

Научная статья

УДК 665.53/543.424

DOI: 10.17586/2310-1164-2026-19-2-48-71

Комплексное исследование оптических свойств эфирных масел древесных хвойных пород методами Фурье ИК-спектроскопии и рефрактометрии

А.П. Нечипоренко^{1*}, Л.В. Плотникова², О.С. Везо², У.Ю. Нечипоренко³, В.Е. Ситникова¹¹Университет ИТМО, Россия, Санкт-Петербург, *allanech2512@yandex.ru²Санкт-Петербургский государственный университет, Россия, Санкт-Петербург³ООО «Аэромед», Россия, Санкт-Петербург

Аннотация. Двумя оптическими методами – Фурье ИК-спектроскопии и рефрактометрии исследовали эфирные масла деревьев хвойных пород – кедра, сосны, ели, кипариса, туи, можжевельника, пихты и некоторых вспомогательных веществ, являющихся мажорными в их компонентном составе. Сравнительный анализ эфирных масел кедров выявил аналогию в проявлении оптических свойств трех изоморфных форм – пинена кедра сибирского и химачулена атласского и гималайского кедров; оптических свойств туйона при значительной разнице содержания в эфирных маслах можжевельника и туи обыкновенных и α -пинена в экстрактах масел ели, пихты и кипариса. Показана разница в оптических свойствах циклического и ациклического терпеноидных спиртов и их возможное влияние на спектр эфирных масел хвойников. Отмечены потенциальные возможности методов ИК-спектроскопии и рефрактометрии как экспресс-контроля хвойных пород эфирных масел с целью их дифференцировки и оценки для повышения качества целенаправленного использования в различных сферах применения.

Ключевые слова: эфирные масла; хвойные породы; Фурье ИК-спектроскопия; рефрактометрия

Original article

Optical properties of essential oils of coniferous trees investigated by Fourier IR spectroscopy and refractometry

Alla P. Nechiporenko^{1*}, Lyudmila V. Plotnikova², Olga S. Vezo², Ulyana Yu. Nechiporenko³, Vera E. Sitnikova¹¹ITMO University, St. Petersburg, Russia, *allanech2512@yandex.ru²Saint Petersburg State University, St. Petersburg, Russia³Aeromed, St. Petersburg, Russia

Abstract. Two optical methods, Fourier IR spectroscopy and refractometry, were used to study the essential oils of coniferous trees, such as cedars, pines, spruces, cypresses, arborvitae, junipers, and firs, as well as some of the auxiliary substances that are major components of their composition. A comparative study of the essential oils of cedars revealed an analogy in the optical properties of three isomorphic forms: pinene of the Siberian cedar and chamaechulene of the Atlas and Himalayan cedars; the optical properties of thujone, with a significant difference in the content of essential oils in the common juniper and thuja, and α -pinene in the extracts of spruce, fir, and cypress oils. The difference in the optical properties of cyclic and acyclic terpenoid alcohols and their possible influence on the spectrum of essential oils of conifers is shown. The potential possibilities of IR spectroscopy and refractometry methods as an express control of coniferous essential oils are noted in order to differentiate and evaluate them in order to improve the quality of targeted use in various fields.

Keywords: essential oils; conifers; Fourier IR spectroscopy; refractometry

Введение

Душистые растения с древнейших времен привлекали к себе внимание человека не только как источник благовоний. Мотивы наскальных рисунков пещер провинции Ласко во Франции, возраст которых более 20 тысяч лет, очень убедительны в том, как древние люди использовали растения в оздоровительных целях. Археологические находки в Месопотамии, Аравии, Китае, Индии, Египте, Греции и на территориях Шумерской цивилизации содержат письменные свидетельства о способах получения и использования эфирных масел. Эти знания пришли к нам из обычаев и традиций разных первобытных народов [1]. Эфирные масла использовались в ритуальных обрядах и для лечебных целей, при промасливании папирусных свитков и мумифицировании, а позднее – во время эпидемий

чумы, холеры, тифа путем сжигания ароматических костров. И сегодня трудно переоценить значимость эфирных масел, широко используемых в самых различных сферах нашей жизни [2–7].

