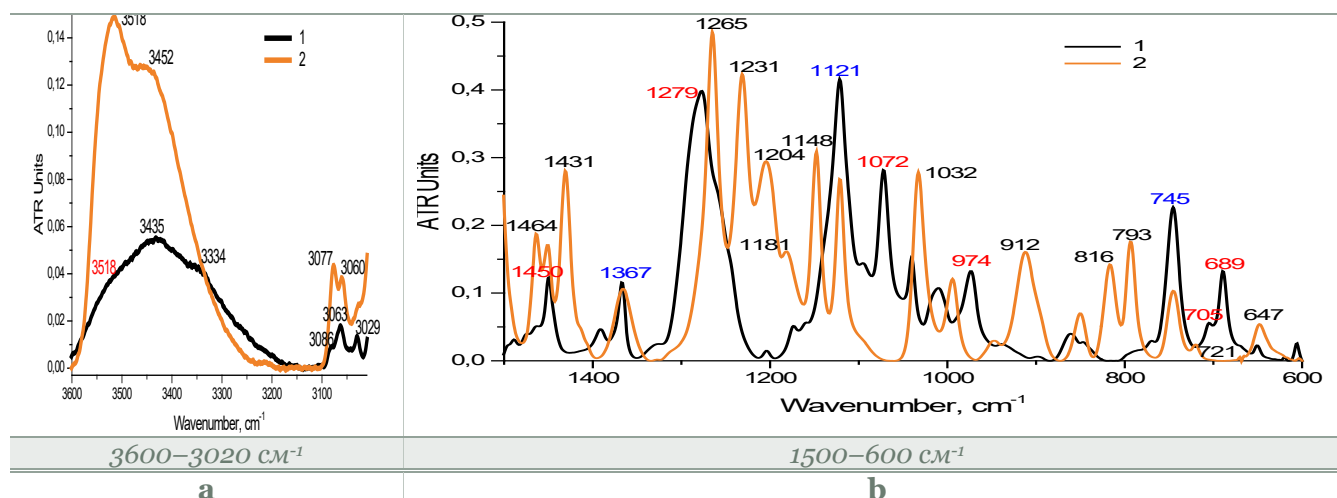


Рисунок 3 – Фрагменты ИК-спектров коричневого альдегида (1) и эвгенола (2)
 Figure 3. Fragments of the IR spectra of cinnamic aldehyde (1) and eugenol (2)

Фрагменты 1500–600 cm^{-1} на рисунке 3b иллюстрируют насыщенность спектра эвгенола по сравнению со спектром коричневого альдегида, обусловленную структурой его молекулы. Для этой области характерно проявление многообразия совокупности валентных и деформационных колебаний С-С, С-О, С-О-С, CH_n , $\text{C}=\text{C}$ -связей. Общими для коричневого альдегида и эвгенола являются полосы 1367, 1121, 745 cm^{-1} . Из индивидуальных полос 1450, 1279, 1072, 974, 689 cm^{-1} в спектре коричневого альдегида, отмеченных авторами ряда работ [79–82], полосы 689 и 705 cm^{-1} принадлежат деформационным колебаниям CH -групп ароматического кольца и изолированной двойной связи в боковой цепочке. Структурное устройство эвгенола, обуславливающее его спектры в данном диапазоне – 1431, 1265, 1231, 1204, 1032, 912, 816, 793 cm^{-1} [37, 83–85], проявляется и в большом разнообразии полос деформационных колебаний CH -групп в составе разных композиций с кратными связями – 816, 793, 647 cm^{-1} .

Фрагменты спектров второй группы вспомогательных веществ (рисунок 4) показывают, что спектр ментола в высокочастотной области полосой 3338 cm^{-1} обязан ОН-группам, связанным водородной связью, полосами 2954 и 2870 cm^{-1} – асимметричным и симметричным колебаниям CH_3 -групп, 2919 и 2847 cm^{-1} – асимметричным и симметричным колебаниям CH_2 -групп (рисунок 4a). На рисунке 4c структурированной полосой 1078–1043–1026 cm^{-1} представлены разные версии колебаний С-О-связи фенольной ОН-группы, обусловленные межмолекулярными водородными связями ментола в структуре его сложных агломератов [86–89]. Некоторая сумбуриность спектра ментола в области 1500–1175 cm^{-1} так же обязана разнообразию валентных и деформационных колебаний всех видов связей в составе агломератов. В области 950–680 cm^{-1} можно отметить полосы 920 и 838 cm^{-1} , но они присутствуют и в спектрах других компонентов.

Для α -пинена полосами асимметричных колебаний CH_3 и CH_2 -групп являются полосы 2984 и 2919 cm^{-1} , а симметричных – 2880 и 2836 cm^{-1} соответственно. Полосой 3025 cm^{-1} проявляют себя валентные колебания CH -группы при двойной связи ($\text{C}=\text{C}$) [90–92], а полосами 787 и 771 cm^{-1} (рисунок 4d) – их деформационные колебания в составе $\text{CH}=\text{C}$ -группировки.

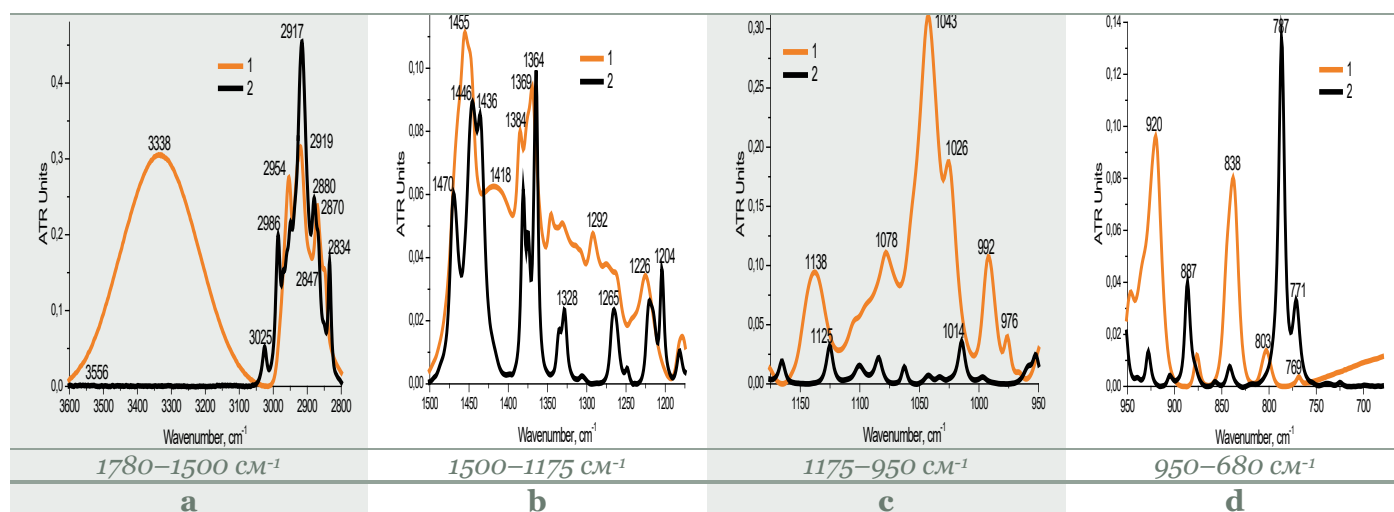


Рисунок 4 – Фрагменты ИК-спектров вспомогательных компонентов: 1 – ментол, 2 – α -пинен
Figure 4. Fragments of IR spectra of auxiliary components: 1 – menthol, 2 – α -pinene

Сравнительный анализ концентратов эфирных масел и CO_2 -экстрактов, полученных двумя методами из сырья одной природы, позволяет увидеть выраженное проявление аналогий в оптических свойствах, обусловленных общностью структурных элементов доминирующих компонентов, и отличий, связанных с происхождением сырья и физическими основами методов производства.

Первое, что следует отметить при анализе общего вида спектров образцов обеих категорий на рисунке 5, это наличие уширенных полос в области 3600–3200 cm^{-1} , как и в случае спектров вспомогательных компонентов, являющихся ароматической зоной шкалы волновых чисел. В обоих случаях здесь наблюдается четкое разделение образцов на две группы – корица, гвоздика и имбирь, мускатный орех, мята, хотя характер самих спектральных кривых в данном регионе заметно отличается.

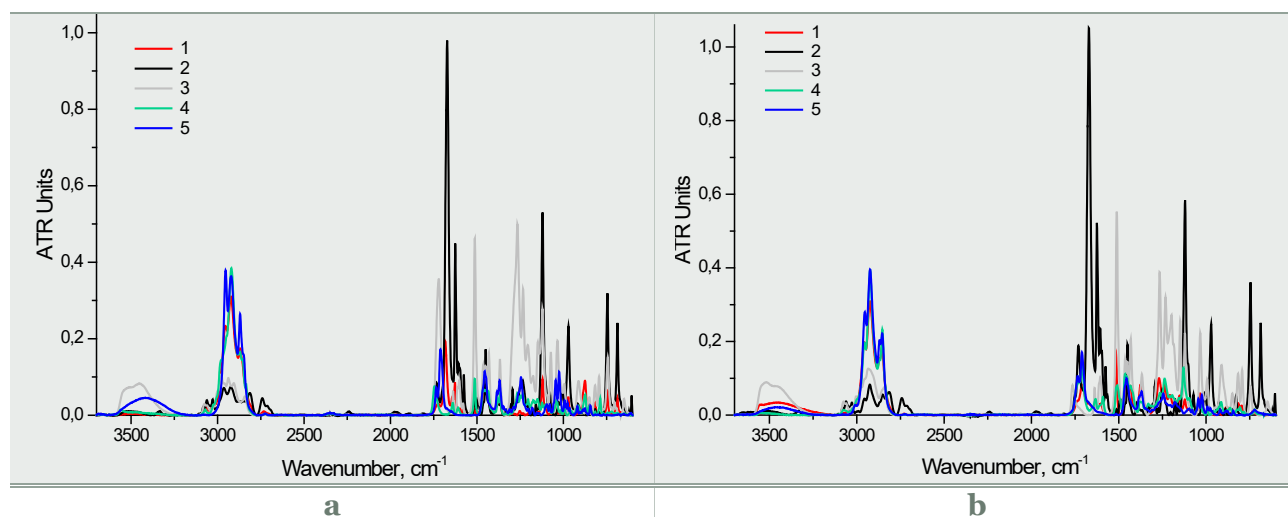


Рисунок 5 – Общий вид ИК-спектров: а) эфирных масел, б) CO₂-экстрактов;
 1 – имбирь, 2 – корица, 3 – гвоздика, 4 – мускатный орех, 5 – мята
 Figure 5. General view of IR spectra: a) essential oils, b) CO₂-extracts;
 1 – ginger, 2 – cinnamon, 3 – cloves, 4 – nutmeg, 5 – mint

Это визуализируют увеличенные фрагменты спектров рисунка 6, позволяя увидеть разницу между оптическими свойствами образцов разной природы в пределах каждой категории образцов, влияние различий в компонентном составе для образцов одной природы, но полученных из сырья разного происхождения и разными методами. Наиболее наглядное представление о вариабельности оптических свойств в данном диапазоне, обусловленной последними двумя факторами, дают спектры экстрактов имбиря и гвоздики (кр. 1 и 3), проявляющейся в фактуре их полос.

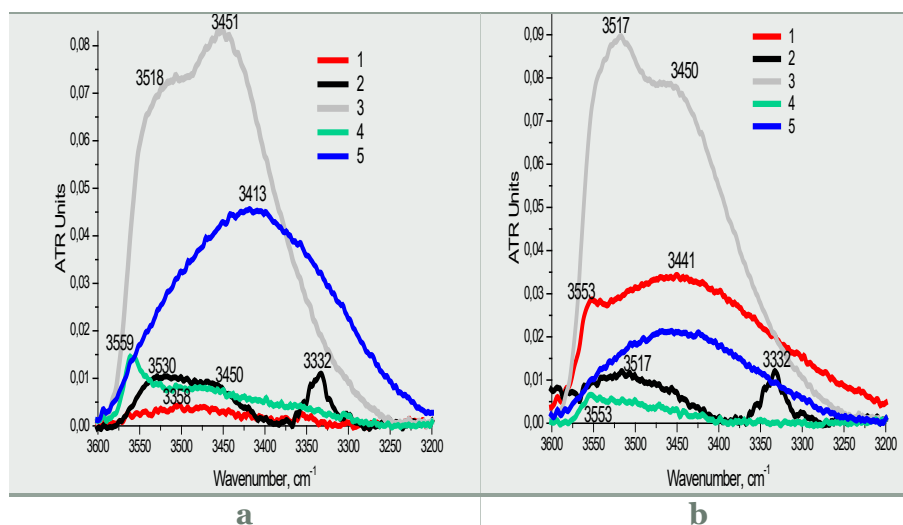


Рисунок 6 – Фрагменты 3600–3200 см⁻¹ ИК-спектров эфирных масел (а) и CO₂-экстрактов (б):
 1 – имбирь, 2 – корица, 3 – гвоздика, 4 – мускатный орех, 5 – мята
 Figure 6. Fragments of 3600–3200 cm⁻¹ IR spectra of essential oils (a) and CO₂ extracts (b):
 1 – ginger, 2 – cinnamon, 3 – clove, 4 – nutmeg, 5 – mint

При анализе оптических свойств эфирных масел также проведено отдельное рассмотрение их спектров по группам, с выделением масел корицы и гвоздики в первую:

- эфирное масло корицы (*Cinnamon Essential Oil*) – получают из коры и листьев коричневого дерева. Преобладающими компонентами в обоих вариантах являются коричный альдегид и эвгенол, но в масле из коры доминирует коричный альдегид, а в масле из листьев эвгенол, сопутствующие компоненты третьего и четвертого порядка по процентному содержанию – бензальдегид, α-пинен, линалоол;

- источником масла гвоздики (*Clove Essential Oil*) являются бутоны и листья гвоздичного дерева, а доминирующим компонентом – эвгенол с более высоким содержанием в масле из листьев. В обоих

случаях в качестве сопутствующих компонентов в значимых количествах присутствуют кариофиллен, ацетэвгенол, α - и β -пинены, линалоол и др.