Эфирные масла – обширнейшая категория очень летучих природных жидкостей, представляющих собой многокомпонентные смеси душистых веществ (400–800 наименований), не содержащих триглицериды. Особое место среди их продуцентов занимают деревья хвойных пород (*Pinopsida*), которые, являясь самым крупным классом растительного сырья нашей планеты, ежегодно выделяют в атмосферу свыше 175 млн тонн уникальных биоактивных ароматических препаратов [8], выполняя санитарно-гигиеническую функцию – дезинфицируют воздушную среду, регулируют ее физико-химические свойства. Эфирные масла представителей хвойных пород, известные широким спектром физиологической активности (противовоспалительная, антисептическая, иммуномодулирующая, антистрессовая, спазмолитическая и др.) [9–14], нашли применение в медицине, фармакологии, косметологии, парфюмерии, пищевой, сельскохозяйственной и других областях промышленности [5–19].

Основу эфирных масел хвойных составляют терпеноиды (изопреноиды): алифатические, моно- и бициклические монотерпены, сесквитерпены и их кислородсодержащие производные (спирты, кетоны, альдегиды, простые и сложные эфиры). Как продукты вторичного метаболизма, они не участвуют в основном обмене веществ. Накапливаясь преимущественно в межклеточном пространстве, терпеноиды выполняют широкий спектр функций: участвуют в защите от вредителей и патогенов, способствуют заживлению повреждений древесины, повышают устойчивость к низким температурам, обеспечивают привлечение опылителей, формируют ароматические и вкусовые характеристики, а также вовлечены в сигнальные процессы, обеспечивая взаимодействие растений между собой и другими организмами экосистемы. Ряд изопреноидов связан с процессами дыхания и фотосинтеза. Кроме того, к этому классу относятся фитогормоны роста (абсцизовая кислота, брассиностероиды, гиббереллины) так же, как и некоторые гормоны животных (гормоны коры надпочечников, половые гормоны) [20, 21].

Человек использует уникальные биологические возможности природных эфирных масел, механизмы производства которых путем многоэтапного эволюционного эксперимента растительные организмы выработали для обеспечения своей жизнеспособности, для защиты от различного рода внешних негативных воздействий. И прежде всего для защиты вегетативных и генеративных органов от воздействия факторов абиотической (температура и влажность воздуха и почвы, освещенность, загрязнение воздуха, механические повреждения) и биотической (атака насекомых-вредителей, грибов-патогенов и бактерий) природы [22–24]. Реакцией растений на стресс той или иной природы является запуск синтеза соответствующих летучих компонентов эфирного масла [25, 26].

На содержание большинства компонентов эфирного масла даже в пределах одного вида растений хвойных пород значительное влияние оказывает место произрастания, климатические и погодные условия, состав почвы, ее кислотность, влажность [27–30]. Содержание основных компонентов эфирного масла в зеленой хвое зависит от стадии вегетации и подвержено сезонным изменениям, при этом отмечается два максимума: весенний – в мае и осенний – в сентябре. В период же перехода растения к состоянию покоя масло обогащается сесквитерпенами и кислородсодержащими соединениями, достигая максимума в декабре [31–37]. Причем, можно отметить зависимость от половой принадлежности – наибольший суммарный выход моно- и сесквитерпеновых углеводородов наблюдается для эфирного масла мужских растений, тогда как в эфирном масле женских растений отмечено более высокое содержание кислородсодержащих производных терпенов [38, 39]. Кроме того, компонентный состав эфирного масла в значительной степени определяется хемотипом растения, анатомической частью (хвоя, древесина, ветки, шишки и пр.), а также временем рубки, временем и условиями хранения сырья после рубки, технологическими условиями извлечения. Основным методом выделения эфирных масел из разных анатомических частей деревьев хвойных пород является гидродистилляция.