Фрагменты спектров высокочастотной области (рисунок 7) экстрактов корицы и гвоздики свидетельствуют, что положение полос, отвечающих валентным колебаниям СН-групп при кратных связях (3100 – 3020 cm^{-1}) независимо от метода получения отвечают числу полос и их положению в контрольных спектрах коричневого альдегида и эвгенола соответственно (рисунок 3а).

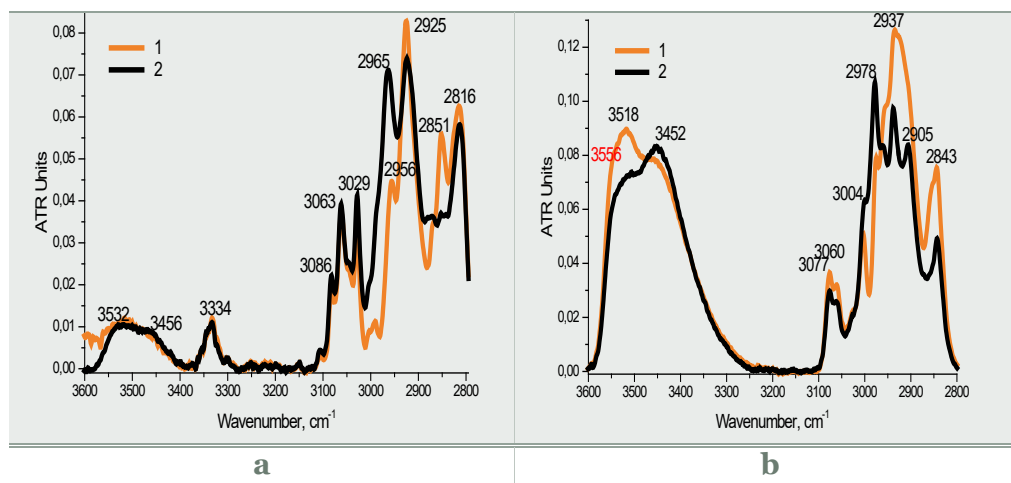


Рисунок 7 – Фрагменты 3600 – 3800 cm^{-1} ИК-спектров CO_2 -экстрактов (1) и эфирных масел (2) корицы (а) и гвоздики (б)

Figure 7. Fragments of 3600 – 3800 cm^{-1} IR spectra of CO_2 extracts (1) and essential oils (2) of cinnamon (a) and clove (b)

Отличаясь несколько по интенсивности, три полосы коричневого альдегида (3084 , 3062 , 3028 cm^{-1}) в спектрах экстрактов корицы и две эвгенола (3077 , 3060 cm^{-1}) в спектрах гвоздики фактически подтверждают свой доминирующий статус в составе анализируемых образцов. Преобразования в оптических свойствах обоих доминирующих компонентов в составе экстрактов заметны в области 3600 – 3300 cm^{-1} . Коричный альдегид (рисунок 7а) – дифференциация полосы 3334 cm^{-1} из состава широкой полосы 3518 – 3334 cm^{-1} в спектре контрольного образца (рисунок 3а) и ее трансформации в полосу с двумя максимумами 3532 – 3456 cm^{-1} .

Двойная полоса эвгенола в спектре CO_2 -экстракта гвоздики (рисунок 7б), отвечая по фактуре полосе в спектре контрольного образца (рисунок 3а), в спектре эфирного масла меняет соотношение интенсивности полос 3518 и 3452 cm^{-1} на противоположное, что может говорить о заметной разнице в составе сопутствующих компонентов, проявляющейся через их межмолекулярные взаимодействия. Разночтение в положении, интенсивности и вариабельности формы полос в области поглощения CH_2 и CH_3 группировок (3020 – 2800 cm^{-1}) в спектрах образцов экстрактов корицы и гвоздики может служить дополнительным указанием на различия в их компонентном составе, обусловленном разницей в происхождении и качестве сырья.

Рисунок 8а, иллюстрирующий фрагменты спектров экстрактов корицы, по наличию и положению основных полос показывает соответствие оптических свойств обоих образцов и контрольного образца коричневого альдегида, отмечая при этом полосами в области 1752 – 1732 cm^{-1} их различие по составу и содержанию карбонильных соединений, по полосе 1513 cm^{-1} эвгенола. Наиболее представленной коричневым альдегидом является пара полос – 745 и 687 cm^{-1} (фр. «d»).

При общей близости по положению основных полос эвгенола во всех диапазонах спектров обоих экстрактов гвоздики, в составе CO_2 -экстракта отмечено наличие карбонилсодержащего компонента (1765 cm^{-1}) – (фр. «а»), а в эфирном масле заметное содержание компонента, проявляющегося полосами 1721 и 1072 cm^{-1} , которые отсутствуют в спектре контрольного образца эвгенола.

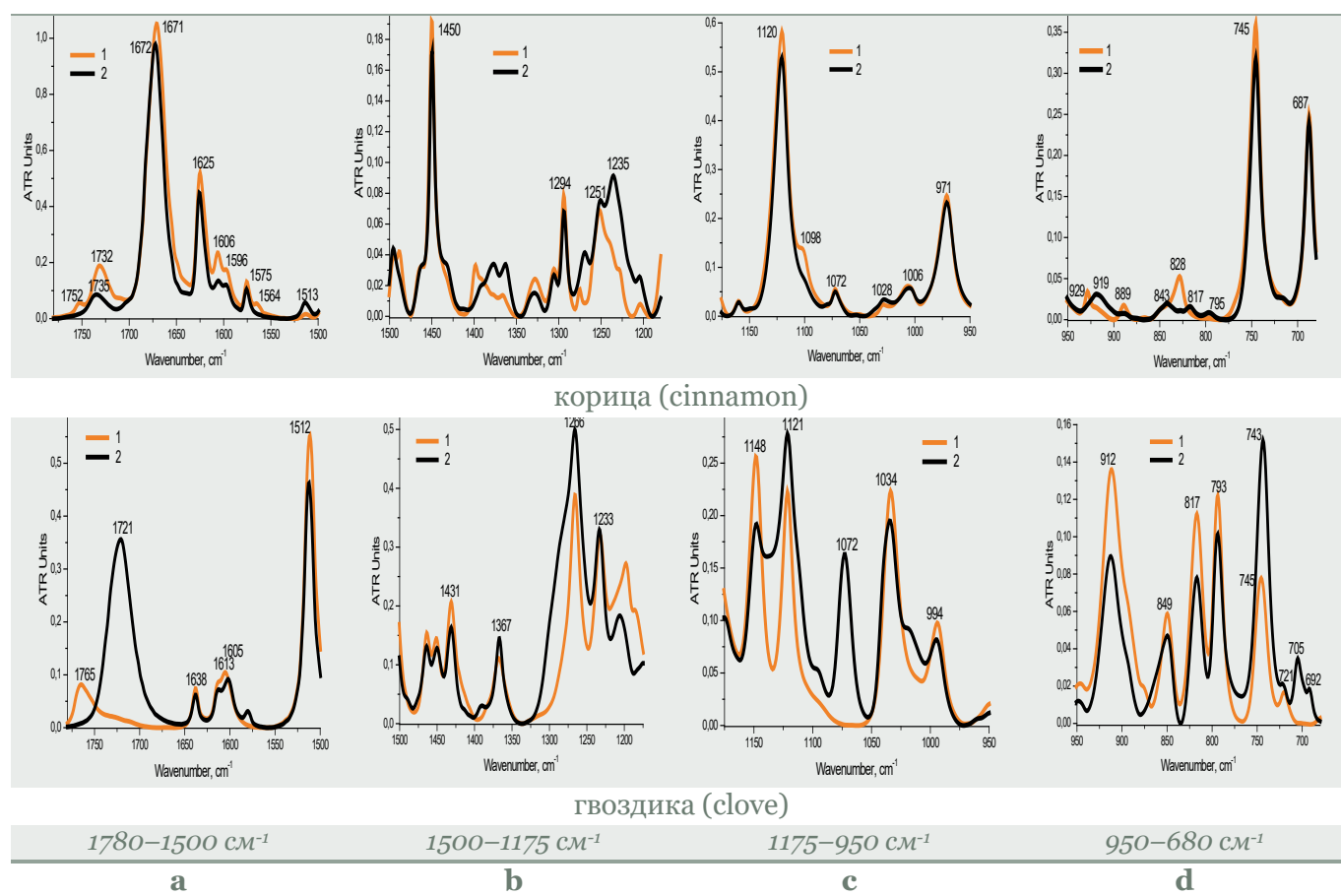
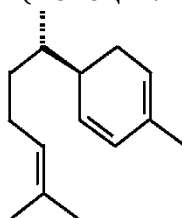


Рисунок 8 – Фрагменты ИК-спектров CO_2 -экстрактов (1) и эфирных масел (2) корицы и гвоздики
 Figure 8. Fragments of IR spectra of CO_2 extracts (1) and essential oils (2) of cinnamon and cloves

Источником мятного эфирного масла (*Mentha piperita* L.) служит вся наземная часть растения, а имбиря (*Zingiber officinale*) – сухой и свежий корень. В мятном масле преобладающим компонентом является ментол, а в имбирном – зингиберен (моноциклический сесквитерпен)



Зингиберен (Zingiberen)

Компоненты второго и третьего порядка в масле имбиря – бисаболен, куркумен, камфен, пинен, линалоол, эвгенол, а в масле мяты – ментилацетат, изоментон, ментон, цинеол. Основные компоненты эфирных масел мускатного ореха (*Myristica fragrans*) – продуктов, извлекаемых из ореха и его околоплодников (мациса) представлены α и β -пененами, сабиненом, эвгенолом, миристицином, а также лимоненом, линалоолом, гераниолом, широко варьируемыми по содержанию и др.

Рисунок 9 представляет высокочастотную область спектральных кривых образцов экстрактов второй группы. Спектры CO_2 -экстракта и эфирного масла имбиря (рисунок 9а) со всей очевидностью так же указывают на заметную разницу в их составе. Исходя из структуры молекулы зингиберена следует полагать, что его наличие как доминирующего компонента отражает спектр эфирного масла:

- прежде всего это отсутствие выраженных полос в области $3600\text{--}3100\text{ см}^{-1}$, связанное с отсутствием в структуре функциональных элементов, которые в ней проявляются;
- наличие слабой полосы 3070 см^{-1} , обусловленной валентными колебаниями СН-групп при двойной изолированной связи алкильной цепочки $\text{C}=\text{CH}$.

Уширенная полоса 3442 см^{-1} с небольшим максимумом 3553 см^{-1} на спаде левой ветви в спектре CO_2 -экстракта указывает на присутствие значительного количества в его составе эвгенола. Полосы

2955 и 2923 cm^{-1} в спектрах обоих образцов регистрируют валентные асимметричные колебания CH_3 и CH_2 -группировок, а полосы 2869 и 2854 cm^{-1} , соответственно, их симметричные валентные колебания.

Общий вид спектров экстрактов мяты в высокочастотной области (рисунок 9b) достаточно близок, на разницу в компонентном составе двух образцов может указывать положение максимумов полос 3441 и 3413 cm^{-1} , далекое от положения максимума в спектре контрольного образца ментола (3338 cm^{-1} , рисунок 4a). Максимумы 3556 и 3553 cm^{-1} в спектрах экстрактов мускатного ореха с достаточно высокой определенностью могут указывать на то, что в составе эфирного масла преобладает α -пинен, а в спектре CO_2 -экстракта – эвгенол.

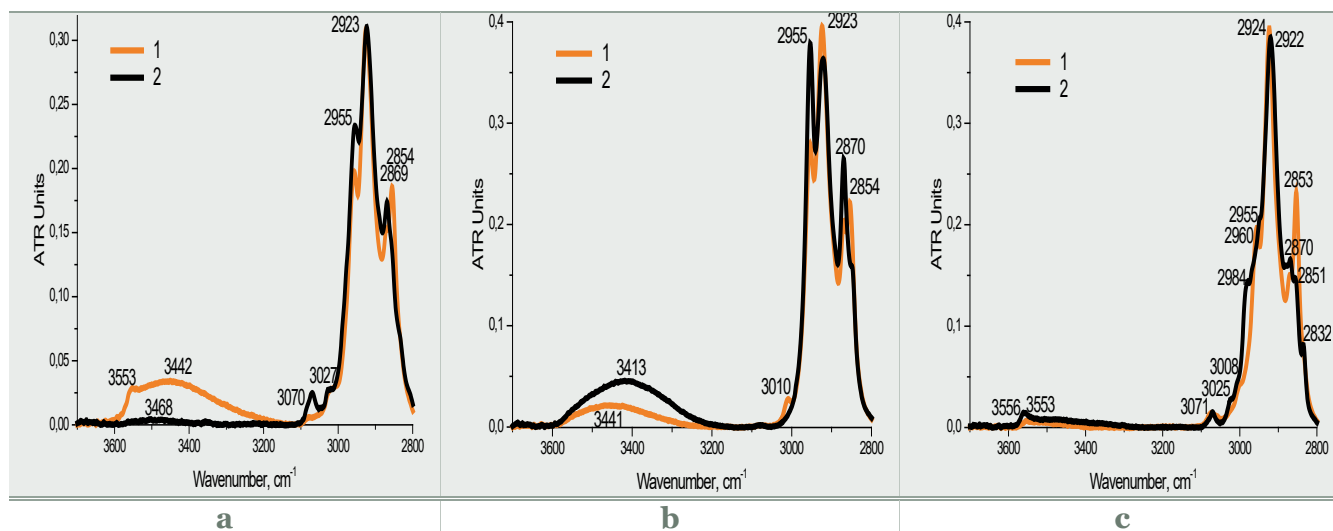


Рисунок 9 – Фрагменты 3700–2800 cm^{-1} ИК-спектров CO_2 -экстрактов (1) и эфирных масел (2):
 а – имбиря, б – мяты, с – мускатного ореха

Figure 9. Fragments of 3700–2800 cm^{-1} IR spectra of CO_2 extracts (1) and essential oils (2):
 a – ginger, b – mint, c – nutmeg

Пофрагментный анализ спектров образцов экстрактов второй группы (рисунок 10), подтверждающая предварительные наблюдения проявления зингиберина в оптических свойствах эфирного масла имбиря, позволяет выделить наиболее характерные для него полосы – 1684, 1628, 1576, 971, 746, 687 cm^{-1} , отмеченные ранее авторами работ [93, 94]. Полосы 1684 и 1628 cm^{-1} (фр. «а») обязаны валентным колебаниям $\text{C}=\text{C}$ -связей ароматического кольца и кратной изолированной связи $\text{C}=\text{CH}$ -группы в составе боковой алифатической цепочки зингиберена.

Небольшая полоса 1515 cm^{-1} указывает на наличие в образце эвгенола, а полоса 1726 cm^{-1} на присутствие карбонилсодержащих соединений. В области 950–680 cm^{-1} характеристичными для зингиберена являются полосы 746 и 687 cm^{-1} , обязанные деформационным колебаниям CH -групп при кратных связях $\text{CH}=\text{CH}$ и $\text{C}=\text{CH}$ в составе ароматического кольца и боковой цепи. Комплекс полос 1515, 1270, 1235, 815/796 cm^{-1} , характерных для эвгелона, регистрируемых в спектре CO_2 -экстракта имбиря, подтверждают его доминирование в составе исследуемого образца, а полосы 1738 и 1709 cm^{-1} так же указывают на присутствие карбонильных соединений.

Анализ экстрактов мяты показал наличие полос 1735 и 1711 cm^{-1} (фр. «а») в спектрах обоих образцов, отсутствующих в спектре контрольного образца ментола (рисунок 2б). Это указывает на существенное содержание в них компонентов, в составе молекул которых присутствуют $\text{C}=\text{O}$ группировки (ментон, изоментон) [86–89]. Наличие же очень слабых характеристических полосок 1515–1513 cm^{-1} говорит о присутствии в составе обоих образцов эвгенола, что подтверждают уширенная полоса 721 cm^{-1} в спектре CO_2 -экстракта и 748 cm^{-1} в спектре эфирного масла (фр. «d»). Причем содержание эвгенола в составе CO_2 -экстракта несколько выше. Ментол наиболее показательно проявляет себя полосами 1078, 1045, 1025, 992, 976 cm^{-1} (фр. «с»), представленными колебаниями $\text{C}-\text{O}$ -связей, интенсивность же этих полос говорит о том, что его содержание больше в составе эфирного масла. Об этом же свидетельствуют и его четко проявленные полосы 919 и 843 cm^{-1} на фрагменте «d».

Следует отметить отсутствие сумбурности в спектрах на фрагменте «b» по сравнению со спектром контроля (рисунок 4b) и более четкое выявление полос 1455, 1370 и 1246 cm^{-1} , отвечающих ментолу

в спектрах обоих образцов. Данный экспериментальный факт свидетельствует о разрушении межмолекулярных водородных связей в структуре контроля и образовании новых межмолекулярных связей ментола с компонентами в составе экстрактов, что выявляет и подчеркивает его роль как доминирующего компонента в формировании оптических свойств обоих экстрактов.

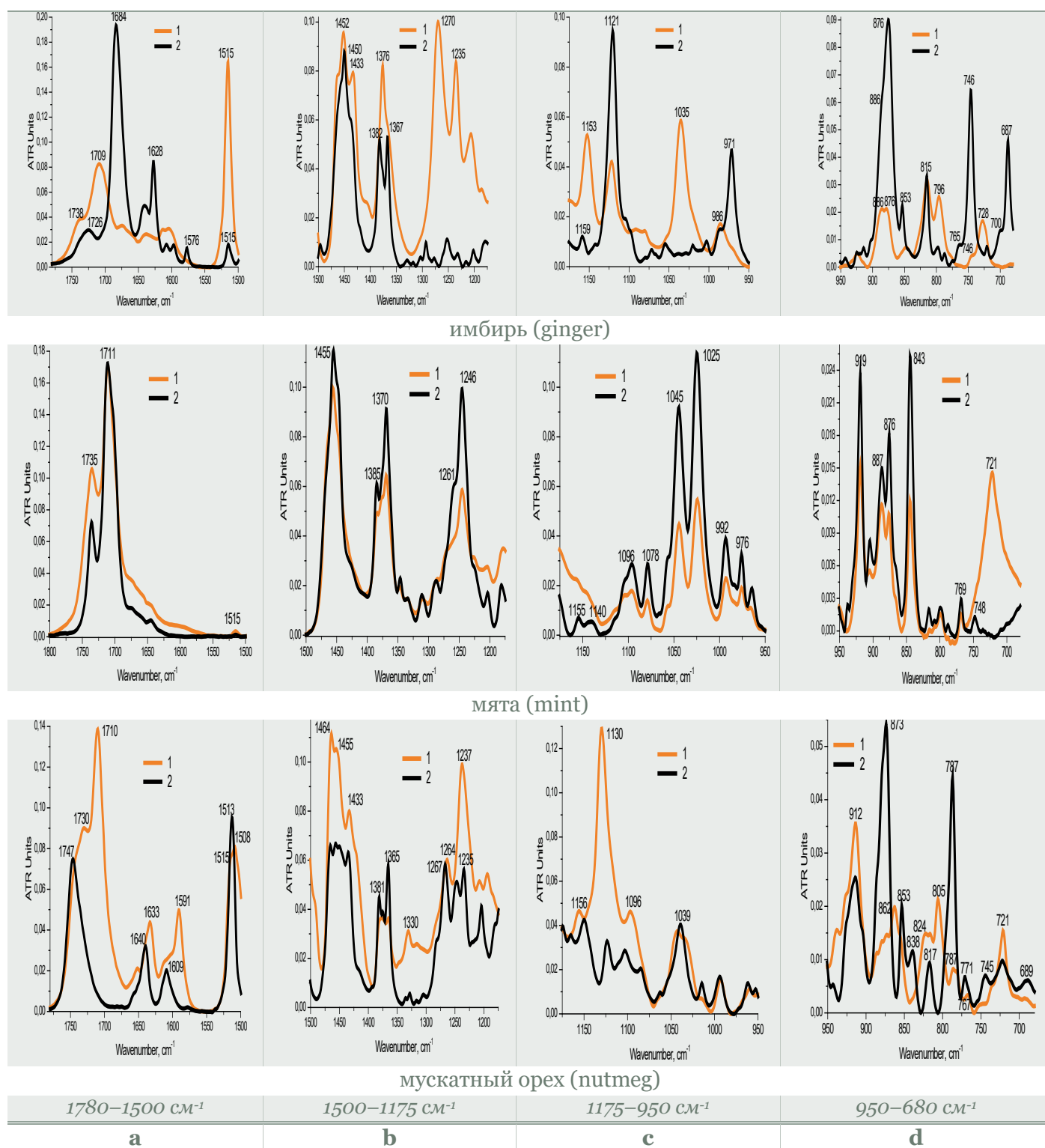


Рисунок 10 – Фрагменты ИК-спектров CO₂-экстрактов (1) и эфирных масел (2) имбиря, мяты и мускатного ореха

Figure 10. Fragments of IR spectra of CO₂ extracts (1) and essential oils (2) of ginger, mint and nutmeg

Оптические свойства экстрактов мускатного ореха во всех рассматриваемых диапазонах шкалы волновых чисел, подчеркивая разницу в компонентном составе, так же указывают на наличие карбонильных соединений – 1747, 1730, 1710 см⁻¹ (фр. «а»), с их большим разнообразием в CO₂-экстракте.

О том, что в составе обоих образцов присутствует эвгенол, говорит полоса 1515–1513 cm^{-1} , а на его доминирование в спектре CO_2 -экстракта указывают полосы 805, 745, 721 cm^{-1} (фр. «d»). Этот же фрагмент спектра эфирного масла с полосами 787 и 771 cm^{-1} иллюстрирует значительное содержание в нем α -пинена [17], а слабая структурированная полоса 787 cm^{-1} в спектре CO_2 -экстракта так же позволяет полагать его присутствие. В диапазоне 1500–950 cm^{-1} (фрагменты «b» и «с») полосами 1464, 1237, 1130 cm^{-1} наиболее убедительно в спектре CO_2 -экстракта утверждает себя эвгенол.

Рассматривая наиболее иллюстративно-информативные фрагменты спектров экстрактов второй группы (рисунок 11), объединенных по категориям, можно заметить отличия в их оптических свойствах, обусловленные природой сырья и его происхождением, раскрывающие разницу в компонентном составе по положению характеристических полос, отмеченных выше.

При сопоставлении спектров экстрактов обеих категорий в диапазоне 1780–1500 cm^{-1} можно отметить, что наличие полос 1735 и 1711 cm^{-1} в спектрах обоих экстрактов мяты указывает на присутствие карбонилсодержащих соединений, из которых последняя принадлежит ментону. Но соединения этого класса с полосами 1746–1730 и 1709 cm^{-1} , близкие по фактуре, регистрируются в спектрах CO_2 -экстрактов имбиря и мускатного ореха, при отсутствии выраженных полос зингиберена (1684, 1628 cm^{-1}) в спектре имбиря. На присутствие эвгенола в составе обеих категорий экстрактов указывают полосы в области 1515–1513 cm^{-1} .

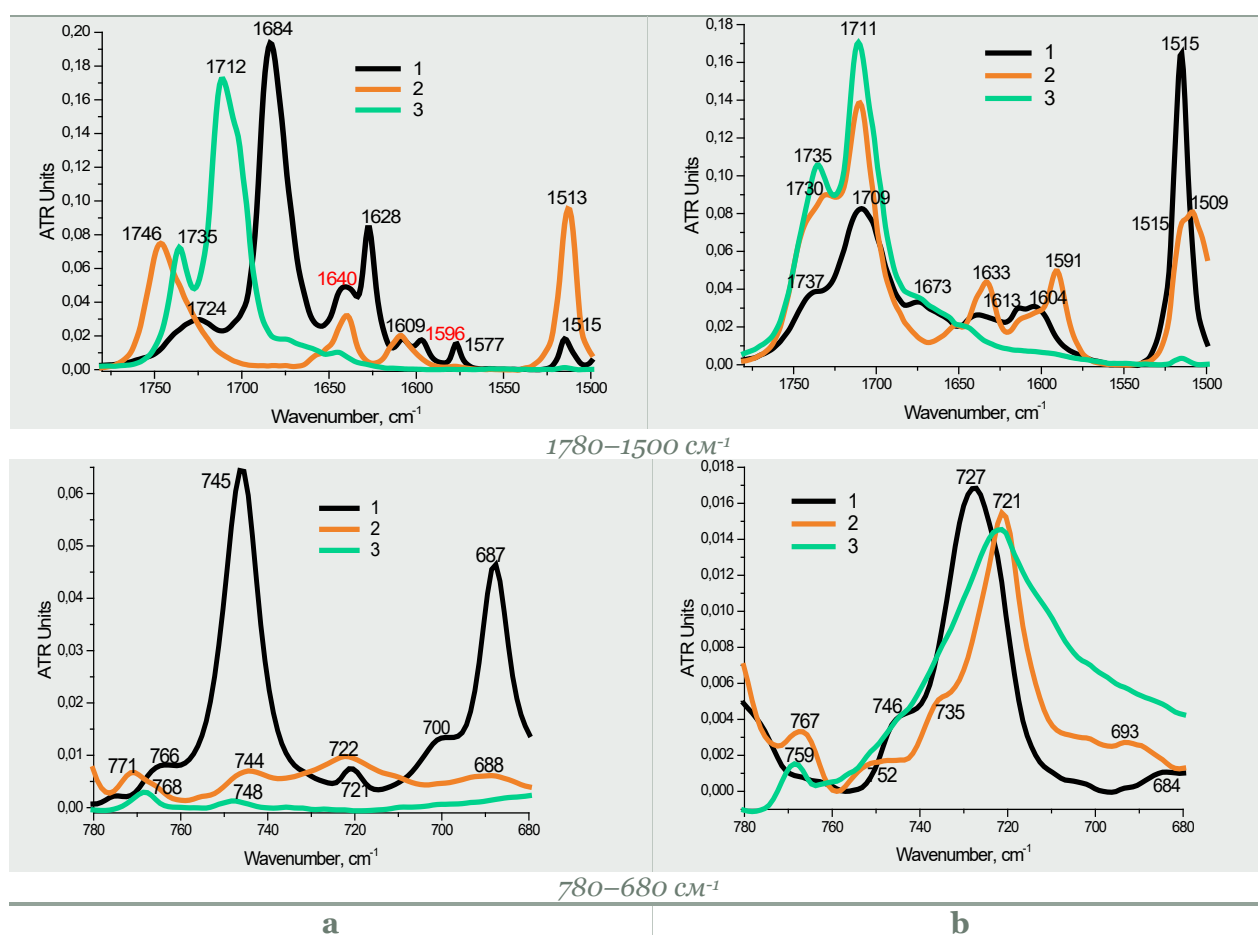


Рисунок 11 – Фрагменты ИК-спектров эфирных масел (a) и CO_2 -экстрактов (b):

1 – имбирь, 2 – мускатный орех, 3 – мята

Figure 11. Fragments of IR spectra of essential oils (a) and CO_2 extracts (b):

1 – ginger, 2 – nutmeg, 3 – peppermint

Фрагменты 780–680 cm^{-1} рисунка с положением полос 727–721 cm^{-1} в спектрах CO_2 -экстрактов, характеризующих деформационные колебания C-H -группировок изолированной кратной связи эвгенола, наилучшим образом подтверждают это наблюдение. Данная полоса отсутствует в спектре эфирного масла мяты, но наблюдается в спектрах эфирных масел мускатного ореха и имбиря, в которых полосами 745 и 687 cm^{-1} эффектно выделяется зингиберен.