Россия является крупнейшей лесной державой, флора которой насчитывает около 40 видов, 8 родов и 3 семейства деревьев хвойных пород, таких как сосна (*Pinus*), ель (*Picea*), пихта (*Abies*), лиственница (*Larix*), кедр (*Cedrus*) и другие [8], а значит имеет внушительные источники и запасы уникальных биоактивных компонентов, подаренных природой. Но и сегодня, как считают авторы [40–45], эфирные

масла хвойных пород недостаточно востребованы из-за их слабой изученности. И актуальность проблемы обусловлена крайне нерациональным использованием пропадающих от рубок древесной зелени, шишек, коры, сучьев, пней и других отходов лесопромышленного комплекса, из которых применение новых технологий позволяет извлекать обширный комплекс веществ с уникальными биоактивными свойствами.

На недостаточную изученность биологической эффективности эфирных масел хвойных и их компонентов указывает и активизация исследований по применению терпенов в клинической практике в последние годы [46–50]. Рассматриваются направления, связанные с лечением дерматологических заболеваний и патологий мочеполовой системы, профилактикой и терапией сердечно-сосудистых заболеваний, коррекцией нарушений углеводного и липидного обмена, а также потенциальным противоопухолевым действием (в том числе при опухолях головного мозга, раке печени, легких и носоглотки). Терпены изучаются и в составе комбинированных лекарственных форм для наружного применения с антимикробным, противогрибковым и противовоспалительным эффектом [51–57]. Несмотря на то, что многие соединения применялись без полного понимания механизмов действия, накопленные данные подтверждают перспективность их расширенного терапевтического использования. Впервые роль терпенов в подавлении и уничтожении микробов, вызывающих сибирскую язву и туберкулез была отмечена Робертом Кохом в 1884 г. [58].

Поскольку многие из исследуемых веществ встречаются в природе в малых количествах, в настоящее время разрабатываются и применяются различные стратегии двух новых научных направлений – метаболической инженерии [59–62] и синтетической биологии [63–65], позволяющих проектировать и оптимизировать целевые биологические системы и фабрики синтеза на базе клеток микроорганизмов, дрожжей и растений, активировать процессы вторичного метаболизма и увеличивать выход натуральных терпеноидов. Расширяя возможности целенаправленного управления биосинтезом фармацевтически значимых терпеноидов, эти подходы, по мнению авторов, повышают доступность дефицитных препаратов и способствуют снижению стоимости лекарственных средств на их основе.

Из спектральных методов, представленных в немногочисленных работах по исследованию эфирных масел хвойных пород и их компонентов, предпочтение отдается методам Рамановской и Фурье ИК-спектроскопии [66–71].

Цель данной работы — комплексное исследование оптических свойств эфирных масел хвойных пород деревьев и ряда их мажорных компонентов методами Фурье ИК-спектроскопии и рефрактометрии.

Объекты и методы исследования

Объектами изучения выбраны две серии эфирных масел, полученных из хвои и древесины хвойных пород деревьев:

- ✓ кедр атласский и гималайский, кедр сибирский (сибирская кедровая сосна), сосна и ель обыкновенные – игловидная хвоя;
- ✓ кипарис крымский, пихта сибирская, можжевельник и туя обыкновенные – чешуйчатая хвоя (таблица 1);

а также некоторые основные компоненты эфирных масел объектов исследования в качестве вспомогательных веществ.

Таблица 1. Эфирные масла деревьев хвойных пород и их основные компоненты

Table 1. Essential oils of coniferous trees and their main components

Эфирное масло	Основные компоненты	Содержание, %
кедра атласского	химачулен (древесина)	56–90
кедра гималайского	химачулен (древесина)	50–92
кедра сибирского	α-пинен (древесина)	50–70
сосны обыкновенной	α-пинен (древесина)	18–74
можжевельника обыкновенного	α-пинен; сабинен (ягоды, хвоя)	17–80; 6–46
кипариса крымского	α-пинен, 3-карен (хвоя, ягоды)	20–63; 15–30
ели обыкновенной	борнилацетат (древесина)	31–48
пихты сибирской	борнилацетат (хвоя, шишковаягоды)	8–50
туи обыкновенной	α-туйон (плоды, хвоя)	48–98

Колебательные спектры (32 скана) 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.