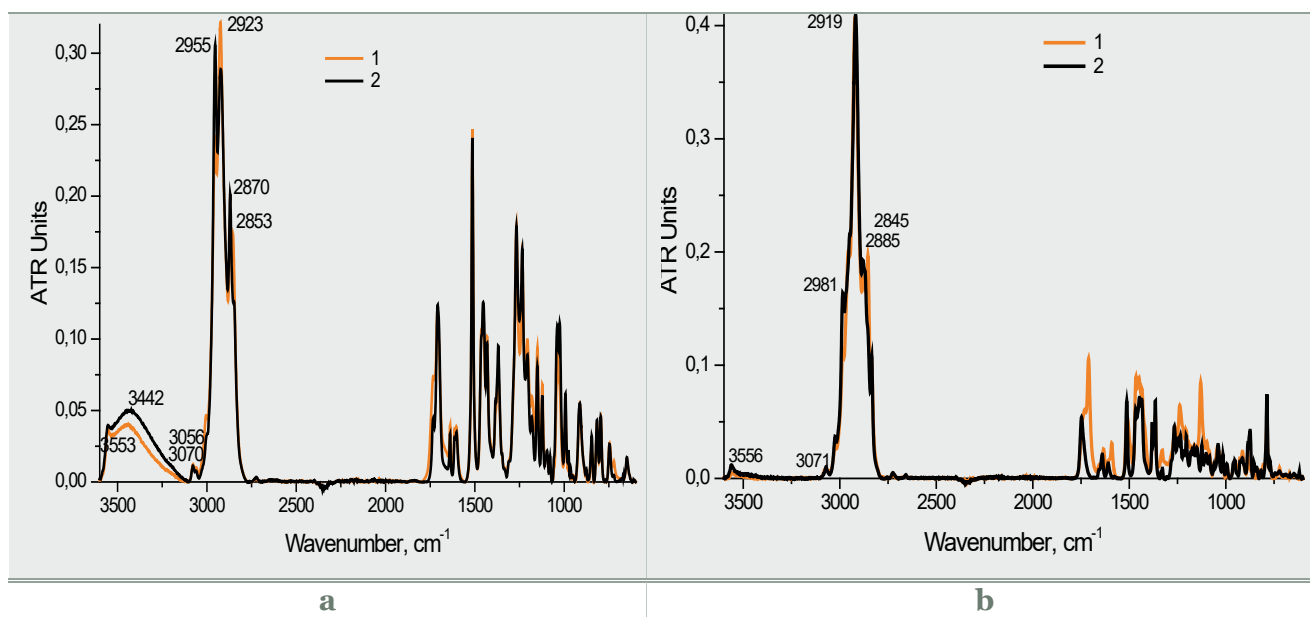


Рисунок 12 – Общий вид ИК-спектров купажей экстрактов: мяты и эвгенола 30% (а), мускатного ореха и α-пинена 30% (b); 1 – CO₂-экстракт, 2 – эфирное масло
 Figure 12. General view of the IR spectra of the extracts blends: mint and eugenol 30% (a), nutmeg and α-pinene 30% (b); 1 – CO₂-extract, 2 – essential oil

Исследование купаженных систем эфирных масел и CO₂-экстрактов мяты и мускатного ореха с эвгенолом и α-пиненом (рисунок 12) показало:

- ✓ в спектре эфирного масла мяты с введением эвгенола появилась его полоса 3442 см⁻¹ с выразительным пиком 3553 см⁻¹ на спаде левой ветви, перекрывающей полосу ментола 3413–3441 см⁻¹ (рисунок 9b); спектр CO₂-экстракта в этой области практически остался без изменения; в спектрах обоих экстрактов сохранили свое положение все полосы валентных асимметричных и симметричных колебаний CH₂- и CH₃-группировок, несколько изменив интенсивность;
- ✓ в спектрах купажей экстрактов мускатного ореха (рисунок 12b) при сохранении полосы α-пинена 3556 см⁻¹ заметно меняется фактура полос колебаний CH₂- и CH₃-группировок – 3000–2800 см⁻¹ (рисунок 9c), приобретая более компактную форму.

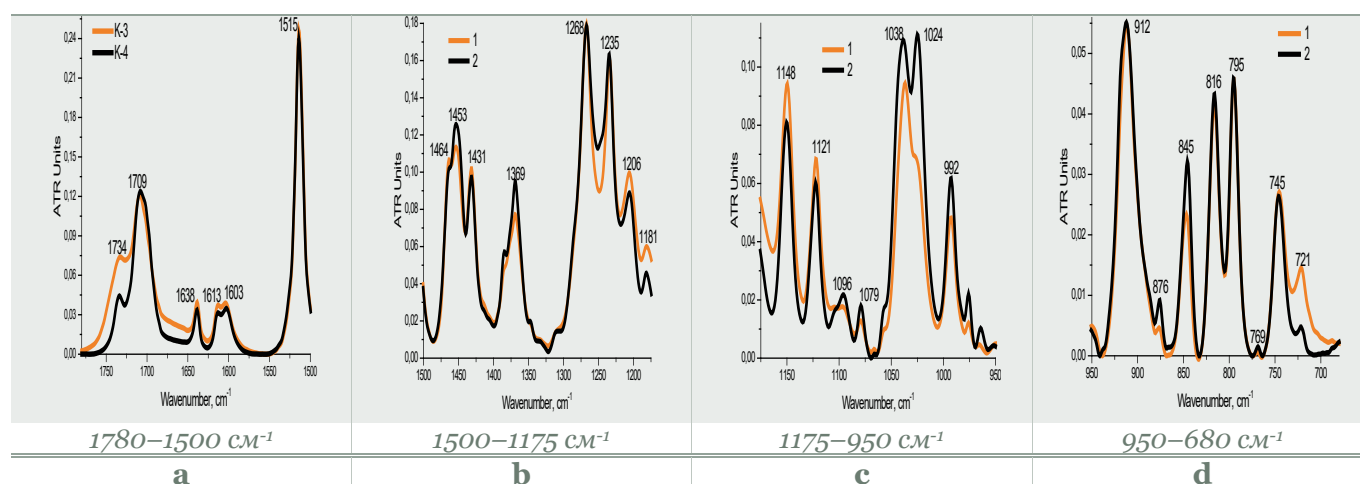


Рисунок 13 – Фрагменты ИК-спектров купажей экстрактов мяты и эвгенола (30%): 1 – CO₂-экстракт, 2 – эфирное масло

Figure 13. Fragments of IR spectra of blends of mint and eugenol extracts (30%): 1 – CO₂ extract, 2 – essential oil

Фрагментирование диапазона 1800–680 см⁻¹ спектров купажей экстрактов мяты (рисунок 13) в обоих случаях позволяет увидеть проявление индивидуальности эвгенола по доминированию характеристических полос, наиболее ярко представленных на фрагментах «а» и «d» полосами 1515, 816, 795, 745, 721 см⁻¹. При общей близости рисунка спектров на фрагментах «b» и «c», отражающих

состояние преимущественно функциональных группировок и структурных элементов основных компонентов, отмечено их выраженное изменение в сравнении со спектрами исходных экстрактов мяты (рисунок 10), обусловленное характером межмолекулярных связей.

Фрагменты спектров купажей экстрактов мускатного ореха (рисунок 14) показывают, что отсутствие полос в спектре α -пинена в области $1780\text{--}1500\text{ см}^{-1}$ (рисунок 14а) не приводит при его введении к заметным изменениям спектральных характеристик обоих экстрактов в данном диапазоне (рисунок 10а), где проявлены полосы карбонильных соединений ($1747, 1731, 1711\text{ см}^{-1}$) и эвгенола (1515 см^{-1}). Но в области $780\text{--}680\text{ см}^{-1}$ (рисунок 14д) α -пинен хорошо себя позиционирует полосами 787 и 771 см^{-1} в спектрах обоих купажей, практически не затрагивая спектр эвгенола. Увеличение содержания α -пинена в составе купажа эфирного масла проявляется увеличением интенсивности полос 787 и 721 см^{-1} (рисунок 10д, ось ординат). Стабильная полоса 1130 см^{-1} (фрагмент «с») в спектре CO_2 -экстракта обязана С-О-связи в молекуле эвгинола.

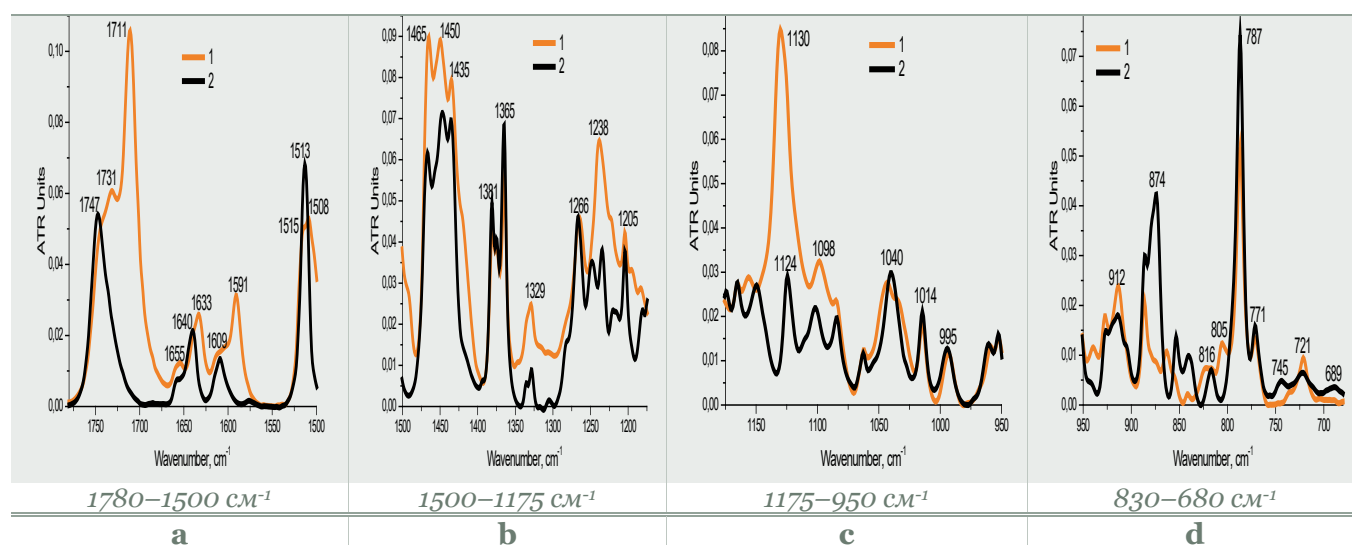


Рисунок 14 – Фрагменты ИК-спектров купажей экстрактов мускатного ореха и α -пинена (30%):
1 – CO_2 -экстракт, 2 – эфирное масло

Figure 14. Fragments of IR spectra of blends of nutmeg extracts and α -pinene (30%): 1 – CO_2 extract, 2 – essential oil

Учитывая летучесть изучаемых образцов, параллельные исследования высокоточным оптическим экспресс-методом рефрактометрии [95], широко используемым в биологических, химических и физических лабораториях для исследования эфирных масел (Масла эфирные. Метод определения показателя преломления, ISO 280:2014, ЮТ), жиров, крови, жидкого топлива, смазочных материалов и т. д., проводились при 20 и 40°C (таблица 2). Анализ полученных данных, независимо от температуры измерения, свидетельствует о снижении показателей преломления (n_D) и йодного числа (IN), фиксирующего количество двойных связей всех категорий, для вспомогательных веществ в порядке – эвгенол, коричный альдегид, α -пинен, ментол, обусловленном убыванием числа кратных связей в структуре их молекул.

Это наблюдение согласуется с изменением обоих рефрактометрических показателей для эфирных масел и CO_2 -экстрактов в последовательности – корица, гвоздика, имбирь, мускатный орех, мята, отражающей преимущественно содержание кратных С=С-связей в структуре молекул их основных компонентов. Отмеченные экспериментальные факты иллюстрирует общая зависимость $IN = f(n_D)$ на рисунке 15 для всей совокупности анализируемых образцов.

Эксперименты, проведенные при двух температурах, выявили во всех случаях, в том числе и для купажированных систем, что повышение температуры на 20°C заметно снижает оба рефрактометрических показателя: уменьшение количества кратных связей, обусловленное летучестью изучаемых объектов. Измерение оптических параметров купажированных систем при 20°C позволило отметить, что введение эвгенола в оба экстракта мяты логично приводит к значительному росту уровня n_D и IN. При этом купажирование экстрактов мускатного ореха и α -пинена практически не изменило показатели эфирного масла и заметно снизило параметры CO_2 -экстракта.

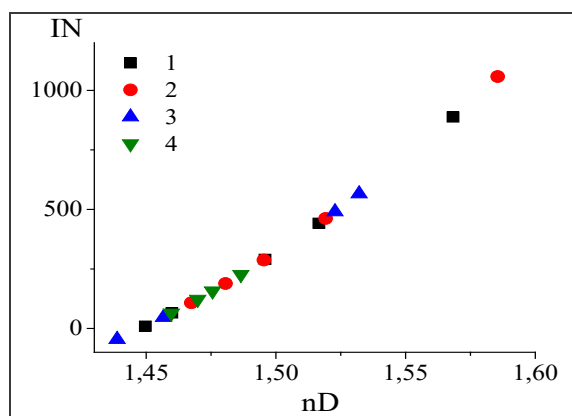


Рисунок 15 – Зависимость $IN = f(nD)$: 1 – эфирные масла, 2 – CO_2 -экстракты, 3 – вспомогательные вещества, 4 – купажи

Figure 15. $IN = f(nD)$ dependence: 1 – essential oils, 2 – CO_2 extracts, 3 – auxiliary substances, 4 – blends

Кроме того, в процессе исследований при 40°C отмечена неустойчивость рефрактометрических показателей (время стабилизации 7 мин) для образцов α -пинена, обоих экстрактов мускатного ореха и их купажей и наличие конденсата на крышке прибора после окончания измерений [96], чего не наблюдалось для остальных образцов. Некоторая обособленность в этом отношении экстрактов и купажей мускатного ореха связана с повышенным содержанием α -пинена, отличающегося самой высокой летучестью и неустойчивостью структуры в группе монотерпенов [97, 98].