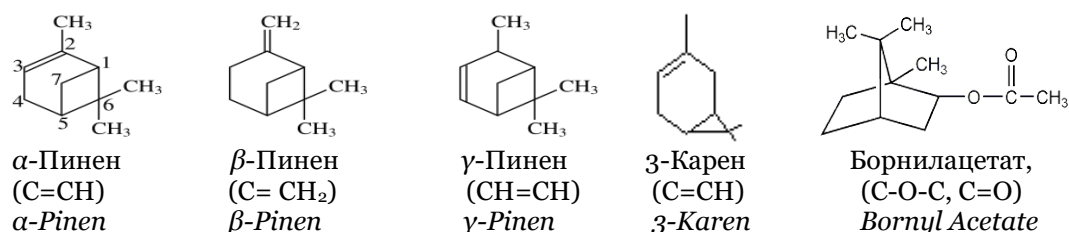
Таблица 2. Рефрактометрические показатели объектов исследования
Table 2. Refractometric indicators of the objects under study

Образец	Источник	nD, 20°C	nD, 40°C	IN, 40°C
<i>Эфирные масла</i>				
кедр сибирский	древесина	1,49607	1,48707	230,88
кедр атласский-1	древесина	1,51316	1,50461	352,38
кедр атласский-2	древесина	1,50213	1,49348	274,00
кедр гималайский-1	древесина	1,51455	1,50595	362,16
кедр гималайский-2	древесина	1,51387	1,50530	357,44
сосна обыкновенная	древесина	1,47496	1,46550	96,78
ель обыкновенная	древесина	1,47482	1,46568	97,84
кипарис крымский	хвоя	1,47005	1,46047	67,97
пихта сибирская	хвоя	1,46940	1,45980	64,20
туя обыкновенная	хвоя	1,47835	1,47470	151,93
можжевельник обыкн.	хвоя	1,47251	1,46346	85,01
<i>Вспомогательные вещества</i>				
α-пинен-1	сосна	1,46648	1,45677	47,36
α-пинен-2	окислен	1,46648	1,45668	46,86
β-пинен-1	ель	1,47964	1,47007	123,79
β-пинен-2	окислен	1,47950	1,46996	123,16
линалоол	синтетика	1,46226	1,45260	24,72
терпени-4-ол	синтетика	1,48253	1,47383	146,55

Рефрактометрические показатели изучаемых 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.

Результаты и их обсуждение

Преобладающей фракцией в эфирных маслах большинства хвойников являются терпены (α-, β-, γ-пинены, бициклические монотерпены), основное отличие которых – место положения двойной связи



и их производные, сопутствующие в заметных количествах – 3-карен, борнилацетат, камфен, лимонен, мирцен и др. [72–80]. Важной особенностью терпенов является высокая неустойчивость и вариабельность превращений с расширением кольца [81], что делает сложные смеси соединений эфирных масел наиболее нестабильными по структурному разнообразию.

Общий вид ИК-спектров (рисунок 1а) двух изоморфных форм пинена (α- и β-) позволяет оценить влияние на оптические свойства положения кратной связи в их бициклической структуре [82, 83]. Но, прежде всего следует обратить внимание на отсутствие полос в длинноволновой области

3750–3200 cm^{-1} , являющейся ароматической, что говорит об отсутствии в рассматриваемых образцах значимых количеств компонентов, содержащих ОН-группы. В области 3100–3000 cm^{-1} регистрируются валентные колебания СН-групп при кратных связях в составе образцов α -пинена ($\text{C}=\text{CH}$, 3025 cm^{-1}) и β -пинена ($\text{C}=\text{CH}_2$, 3070 cm^{-1}) [66] – выделенный фрагмент на рисунке 1б.