Заключение

Сравнительное исследование методами ИК-спектроскопии и рефрактометрии двух серий экстрактов пяти видов растительного сырья, полученных водно-паровой дистилляцией и субкритической CO_2 -экстракцией, серии вспомогательных веществ и их купажей позволило:

- идентифицировать наиболее информативные диапазоны и характеристичные полосы компонентов, доминирующих в составе изучаемых образцов в зависимости от их природы, и отметить разницу в составе продуктов экстракции для двух способов производства, существенно отличающихся по своим физическим основам;

- полагать, что отмеченные наблюдения важны в выборе метода выделения и исходного сырья для производства продуктов узкого целевого назначения (медицина, фармакопея, косметология, пищевое производство), а метод Фурье ИК-спектроскопии и его перспективные возможности для экспресс-оценки конечных продуктов экстракции.

Литература

1. Селлар В. Энциклопедия эфирных масел. М.: Фаир-Пресс, 2005, 400 с.
2. Туманова Е.Ю. Энциклопедия эфирных масел. М.: Рипол Классик, 2014, 256.
3. Либусь О.К., Работягов В.Д., Кутько С.П., Хлыпенко Л.А. Эфирномасличные и пряно-ароматические растения. Фито-, арома- и ароматотерапия. Херсон: Айлант, 2004. 272 с.
4. Ткаченко К.К. Эфирномасличные растения и эфирные масла: достижения и перспективы, современные тенденции изучения и применения // Вестник Удмуртского университета. Серия «Биология и Науки о Земле». 2011. Вып. 1. С. 88–100.
5. Bahadur S., Fatima S. Essential oils of some potential medicinal plants and their wound healing activities. *Curr. Pharm. Biotechnol.* 2024, V. 25, Is. 14, pp. 1818–1834. DOI: 10.2174/0113892010282605231218064053
6. Солдатченко С.С., Николаевский В.В., Кириленко Е.С., Гладун М.И., Кащенко Г.Ф., Небрат С.Н., Дыхнова Т.В. Эфирные масла. Древнейшее лечебное средство. Симферополь: Крымский республиканский НИИ им. И.М. Сеченова, 1995. 160 с.
7. Паптецкий В.С., Невкрытая Н.В. Использование эфирных масел в медицине. ароматерапии, ветеринарии и растениеводстве (Обзор) // Таврический вестник аграрной науки. 2018. Т. 13. № 1. С. 16–38. DOI: 10.25637/TVAN2018.01.02
8. Шамахова Т.А. Терапевтическое применение эфирных масел в медицине: библиографический указатель. Симферополь: Изд-во Крымчпедгиз, 2012. 44 с.
9. Pisseri F., Bertoli A., Pistelli L. Essential oils in medicine: principles of therapy. *Parassitologia.* 2008, V. 50, Is. 1–2, pp. 89–91.

10. Adorjan D., Buchbauer G. Biological properties of essential oils: an updated review. *Flavour Fragr. J.* 2010, V. 25, Is. 6, pp. 407–426. DOI: 10.1002/ffj.2024.
11. Bakkali F., Averbeck S., Averbeck D., Idaomar M. Biological effects of essential oils. A review. *Food and Chemical Toxicology.* 2008, V. 46, Is. 2, pp. 446–475. DOI: 10.1016/j.fct.2007.09.106
12. Райкова С.В., Коликов А.Г., Шуб Г.М., Дурнова Н.А., Шаповал О.Г., Рахметова А.Ю. Антимикробная активность эфирного масла мяты перечной (*Mentha piperita* L.) // Саратовский научно-медицинский журнал. 2011. Т. 7. № 4. С. 787–790.
13. Жученко Е.В., Семенова Е.Ф., Маркелова Н.Н., Шпичка А.И., Князькова А.А. Влияние эфирных масел на микроорганизмы различной таксономической принадлежности в сравнении с современными антибиотиками. Сообщение III. Действие масел лаванды, розового дерева, эвкалипта, пихты на некоторые грамотрицательные бактерии // Известия высших учебных заведений. Поволжский район. Естественные науки. 2015. № 1. С. 30–41.
14. Халдун А.О. Антибактериальное действие эфирных масел некоторых растений // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. 2006. № 3. С. 92–93.
15. Тьрков А.Г., Сухенко Л.Т., Акмаев Э.Р. Антимикробная активность эфирных масел, выделенных из растений астраханского региона // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2012. Т. 88. № 2. С. 57–59.
16. Фролова А.В. Эфирные масла – перспективные источники при разработке антимикробных лекарственных средств для местного лечения гнойных ран // Вестник Витебского государственного медицинского университета. 2010. Т. 9. № 1. С. 1–10.
17. Ashokkumar K., Simal-Gandara J., Murugan M., Dhanya MK., Pandian A. Nutmeg (*Myristica fragrans* Houtt.) essential oil: A review on its composition, biological, and pharmacological activities. *Phytother. Res. Journal.* 2022, Is. 36, pp. 2839–2851. DOI: 10.1002/ptr.7491
18. Солдатченко С.С., Кащенко Г.Ф., Головкин В.А., Гладышев В.В. Полная книга по ароматерапии. Профилактика и лечение заболеваний эфирными маслами. Симферополь: Таврида, 2011, 640 с.
19. Буренина И.А. Основные методологические принципы применения ароматерапии в восстановительном лечении // Вестник современной клинической медицины. 2009. Т. 2. № 2. С. 47–50.
20. Brennan S.E., McDonald S., Murano M., McKenzie J.E. Effectiveness of aromatherapy for prevention or treatment of disease, medical or preclinical conditions, and injury: protocol for a systematic review and meta-analysis. *Syst. Rev.* 2022, V. 11, Is. 1, article 148. DOI: 10.1186/s13643-022-02015-1
21. Ball E.L., Owen-Booth B., Gray A., Shenkin S.D., Hewitt J., McCleery J. Aromatherapy for dementia. *Cochrane Database Syst. Rev.* 2020, V. 8, Is. 8, article CD003150. DOI: 10.1002/14651858.CD003150.pub3
22. Dobetsberger C., Buchbauer G. Actions of essential oils on the central nervous system: An updated review. *Flavour Fragr. J.*, 2011, V. 26, Is. 5, pp. 300–316. DOI: 10.1002/ffj.2045
23. Шкуртний, В.А., Одинцова О.А., Казаринова Н.В., Ткаченко К.Г. Результаты использования эфирного масла мяты перечной в комплексном лечении лиц с инфильтративным туберкулезом легких // Туберкулез и болезни легких. 2006. № 9. С. 43–45.
24. Zhang M., Viennois E., Prasad M., Zhang Y., Wang L., Zhang Z. et al. Edible ginger-derived nanoparticles: A novel therapeutic approach for the prevention and treatment of inflammatory bowel disease and colitis-associated cancer. *Biomaterials.* 2016, V. 101, pp. 321–340. DOI: 10.1016/j.biomaterials.2016.06.018
25. Червинская А.В., Иванова И.И., Портнов В.В., Ефимов М.А. Применение ароматерапии в реабилитационной медицине // Физиотерапевт. 2024. № 1. DOI: 10.33920/med-14-2401-05
26. Эллисон И. Ароматерапия для матери и ребенка. СПб.: Питер, 2007. 174 с.
27. Тонковцева В.В., Цубанова Н.А. Обзор направлений современных исследований в изучении психофизиологического воздействия эфирных масел // Международный научно-исследовательский журнал. 2018. Т. 67. № 1. С. 106–115. DOI: 10.23670/IRJ.2018.67.069
28. Ярош А.М., Тонковцева В.В., Марчук Н.Ю., Павлова Е.А., Косолапов А.Н., Борода Т.В. и др. Сравнительная характеристика влияния эфирных масел разных растений на психоэмоциональное состояние человека // Сборник научных трудов Государственного Никитского ботанического сада. 2015. Т. 141. С. 5–47.
29. Ярош А.М., Тонковцева В.В., Бекмамбетов Т.Р., Коваль Е.С. Влияние дыхания эфирными маслами лаванды узколистной, бессмертника итальянского и шалфея мускатного в низкой концентрации на психоэмоциональное состояние и умственную работоспособность пожилых людей // Сборник научных трудов Государственного Никитского ботанического сада. 2015. Т. 141. С. 48–149.
30. Дидур М.Д., Кончугова Т.В., Распутин Н.В., Божченко А.А. и др. Диагностика причин и выбор ароматерапии при комплексном лечении миофасциальных болевых синдромов, вызванных психоэмоциональными нарушениями // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. 2025. Т. 102. № 4. С. 20–27. DOI: 10.17116/kurort202510204120
31. Sharmeen J.B., Mahomoodally F.M., Zengin G., Maggi F. Essential oils as natural sources of fragrance compounds for cosmetics and cosmeceuticals. *Molecules.* 2021, V. 26, Is. 3, article 666. DOI: 10.3390/molecules26030666

32. *Войткевич С.А.* Парфюмерия и ее секреты. М.: Пищевая промышленность. 2003, 72 с.
33. *Паптецкий В.С., Тимашева Л.А., Пехова О.А., Данилова И.Л., Серебрякова О.А.* Эфирные масла и их качество. Симферополь: Ариал, 2021. 212 с.
34. *Жданова П.А., Демина Л.Н., Меньшикова В.К.* Получение эфирного масла из биомассы // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2020. № 2. С. 44–50. DOI: 10.24411/2311-6447-2020-10041
35. *Moradi-Sadr J., Ebadi M.T., Ayyari M.* Steps to achieve carvone-rich spearmint (*Mentha spicata* L.) essential oil: a case study on the use of different distillation methods. *Front Plant Sci.*, 2023, V. 14, article 1292224. DOI: 10.3389/fpls.2023.1292224
36. *Sarifi-Rad M., Varoni E.M., Salehi B., Sharifi-Rad J., Matthews K.R., Ayatollahi S.A. et al.* Plants of the genus zingiber as a source of bioactive phytochemicals: From tradition to pharmacy. *Molecules*. 2017, V. 22, Is. 12, article 2145. DOI: 10.3390/molecules22122145
37. *Khemariya P., Agrawal A., Kumar K., Tiwari A.K.* Quantitative analysis of eugenol in different parts of clove. *Nat. Ayurvedic Med.*, 2022, V. 6, Is 3, article 359. DOI: 10.18488/57.v1i1.3116
38. *Аксенова Ю.Б., Лапко И.В., Кузнецова О.В., Василевский С.В.* и др. Сравнительный анализ качественного и количественного состава коры коричника (*Cinnamomum*) разных видов // Химия растительного сырья. 2018. № 3. С. 159–167. DOI: 10.14258/jcrpm.2018033805
39. *Рандалова Т.Э., Ранаева Л.Д., Лецева Ю.Н., Шевелева Е.С., Преловская С.З.* Хамазулен и его содержание в зависимости от генетических и внешних условий произрастания в растениях рода полынь // Вестник Бурятского государственного университета. Медицина и фармация. 2025. № 1. С. 45–56. DOI: 10.1810/2306-1995-1-45-56
40. *Темердашев З.А., Назарова Д.В., Виницкая А.А., Киселева Н.В., Нагалецкий М.В.* Эфирномасличные компоненты экстрактов растений рода *Mentha*, произрастающих в различных районах юга России // Химия растительного сырья. 2025. № 1. С. 146–156. DOI: 10.14258/jcrpm.20250115376
41. *Стасьева О.Н., Латин Н.Н., Касьянов Г.И.* СО₂-экстракты компании Караван – новый класс натуральных пищевых добавок. Краснодар: Изд-во Кубанского гос. технол. ун-та, 2011. 324 с.
42. *Касьянов Г.И., Магомедов А.М., Медведев А.М., Фомин С.В., Ахмад Т.М.* Возможности получения и применения СО₂-экстрактов из сельскохозяйственного сырья // Наука. Техника. Технологии (Политехнический вестник). 2020. № 4. С. 418–428.
43. *Кошевой Е.П., Блягоз Х.Р., Суюхов Х.Р., Схалыхов А.А., Чундышко В.Ю.* Оценка развития научного направления «Экстракция двуокисью углерода» // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 1999. № 1. С. 8–11.
44. *Алаев Б.С.* Добывание душистых веществ из растений (экстракция и сорбция). М.: Госиздат. 1933. 77 с.
45. *Касьянов Г.И., Коробицын В.С.* Извлечение ценных компонентов из растительного сырья методами до- и сверхкритической СО₂-экстракции. Краснодар: Изд-во Дом-Юг, 2010. 132 с.
46. *Касьянов Г.И., Мишкевич Э.Ю.* Особенности экстракции ценных компонентов из эфиромасличного сырья сжиженным и сжатым диоксидом углерода // Научные труды КубГТУ. 2019. № 1. С. 367–377.
47. *Старокадомский Д., Титенко А., Камарали А., Куц В., Малоштан С.* и др. Обзор научных работ по технологиям экстрагирования биокомпонентов из растительного сырья. Сверхкритическая СО₂-экстракция – эффективный новый метод решения глобальной проблемы утилизации и качества растительного и органического сырья // Globus: технические науки. Промышленные биотехнологии. 2021. Т. 7. № 3. С. 9–24. DOI: 10.52013/2713-3079-39-3-2
48. *Сизова Н.В., Попова И.Ю.* Содержание антиоксидантов в экстрактах растительного сырья, полученных сверхкритической экстракцией // Химико-фармацевтический журнал. 2006. Т. 40. № 4. С. 29–33.
49. *Гумеров Ф.М., Ярулин Л.Ю., Сагдеев А.А., Габитов Ф.Р.* и др. Суб- и сверхкритические флюидные среды в пищевой, парфюмерной и фармацевтической отраслях промышленности // Вестник Казанского технологического университета. 2017. Т. 20. № 8. С. 30–35.
50. *Machmudah S., Sulaswatty A., Sasaki M., Goto M., Hirose T.* Supercritical CO₂ extraction of nutmeg oil: Experiments and modeling. *Journal of Supercritical Fluids*. 2006, V. 39, Is. 1, pp. 30–39. DOI 10.1016/J.SUPFLU.2006.01.007
51. *Пехов А.В.* Способ получения СО₂-экстрактов: пат. 2041254С1, Российская Федерация. 1995. 5 с.
52. *Латин Н.Н., Банашек В.М., Стасьева О.Н., Дорогокупля Л.А., Рахматуллина Ю.Р.* Роль СО₂-экстрактов в питании детей // Технологии и продукты здорового питания. Функциональные пищевые продукты. М.: МГУПП, 2008. Ч. 2. С. 96–100.
53. *Шубина Л.Н., Белоусова С.В., Панина О.Р.* Техника и технология получения СО₂-экстрактов для общественного питания // Научные труды КубГТУ. 2017. № 5. С. 116–124.
54. *Цурупа М.А., Боровская Л.В.* Методы получения СО₂-экстрактов фитосырья и их применение в рыбной и мясной продукции // The Scientific Heritage. 2021. № 81. С. 41–43.
55. *Зилфикаров И.Н.* Новые подходы в разработке и стандартизации фитопрепаратов из эфирномасличного сырья: дис ... д-ра фарм. наук. Пятигорск, 2008. 291 с.