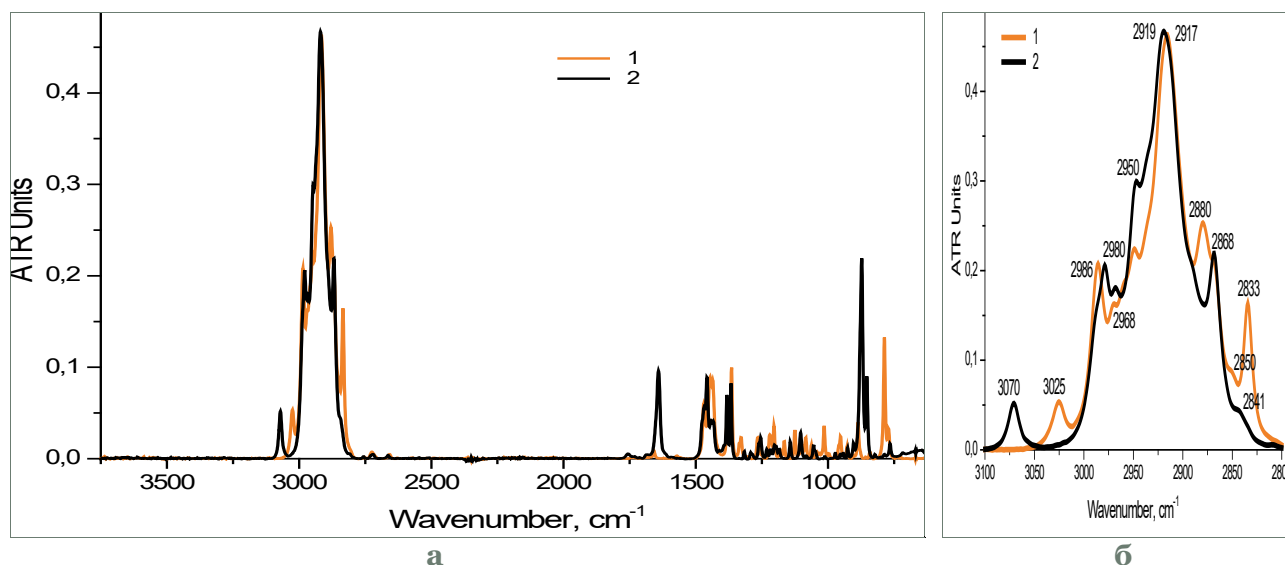


Рисунок 1 – а) Общий вид ИК-спектров: 1 – α -пинен-1; 2 – β -пинен-1; б) фрагмент 3100–2800 cm^{-1}
Figure 1. a) General view of the IR spectra: 1 – α -pinene-1; 2 – β -pinene-1; б) fragment 3100–2800 cm^{-1}

Область 3000–2800 cm^{-1} спектра достаточно наглядно иллюстрирует влияние положения кратной связи в структуре молекул двух пиненов на валентные асимметричные и симметричные колебания CH_3 -функционалов (2985/2978, 2947, 2880, 2868 cm^{-1}), CH_2 - (2921, 2915, 2850, 2841 cm^{-1}) и СН-групп (2833 cm^{-1}), слабо выраженных в спектре β -пинена.

Однако, более заметная разница между исследуемыми образцами видна при фрагментировании диапазона 1800–680 cm^{-1} . Интенсивная полоса 1641 cm^{-1} и слабая 1591 cm^{-1} в спектре β -пинена (рисунок 2а) обусловлены валентными асимметричными и симметричными соответственно колебаниями кратной связи в составе его $\text{C}=\text{CH}_2$ группировки. Асимметричные и симметричные валентные колебания $\text{C}=\text{C}$ -связи в цикле α -пинена представлены полосами 1658 и 1572 cm^{-1} соответственно. Серия полос в области 1756–1690 cm^{-1} свидетельствует о присутствии карбонилсодержащих веществ в составе обоих образцов, что может быть связано с высокой склонностью пинена к изомеризации и окислению в зависимости от технологических условий экстракции и синтеза.