56. Тигунцева Н.П., Евстафьев С.Н. Сравнительное исследование состава эфирного масла, гексанового и сверхкритического CO₂-экстрактов из корней одуванчика лекарственного // Химия растительного сырья. 2013. № 3. С. 129–136.
57. Singh A., Ahmad A., Bushraa R. Supercritical carbon dioxide extraction of essential oils from leaves of *Eucalyptus globulus* L., their analysis and application. *Anal. Methods*. 2016, V. 6, Is. 8, pp. 1339–1350. DOI: 10.1039/C5AY02009C
58. Зилфикаров И.Н., Алиев А.М. Сравнительное фитохимическое исследование эфирного масла и сверхкритического флюидного CO₂-экстракта из листьев эвкалипта прутовидного // Сверхкритические флюиды: теория и практика. 2008. Т. 3. № 2. С. 43–51.
59. Морозов Ю.А., Пупыкина К.А., Благоразумная Н.В., Алиев А.М., Е.В. Морозова Е.В. Сравнительный анализ углекислотных экстрактов из растительного сырья лимонника китайского: листьев, деревянистых стеблей, корневищ с корнями // Медицинский вестник Башкортостана. 2018. Т. 13. № 6. С. 46–51.
60. Темердашев З.А., Милевская В.В., Рябоконь Л.П., Латин Н.Н., Киселева Н.В., Нагалецкий М.В. Идентификация и определение компонентов эфирных масел шалфея лекарственного (*Salvia officinalis* L.), выделенных различными экстракционными способами // Журнал аналитической химии. 2020. Т. 75. № 11. С. 1030–1039. DOI: 10.31857/S0044450220110134
61. Назарова Д.В., Темердашев З.А., Виноцкая Е.А., Киселева Н.В., Нагалецкий М.В. Сравнительный анализ химического состава экстрактов из образцов растений рода *Mentha* L. после гидродистилляции и субкритической экстракции методом газовой хромато-масс-спектрологии // Журнал аналитической химии. 2023. Т. 78. № 9. С. 837–847. DOI: 10.31857/S0044450223090098
62. Быков И.И., Компанцев Д.В., Привалов И.М. Экстрагирование биологически активных веществ из *Zingiber officinale* Roscoe в технологии фитопрепаратов (обзор) // Вестник Смоленской государственной медицинской академии. 2017. Т. 16. № 2. С. 170–179.
63. Mesomo M.S., Corazza M.L., Ndiaye P.M., Dalla Santa O.R., Cardozo L., Shir A.P. Supercritical CO₂ extracts and essential oil of ginger (*Zingiber officinale* R.): Chemical composition and antibacterial activity. *J. Supercrit. Fluidsm*. 2013, V. 80, pp. 44–49. DOI: 10.1016/J.SUPFLU.2013.03.031
64. Syukri D., Tarumiyo A.T., Kusuma L.M., Yorinda N.S. et al. Characterization of nutmeg (*Myristica fragrans*). *BIO Web of Conferences*. 2025, V. 186, article 03001. DOI: 10.1051/bioconf/202518603001
65. Shalabi E.A., Shanab S.M.M., Hafez R.M., El-Ansary A. Chemical composition and biological activity of various ginger extracts (*Zingiber officinale*). *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*. 2023, V. 10, Is. 1. DOI: 10.1186/s40538-023-00385-9
66. Бекбулатова Е.В. Химический состав мяты перечной (*Mentha piperita* L.) и оптимизация параметров экстракции биологически активных веществ // Universum: химия и биология. 2025. № 11.
67. Сидоров И.И., Турьшева Н.А. Технология натуральных эфирных масел и синтетических душистых веществ. М.: Легкая и пищевая промышленность. 1984, 368 с.
68. Ильина И.И., Максимчук Н.В., Семиколонов В.А. Каталитический синтез душистых веществ из растительных монотерпенов // Российский химический журнал. 2004. Т. XLVIII. № 3. С. 38–53.
69. Флейшер В.Л., Андрихова М.В. Препаративный синтез душистых веществ на основе ванилина и вератрового альдегида // Труды БГТУ. Химия, технология органических веществ и биотехнология. 2012. № 4. С. 29–32.
70. Максимчук Н.В. Разработка экологически чистых способов получения душистых веществ на основе α-пинена: автореф. ... канд. хим. наук. Новосибирск, 2006. 20 с.
71. Войткевич С.А. Синтез новых душистых веществ // Масложировая промышленность. 1979. № 3.
72. Лапко И.В., Аксенова Ю.Б., Кузнецова О.В., Василевский С.В., Аксенов А.В. и др. Эфирные масла: методы определения подлинности и выявления фальсификации. Обзор // Аналитика и контроль. 2019. Т. 23. № 4. С. 444–475. DOI: 10.15826/analitika.2019.23.4.010
73. Capetti F., Marengo A., Cagliero C., Liberto E., Bicchi C. et al. Adulteration of essential oils: A multitask issue for quality control. Three case studies: *Lavandula angustifolia* Mill., *Citrus limon* (L.) Osbeck and *Melaleuca alternifolia* (Maiden & Betche) Cheel. *Molecules*. 2021, V. 26, Is 18, article 5610. DOI: 10.3390/molecules26185610
74. Атаева А.К., Атажанова Г.А., Бадекова К., Ивасенко С.А. и др. Оценка качества эфирных масел с помощью анализа ГХ-МС // Медицина и экология. 2020. № 1. С. 64–76.
75. Truzzi E., Durante C., Bertelli D., Catellani B., Pellacani S., Benvenuti S. Rapid classification and recognition method of the species and chemotypes of essential oils by ATR-FTIR spectroscopy coupled with chemometrics. *Molecules*. 2022, V. 27, Is. 17, article 5618. DOI: 10.3390/molecules27175618
76. Haro-González J.N., Castillo-Herrera G.A., Martínez-Velázquez M., Espinosa-Andrews H. Clove essential oil (*Syzygium aromaticum* l. myrtaceae): extraction, chemical composition, food applications, and essential bioactivity for human health. *Molecules*. 2021, Is. 26, article 6387. DOI: 10.3390/molecules26216387
77. Преч Э., Бюльманн Ф., Аффольтер К. Определение строения органических соединений. Таблицы спектральных данных / Пер. с англ. Б.Н. Тарасевича. М.: Мир : Бинум. Лаборатория знаний, 2006. 440 с.
78. Тарасевич Б.Н. ИК спектры основных классов органических соединений. Справочные материалы. М.: Изд-во МГУ, 2012. 54 с.

79. Fadl F., Abdalla S., Ishaq A., Umar Y. DFT study of the molecular structure, conformational preference, spectroscopic and vibrational analysis of cinnamic acid and cinnamaldehyde. *J. Mex. Chem. Soc.* 2023, V. 66, Is. 4, article 1757. DOI: 10.29356/jmcs.v66i4.1757
80. Bai M., Jin X., Cen Z., Yu K., Yu H., Xiao R. et al. GC-MS and FTIR spectroscopy for the identification and assessment of essential oil components of five cinnamon leaves. *Brazilian Journal of Botany.* 2021, V. 44, Is. 3, pp. 525–535. DOI: 10.1007/s40415-021-00751-7
81. Boughendjioua H., Amoura N., Boughendjioua Z. Purity specifications of constituents of cinnamon essential oil by Fourier transformed infrared spectroscopy analysis. *Indian Journal of Pharmaceutical and Biological Research.* 2017, V. 5, Is. 2, pp. 36–40. DOI: 10.30750/ijpbr.5.2.7
82. Adinew B. GC-MS and FT-IR analysis of constituents of essential oil from Cinnamon bark growing in South-west of Ethiopia. *International Journal of Herbal Medicine,* 2014, V. 6, Is 1, pp. 22–31. ISSN 2321-2187.
83. de Freitas C.A.B., Costa C.H.S., da Costa K.S., da Paz S.P.A. et al. Assessment of host–guest molecular encapsulation of eugenol using β -cyclodextrin. *Front. Chem.* 2023, V. 10, article 1061624. DOI: 10.3389/fchem.2022.1061624
84. Yadav R.K., Yadav B., Yadav R.A., Kostova I. Experimental IR, Raman, and UV-Vis spectra DFT structural and conformational studies: Bioactivity and solvent effect on molecular properties of methyl-eugenol. *Molecules.* 2023, V. 28, Is. 14, article 5409. DOI: 10.3390/molecules28145409
85. Pramod K., Suneesh Ch.V., Shanavas S., Ansari Sh.H., Ali J. Unveiling the compatibility of eugenol with formulation excipients by systematic drug–excipient compatibility studies. *Journal of Analytical Science and Technology.* 2015, V. 6, article 34. DOI: 10.1186/s40543-015-0073-2
86. Газетдинов Р.Р., Абдулгафарова Г.Х. Перегонка с водяным паром – доступный метод выделения природных соединений из растительного сырья // *Cifra. Биологические науки.* 2024. № 1. С. 1–4. DOI: 10.18454/ВЮ.2024.1.1
87. Al-Bayati F.A. Isolation and identification of antimicrobial compound from *Mentha longifolia* L. leaves grown wild in Iraq. *Ann. Clin. Microbiol. Antimicrob.* 2009, V. 8, article 20. DOI: 10.1186/1476-0711-8-20
88. Матчанов А.Д., Емтибаева Л.А., Абдурахманова У.К. Изучение физико-химических свойств супрамолекулярных комплексов глициризиновой кислоты с ментолом // *Universum: химия и биология.* 2020. № 5. С. 35–41. DOI: 10.32743/UniChem.2020.71.5
89. Абдулов Х.Ш., Шукуров Т. Расчет ИК-спектра поглощения ментола // *Доклады Академии наук Республики Таджикистан.* 2013. Т. 56. № 3. С. 113–118.
90. Флейшер В.Л. Исследование процесса жидкофазного окисления α -пинена кислородом воздуха // *Труды Белорусского государственного технологического университета. Серия 4. Химия и технология органических веществ.* 2009. Т. 1. № 4. С. 35–38.
91. Сосновская А.А., Флейшер В.Л. Идентификация кристаллического продукта жидкофазного окисления α -пинена кислородом воздуха в присутствии стеарата кобальта (II) // *Изв. вузов. Лесн. журн.* 2021. № 4. С. 173–180. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-4-173-180
92. de Barros A.L.F., Ricca A., da Silveira E.F. Infrared spectroscopy of α -pinene ices irradiated by energetic ions at temperatures relevant to astronomical environments. *Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc.* 2025, V. 329, article 125504. DOI: 10.1016/j.saa.2024.125504
93. Kalhor M.T., Zhang H., Kalhor G.M., Wang F., Chen T. et al. Fungicidal properties of ginger (*Zingiber officinale*) essential oils against *Phytophthora colocasiae*. *Scientific Reports.* 2022, V. 12, article 2191. DOI: 10.1038/s41598-022-06321-5
94. Abdullah H. T., Faisal S., Rizwan M., Almostafa M.M., Younis N.S., Yahya G. Zingiber officinale rhizome extracts mediated ni nanoparticles and its promising biomedical and environmental applications. *BMC Complement Med Ther.* 2023, V. 23, Is. 1, article 349. DOI: 10.1186/s12906-023-04182-7
95. Иоффе Б.В. Рефрактометрические методы химии. Ленинград: Химия, 1983. 352 с
96. Шунина Е.Н. Методические указания к лабораторной работе. Казань: КНИТУ. 2021, 18 с.
97. Мусаев А.А., Алиев А.М., Вагабова Ф.А., Раджабов Г.К. и др. Экспериментальное изучение изменчивости компонентного состава эфирных масел // *Вестник Дагестанского научного центра РАН.* 2014. № 53. С. 39–52.
98. Кравченко А.А. Продукты окислительных превращений природных терпеноидов: получение и применение в направленном синтезе: дис ... канд. хим. наук. Уфа. 2020, 148 с.

References

1. Sellar V. Encyclopedia of essential oils. Moscow, Fair Press Publ. 2005, 400 с. (*In Russian*)
2. Tumanova E. Y. Encyclopedia of essential oils. Moscow, Ripoll Classic Publ. 2014, 256 с. (*In Russian*)
3. Libus O.K., Rabotyagov V.D., Kutko S.P., Khlypenko L.A. Essential and spicy-aromatic plants. Phyto-, aroma- and aromatherapy. Kherson, Ailant Publ., 2004. 272 p. (*In Russian*)
4. Tkachenko K.G. Essential oil plants and essential oils: achievements and prospects, current trends in research and application. *Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences.* 2011, no. 1, pp. 88–100. (*In Russian*)
5. Bahadur S., Fatima S. Essential Oils of Some Potential Medicinal Plants and their Wound Healing Activities. *Curr. Pharm. Biotechnol.* 2024, V. 25, Is. 14, pp. 1818–1834. DOI: 10.2174/0113892010282605231218064053

6. Soldatchenko S.S., Nikolaevsky V.V., Kirolenko E.S., Gladun M.I., Kashchenko G.F., Nebrat S.N., Dykhnova T.V. Essential oils. The most ancient remedy. Simferopol, Crimean Republican Research Institute n.a. Sechenova I.M. Publ., 1995, 160 p. (In Russian)
7. Pashtetsky V.S., Nevkrytaya N.V. The use of essential oils in medicine. Aromatherapy, veterinary medicine and plant growing (Review). *Tavrichesky Bulletin of Agrarian Science*. 2018, V. 13, no. 1, pp. 16–38. (In Russian)
8. Shamakhova T.A. Therapeutic application of essential oils in medicine: bibliographic index. Simferopol, Krymchpedgiz Publ., 2012, 44 p. (In Russian)
9. Pisseri F., Bertoli A., Pistelli L. Essential oils in medicine: principles of therapy. *Parassitologia*. 2008, V. 50, Is. 1-2, pp. 89–91.
10. Adorjan D., Buchbauer G. Biological properties of essential oils: an updated review. *Flavour Fragr. J.* 2010, V. 25, Is. 6, pp. 407–426. DOI 10.1002/ffj.2024
11. Bakkali F., Averbeck S., Averbeck D., Idaomar M. Biological effects of essential oils. A review. *Food and Chemical Toxicology*. 2008, V. 46, Is. 2, pp. 446–475. DOI: 10.1016/j.fct.2007.09.106
12. Raikova S.V., Kolikov A.G., Shub G.M., Durnova N.A., Shapoval O.G., and Rakhmetova A.Yu. Antimicrobial Activity of Peppermint Essential Oil (*Mentha piperita* L.). *Saratov Scientific and Medical Journal*. 2011, V. 7, no. 4, pp. 787–790. (In Russian)
13. Zhuchenko E.V., Semenova E.F., Markelova N.N., Shpichka A.I., Knyazkova A.A. Influence of essential oils on microorganisms belonging to different taxons in comparison with modern antibiotics. Report III. Effects of essential oils of lavender, rosewoodtree, eucalyptus, fir on some gram-negative bacteria. *University proceedings. Volga region. Natural sciences*. 2015, no. 1, pp. 30–41. (In Russian)
14. Khaldun A.O. Antibacterial effect of essential oils of some plants. *Journal of Microbiology, Epidemiology and Immunobiology*. 2006, no. 3, pp. 92–93. (In Russian)
15. Tyrkov A.G., Sukhenko L.T., Akmaev E.R. Antimicrobial activity of essential oils isolated from plants of the Astrakhan region. *Bulletin of the Altai State Agrarian University*. 2012, V. 88, No. 2, pp. 57–59. (In Russian)
16. Frolova A.V. Essential oils – promising sources in the development of antimicrobial drugs for local treatment of purulent wounds. *Bulletin of Vitebsk State Medical University*. 2010, V. 9, no. 1, pp. 1–10. (In Russian)
17. Ashokkumar K., Simal-Gandara J., Murugan M., Dhanya MK., Pandian A. Nutmeg (*Myristica fragrans* Houtt.) essential oil: A review on its composition, biological, and pharmacological activities. *Phytother. Res. Journal*. 2022, Is. 36, pp. 2839–2851. DOI: 10.1002/ptr.7491
18. Soldatchenko S.S., Kashchenko G.F., Golovkin V.A., Gladyshev V.V. The Complete Book on Aromatherapy. Prevention and treatment of diseases with essential oils. Simferopol, Tavrida Publ., 2011. 640 p. (In Russian)
19. Burenina I.A. Basic methodological principles of the application of aromatherapy in restorative treatment. *The Bulletin of Contemporary Clinical Medicine*. 2009, V. 2, Is. 2, pp. 47–50. (In Russian)
20. Brennan S.E., McDonald S., Murano M., McKenzie J.E. Effectiveness of aromatherapy for prevention or treatment of disease, medical or preclinical conditions, and injury: protocol for a systematic review and meta-analysis. *Syst. Rev.* 2022, V. 11, Is 1:148. DOI: 10.1186/s13643-022-02015-1
21. Ball E.L., Owen-Booth B., Gray A., Shenkin S.D., Hewitt J., McCleery J. Aromatherapy for dementia. *Cochrane Database Syst. Rev.* 2020, V. 8, Is. 8, article CD003150. DOI: 10.1002/14651858.CD003150.pub3
22. Dobetsberger C., Buchbauer G. Actions of essential oils on the central nervous system: An updated review. *Flavour Fragr. J.* 2011, V. 26, Is 5, pp. 300–316. DOI: 10.1002/ffj.2045
23. Shkurupiy, V.A., Odintsova, O.A., Kazarinova, N.V., and Tkachenko, K.G. The results of using peppermint essential oil in the complex treatment of individuals with infiltrative pulmonary tuberculosis. *Tuberculosis and Lung Diseases*. 2006, no. 9, pp. 43–45. (In Russian)
24. Zhang M., Viennois E., Prasad M., Zhang Y., Wang L., Zhang Z. et al. Edible ginger-derived nanoparticles: A novel therapeutic approach for the prevention and treatment of inflammatory bowel disease and colitis-associated cancer. *Biomaterials*. 2016, Is. 101, pp. 321–340. DOI: 10.1016/j.biomaterials.2016.06.018
25. Chervinskaya A.V., Ivanova I.I., Portnov V.V., Elfimov M.A. The use of aromatherapy in rehabilitation medicine. *Physiotherapist*. 2024, no. 1. DOI: 10.33920/med-14-2401-05. (In Russian)
26. Allison I. *Aromatherapy for mother and child*. St. Petersburg, Peter Publ., 2007, 174 p. (In Russian)
27. Tonkovtseva V.V., Tsubanova N.A. Overview of current research directions in the study of the psychophysiological effects of essential oils. *International Research Journal*. 2018, V. 67, no. 1, pp. 106–115. (In Russian)
28. Yarosh A.M., Tonkovtseva V.V., Marchuk N.Yu., Pavlova E.A., Kosolapov A.N., Boroda T.V., Serobaba L.A., et al. Essential oils of different plants and comparative description of their effect on human psychoemotional state. *Collection of Scientific Papers of the GNBS*. 2015, V. 141, pp. 5–47. (In Russian)
29. Yarosh A.M., Tonkovtseva V.V., Bekmambetov T.R., Koval E.S. The effect of breathing essential oils of lavender narrow-leaved, immortelle Italian, and sage mastic in low concentrations on the psychoemotional state and mental performance of the elderly. *Collection of Scientific Papers of the GNBS*. 2015, V. 141, pp. 48–149. (In Russian)
30. Didur M.D., Konchugova T.V., Rasputin N.V., Bozhchenko A.A. al. Diagnosis of causes and choice of aromatherapy in the complex treatment of myofascial pain syndromes caused by psychoemotional disorders. *Problems*

- of Balneology, Physiotherapy and Exercise Therapy*. 2025, V. 102, no 4, pp. 20–27. DOI: 10.17116/kurort202510204120. (In Russian)
31. Sharmeen J.B., Mahomoodally F.M., Zengin G., Maggi F. Essential oils as natural sources of fragrance compounds for cosmetics and cosmeceuticals. *Molecules*. 2021, V. 26, Is. 3, article 666. DOI: 10.3390/molecules26030666
 32. Voitkevich S.A. *Perfume and Its Secrets*. Moscow, Food Industry Publ. 2003, 72 p. (In Russian)
 33. Pashtetsky V.S., Timasheva L.A., Pekhova O.A., Danilova I.L., Serebryakova O.A. Essential oils and their quality. Simferopol, Arial Publ. 2021, 212 p. (In Russian)
 34. Zhdanova P.A., Demina L.N., Menshikova V.K. Extraction of essential oil from biomass. *Technologies of the food and processing industry of the agro-industrial complex – healthy food products*. 2020, no. 2, pp. 44–50. DOI: 10.24411/2311-6447-2020-10041. (In Russian)
 35. Moradi-Sadr J., Ebadi M.T., Ayyari M. Steps to achieve carvone-rich spearmint (L.) essential oil: a case study on the use of different distillation methods. *Front Plant Sci*. 2023, V. 14, article 1292224. DOI: 10.3389/fpls.2023.1292224
 36. Sarifi-Rad M., Varoni E.M., Salehi B., Sharifi-Rad J., Matthews K.R., Ayatollahi S.A. et al. Plants of the Genus Zingiber as a source of bioactive phytochemicals: From tradition to pharmacy. *Molecules*. 2017, V. 22, Is. 12, article 2145. DOI: 10.3390/molecules22122145
 37. Khemariya P., Quantitative analysis of eugenol in different parts of clove. *Nat. Ayurvedic Med*. 2022, V. 6, Is. 3, article 359. DOI: 10.18488/57.v11i1.3116.
 38. Aksenova Yu.B., Lapko I.V., Kuznetsova O.V., Vasilevsky S.V. et al. Comparative analysis of qualitative and quantitative composition of different kinds of cinnamon bark (Cinnamomum). *Chemistry of Plant Raw Materials*. 2018, no. 3, pp. 159–167. DOI: 10.14258/jcprm.2018033805. (In Russian)
 39. Randalova T.E., Ranaeva L.D., Leshcheva Yu.N., Sheveleva E.S., Prelovskaya S.Z. Chamazulene and its content in *Artemisia l*. Plants depending on genetic and external growing conditions. *BSU bulletin. Medicine and Pharmacy*. 2025, no. 1, pp. 45–56. DOI: 10.1810/2306-1995-1-45-56. (In Russian)
 40. Temerdashev A., Nazarova D.V., Vinitzkaya A.A., Kiseleva N.V., Nagalevsky M.V. Essential oil components of plant extracts of the genus *Mentha*, native to various regions of southern Russia. *Chemistry of Plant Raw Materials*. 2025, no. 1, pp. 146–156. DOI: 10.14258/jcprm.29250115376. (In Russian)
 41. Stasyeva O.N., Latin N.N., Kasyanov G.I. *CO₂-extracts of the Karavan Company – a new class of natural food additives*. Krasnodar, Kuban State Technological University Publ., 2011, 324 p. (In Russian)
 42. Kasyanov G.I., Magomedov A.M., Medvedev A.M., Fomin S.V., Taufik Mohammad A.T. Possibilities of obtaining and applying CO₂-extracts from agricultural raw materials. *Science. Engineering. Technology (Polytechnical Bulletin)*. 2020, no. 4, pp. 418–428. (In Russian)
 43. Koshevoi E.P., Blyagoz Kh.R., Siyukhov Kh.R., Skhalyakhov A.A., Chundyshko V.Yu. Assessment of the development of the scientific direction "Extraction by carbon dioxide". *Izvestiya vuzov. Food Technology*. 1999, no. 1, pp. 8–11. (In Russian)
 44. Alaev B.S. *Extraction of fragrant substances from plants (extraction and sorption)*. Moscow, Gosizdat Publ., 1933. 77 p. (In Russian)
 45. Kasyanov G.I., Korobitsyn V.S. *Extraction of valuable components from plant raw materials by methods of pre- and supercritical CO₂-extraction*. Krasnodar, Publ. House Dom-Yug, 2010. 132 p. (In Russian)
 46. Kasyanov G.I., Mishkevich E.Yu. Features of extraction of valuable components from essential oil raw materials by liquefied and compressed carbon dioxide. *Scientific Works of KubSTU*. 2019, no. 1, pp. 367–377. (In Russian)
 47. Starokadomsky D., Titenko A., Kamarali A., Kuts V., Maloshtan S. et al. Review of scientific works on technologies for extraction of biocomponents from vegetable raw materials. Supercritical CO₂ extraction is an effective new method for solving the global problem of utilization and quality of plant and organic raw materials. *Globus: Technical Sciences*. 2021, V. 7, no. 3, pp. 9–24. DOI: 10.52013/2713-3079-39-3-2. (In Russian)
 48. Sizova N.V., Popova I.Yu. Content of antioxidants in extracts of plant raw materials obtained by supercritical extraction. *Chemical and Pharmaceutical Journal*. 2006, V. 40, no. 4, pp. 29–33. (In Russian)
 49. Gumerov F.M., Yarulin L.Yu., Sagdeev A.A., Gabitov F.R., et al. Sub- and supercritical fluid media in the food, perfume, and pharmaceutical industries. *Herald of Technological University*. 2017, V. 20, no. 8, pp. 30–35. (In Russian)
 50. Machmudah S., Sulawatty A., Sasaki M., Goto M., Hirose T. Supercritical CO₂ Extraction of nutmeg oil: Experiments and modeling. *Journal of Supercritical Fluids*. 2006, V. 39, Is. 1, pp. 30–39. DOI: 10.1016/J.SUPFLU.2006.01.007
 51. Pekhov A.V. *Method of preparing CO₂-extracts*. *Patent RF*, no. 2041254C1. 1995. (In Russian)
 52. Latin N. N., Banashek V. M., Staseva O. N., Dorogokuplya L. A., Rakhmatullina Yu. R. The role of CO₂-extracts in children's nutrition. In: *Technologies and Products of Healthy Nutrition. Functional Food Products*. Moscow, Moscow State University of Food Production Publ., 2008. Part II, pp. 96–100. (In Russian)
 53. Shubina L.N., Belousova S.V., Panina O.R. Technique and technology of obtaining CO₂-extracts for public catering. *Scientific works of KubSTU*. 2017, no. 5, pp. 116–124. (In Russian)
 54. Tsurupa M.A., Borovskaya L.V. Methods of obtaining CO₂ extracts of phytomaterials and their use in fish and meat products. *The Scientific Heritage*. 2021, no. 81, pp. 41–43.

55. Zilfikarov I.N. New approaches in the development and standardization of phytopreparations from essential oil raw materials. Doctor's thesis. Pyatigorsk, 2008, 291 p. (In Russian)
56. Tiguntseva N.P., Evstafiev S.N. Comparative study of the composition of essential oil, hexane and supercritical CO₂ extracts from the roots of dandelion officinalis. *Chemistry of Raw Materials*. 2013, no. 3, pp. 129–136. (In Russian)
57. Singh A., Ahmad A., Bushraa R. Supercritical carbon dioxide extraction of essential oils from leaves of *Eucalyptus globulus* L., their analysis and application. *Anal Methods*. 2016, V. 6, Is. 8, pp. 1339–1350. DOI: 10.1039/C5AY02009C
58. Zilfikarov I.N., Aliyev A.M. Comparative phytochemical study of essential oil and supercritical fluid CO₂-extract from the leaves of *Eucalyptus viminalis*. *Supercritical Fluids: Theory and Practice*. 2008, V. 3, no. 2, pp. 43–51. (In Russian)
59. Morozov Yu.A., Pupykina K.A., Blagorazumnaya N.V., Aliev A.M., Morozova E.V. Comparative analysis of carbon dioxide extracts from plant material of schisandra chinensis: Leaves, woody stems, rhizomes with roots. *Bashkortostan Medical Journal*. 2018, V. 13, no. 6, pp. 46–51. (In Russian)
60. Temerdashev Z.A., Milevskaya V.V., Ryabokon L.P., Latin N.N., Kiseleva N.V., Nagalevsky M.V. Identification and determination of the components of garden sage (*Salvia officinalis* L.) essential oil, isolated by different extraction methods. *Journal of Analytical Chemistry*. 2020, V. 75, no. 11, pp. 1451–1460. DOI: 10.1134/S1061934820110131
61. Nazarova D.V., Temerdashev Z.A., Vinitzkaya E.A., Kiseleva N.V., Nagalevsky M.V. Comparative analysis of chemical composition of *Mentha* L. plant extracts by gas chromatography–mass spectrometry after hydrodistillation and subcritical extraction. *Journal of Analytical Chemistry*. 2023, V. 78, no. 9, pp. 837–847. DOI: 10.1134/s1061934823090095
62. Bykov I.I., Kompancev D.V., Privalov I.M. Extraction of biologically active substances from *Zingiber officinale* roscoe in herbal remedies technology (Review). *Vestnik Smolenskoj Gosudarstvennoj Medicinskoj Akademii*. 2017, V. 16, no. 2, pp. 170–179. (In Russian)
63. Mesomo M.S., Corazza M.L., Ndiaye P.M., Dalla Santa O.R., Cardozo L., Shir A.P. Supercritical CO₂ extracts and essential oil of ginger (*Zingiber officinale* R.): Chemical composition and antibacterial activity. *J Supercrit Fluidsm*. 2013, V. 80, pp. 44–49. DOI: 10.1016/J.SUPFLU.2013.03.031
64. Syukri D., Tarumiyo A.T., Kusuma L.M., Yorinda N.S. et al. Characterization of nutmeg (*Myristica fragrans*). *BIO Web of Conferences*. 2025, V. 186, article 03001. DOI: 10.1051/bioconf/202518603001
65. Shalabi E.A., Shanab S.M.M., Hafez R.M., El-Ansary A. Chemical composition and biological activity of various ginger extracts (*Zingiber officinale*). *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*. 2023. V. 10, Is. 1. DOI: 10.1186/s40538-023-00385-9
66. Bekbulatova E.V. Chemical composition of peppermint (*Mentha piperita* L.) and optimization of extraction parameters of biologically active substances. *Universum: Chemistry and Biology*. 2025, no. 11. (In Russian)
67. Sidorov I.I., Turyshcheva N.A. *Technology of natural essential oils and synthetic fragrances*. Moscow, Light and Food Industry Publ., 1984. 368 p. (In Russian)
68. Ilyina I.I., Maksimchuk N.V., Semikolenov V.A. Catalytic synthesis of fragrant substances from plant monoterpenes. *Russian Chemical Journal*. 2004, V. XLVIII, no. 3, pp. 38–53. (In Russian)
69. Fleischer V.L., Andryukhova M.V. Preparative synthesis of fragrant substances based on vanillin and veratraldehyde. *Proceedings of BSTU. Chemistry, Technology of Organic Substances and Biotechnology*. 2012, no. 4, pp. 29–32. (In Russian)
70. Maksimchuk N.V. Development of environmentally friendly methods for obtaining fragrant substances based on α -pinene. *Extended abstract of Candidate's thesis*. Novosibirsk, 2006. 20 p. (In Russian)
71. Voitkevich S.A. Synthesis of new fragrant substances. *Maslo zhirovaya promyshlennost'*. 1979. № 3. (In Russian)
72. Lapko I.V., Aksenova Yu.B., Kuznetsova O.V., Vasilevsky S.V., Aksenov A.V., et al. Essential oils: The review of the methods for determining the authenticity and detecting adulteration. *Analytics and Control*. 2019, V. 23, no. 4, pp. 444–475. DOI: 10.15826/analitika.2019.23.4.010 (In Russian)
73. Capetti F., Marengo A., Cagliero C., Liberto E., Bicchi C. et al. Adulteration of essential oils: A multitask issue for quality control. Three case studies: Mill., (L.) Osbeck and (Maiden & Betche) Cheel. *Molecules*. 2021, V. 26, Is. 18, article 5610. DOI: 10.3390/molecules26185610
74. Atayeva A.K., Atazhanova G.A., Badekova K., Ivasenko S.A., et al. Quality assessment of essential oils by gas chromatography-mass spectrometry. *Medicine and Ecology*. 2020, no. 1, pp. 64–76. (In Russian)
75. Truzzi E., Durante C., Bertelli D., Catellani B., Pellacani S., Benvenuti S. Rapid classification and recognition method of the species and chemotypes of essential oils by ATR-FTIR spectroscopy coupled with chemometrics. *Molecules*. 2022, V. 27, Is. 17, article 5618. DOI: 10.3390/molecules27175618
76. Haro-González J.N., Castillo-Herrera G.A., Martínez-Velázquez M., Espinosa-Andrews H. Clove essential oil (*Syzygium aromaticum* l. myrtaceae): extraction, chemical composition, food applications, and essential bioactivity for human health. *Molecules*. 2021, V. 26, Is. 21, article 6387. DOI: 10.3390/molecules26216387
77. Prech E., Bühlmann Ph., Affolter Ch. *Determination of the structure of organic compounds*. Tables of spectral data. Springer Berlin, Heidelberg, 2000. 421 p. DOI: 10.1007/978-3-662-04201-4
78. Tarasevich B.N. *IR Spectra of the main classes of organic compounds*. Reference materials. Moscow, Moscow State University Publ., 2012. 54 p. (In Russian)

79. Fadl F., Abdalla S., Ishaq A., Umar Y. DFT Study of the Molecular Structure, Conformational Preference, Spectroscopic and Vibrational Analysis of Cinnamic Acid and Cinnamaldehyde. *J. Mex. Chem. Soc.* 2023, V. 66, no 4:1757. DOI: 10.29356/jmcs.v66i4.1757
80. Bai M., Jin X., Cen Z., Yu K., Yu H., Xiao R. et al. GC-MS and FTIR spectroscopy for the identification and assessment of essential oil components of five cinnamon leaves. *Brazilian Journal of Botany.* 2021, V. 44, Is. 3, pp. 525–535. DOI: 10.1007/s40415-021-00751-7
81. Boughendjioua H., Amoura N., Boughendjioua Z. Purity specifications of constituents of Cinnamon essential oil by Fourier transformed infrared spectroscopy analysis. *Indian Journal of Pharmaceutical and Biological Research.* 2017, V. 5, Is. 2, pp. 36–40. DOI: 10.30750/ijpbr.5.2.7
82. Adinew B. GC-MS and FT-IR analysis of constituents of essential oil from Cinnamon bark growing in South-west of Ethiopia. *International Journal of Herbal Medicine.* 2014, V. 1, Is. 6, pp. 22–31.
83. de Freitas C.A.B., Costa C.H.S., da Costa K.S., da Paz S.P.A. et al. Assessment of host–guest molecular encapsulation of eugenol using β -cyclodextrin. *Front. Chem.* 2023, V. 10, article 1061624. DOI: 10.3389/fchem.2022.1061624
84. Yadav R.K., Yadav B., Yadav R.A., Kostova I. Experimental IR, Raman, and UV-Vis spectra DFT structural and conformational studies: Bioactivity and solvent effect on molecular properties of methyl-eugenol. *Molecules.* 2023, V. 28, Is. 14, article 5409. DOI: 10.3390/molecules28145409
85. Pramod K., Suneesh Ch.V., Shanavas S., Ansari Sh.H., Ali J. Unveiling the compatibility of eugenol with formulation excipients by systematic drug–excipient compatibility studies. *Journal of Analytical Science and Technology.* 2015, V. 6, article 34. DOI: 10.1186/s40543-015-0073-2
86. Gazetdinov R.R., Abdulgafarova G.Kh. Water vapour distillation – an affordable method for the extraction of natural compounds from plant material. *Cifra. Biological Sciences.* 2024, no. 1, pp. 1–4. DOI: 10.18454/BIO.2024.1.1. (In Russian)
87. Al-Bayati F.A. Isolation and identification of antimicrobial compound from *Mentha longifolia* L. leaves grown wild in Iraq. *Ann. Clin. Microbiol. Antimicrob.* 2009, V. 8, article 20. DOI: 10.1186/1476-0711-8-20
88. Matchanov A.D., Ettibaeva L.A., Abdurakhmanova U.K. Study of the physical and chemical properties of supramolecular complexes of glycyrrizin acid with menthol. *Universum: Chemistry and Biology.* 2020, Is. 5, pp. 35–41. DOI: 10.32743/UniChem.2020.71.5. (In Russian)
89. Abdulov Kh.Sh., Shukurov T. Calculation of the IR spectrum of absorption of menthol. *Reports of the National Academy of Sciences of Tajikistan.* 2013, V. 56, Is. 3, pp. 113–118. (In Russian)
90. Fleischer V.L. Research of the process of liquid-phase oxidation of α -pinene with air oxygen. *Trudy Belorusskogo Gosudarstvennogo Tekhnologicheskogo Universiteta. Seriya 4. Khimiya i Tekhnologiya Organicheskikh Veshchestv.* 2009, V. 1, no. 4, pp. 35–38. (In Russian)
91. Sosnovskaya A.A., Fleisher V.L. Identification of the crystalline product of liquid-phase oxidation of α -pinene with atmospheric oxygen in the presence of Cobalt (II) stearate. *Russian Forestry Journal.* 2021, no. 4, pp. 173–180. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-4-173-180. (In Russian)
92. de Barros A.L.F., Ricca A., da Silveira E.F. Infrared spectroscopy of α -pinene ices irradiated by energetic ions at temperatures relevant to astronomical environments. *Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc.* 2025, V. 329, article 125504. DOI: 10.1016/j.saa.2024.125504
93. Kalhor M.T., Zhang H., Kalhor G.M., Wang F., Chen T. et al. Fungicidal properties of ginger (*Zingiber officinale*) essential oils against *Phytophthora colocasiae*. *Scientific Reports.* 2022, V. 12, article 2191. DOI: 10.1038/s41598-022-06321-5
94. Abdullah H. T., Faisal S., Rizwan M., Almostafa M.M., Younis N.S., Yahya G. Zingiber officinale rhizome extracts mediated ni nanoparticles and its promising biomedical and environmental applications. *BMC Complement Med Ther.* 2023, V. 23, Is. 1, article 349. DOI: 10.1186/s12906-023-04182-7
95. Ioffe B.V. *Refractometric methods in chemistry.* Leningrad, Khimiya Publ., 1983. 352 p. (In Russian)
96. Shunina E.N. *Methodological guidelines for laboratory work.* Kazan, Kazan National Research Technological University Publ. 2021, 18 p. (In Russian)
97. Musaev A.A., Aliyev A.M., Vagabova F.A., Radzhabov G.K., et al. Experimental study of variability of composition of essential oils. *Herald of the Dagestan Scientific Center.* 2014, no. 53, pp. 39–52. (In Russian)
98. Kravchenko A.A. Products of oxidative transformations of natural terpenoids: Preparation and application in targeted synthesis. *Candidate thesis.* Ufa. 2020, 148 p. (In Russian).

Информация об авторах

Алла Павловна Нечипоренко – д-р хим. наук, профессор

Людмила Валерьевна Плотникова – биофизик

Ольга Сергеевна Везо – инженер

Ульяна Юрьевна Нечипоренко – биохимик

Information about the authors

Alla P. Nechiporenko, Dr. Sci. (Chem.), Professor

Lyudmila V. Plotnikova, Biophysicist

Olga S. Vezo, Engineer

Ulyana Yu. Nechiporenko, Biochemist

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflicts of interests

Статья поступила в редакцию 15.12.2025

Одобрена после рецензирования 20.01.2026

Принята к публикации 21.01.2026

The article was submitted 15.12.2025

Approved after reviewing 20.01.2026

Accepted for publication 21.01.2026