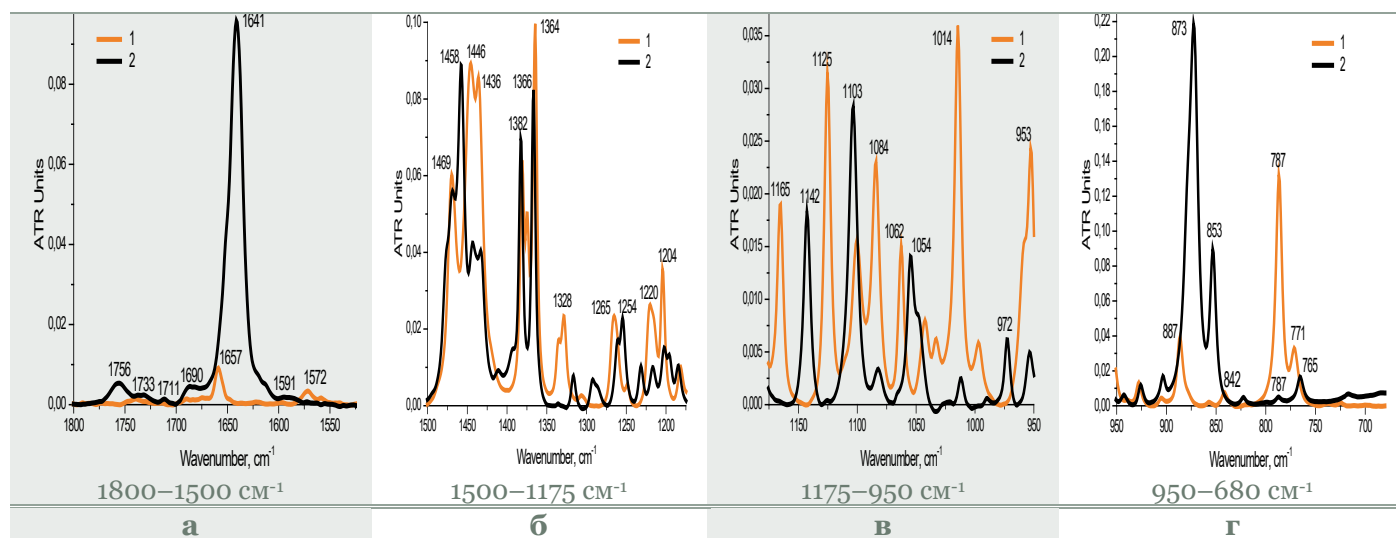


Рисунок 2 – Фрагменты ИК-спектров: 1 – α -пинен-1, 2 – β -пинен-1
Figure 2. Fragments of IR spectra: 1 – α -pinene-1, 2 – β -pinene-1

Наиболее наглядно индивидуальность характеристичных структурных элементов обеих форм пинена проявляется в оптических свойствах на фрагментах спектра 950–680 см⁻¹ (рисунок 2г):

- для α-формы типичны полосы деформационных неплоскостных маятниковых колебаний СН-группы (787 и 771 см⁻¹) и С=С-связи (878 см⁻¹) в его С=СН-композиции [66];
- в спектре β-формы наиболее выражены деформационные колебания С=С-связи (873 и 853 см⁻¹) и слабо представлены колебания СН-групп (787, 765 см⁻¹) в составе структурного элемента С=СН₂.

В спектрах обеих форм пинена полосами 1469/1458/1446/1436 и 1382/1364/ 1366 см⁻¹ могут проявляться плоскостные деформационные колебания ножничкового типа СН₂-групп циклов и СН₃-группировок (рисунок 2б). Однако, следует подчеркнуть, часто диапазон 1500–950 см⁻¹ оказывается мало информативным и ненадежным, поскольку в нем с разной достоверностью могут регистрироваться не только деформационные колебания СН₃ и СН₂-скеленых групп, но и колебания скелетных С–С-связей разных по величине циклов, часто проявляющиеся в виде дублетов, а также С–О, С–О–С и ОН-групп разной принадлежности. Положение же полос плоскостных деформационных колебаний С=С-связей и =СН-групп зависит от формы и размера цикла и их местоположения в нем. Полосы близких по природе компонентов накладываются, межмолекулярное взаимодействие вызывает смещение максимумов, изменение интенсивности и формы полос поглощения.

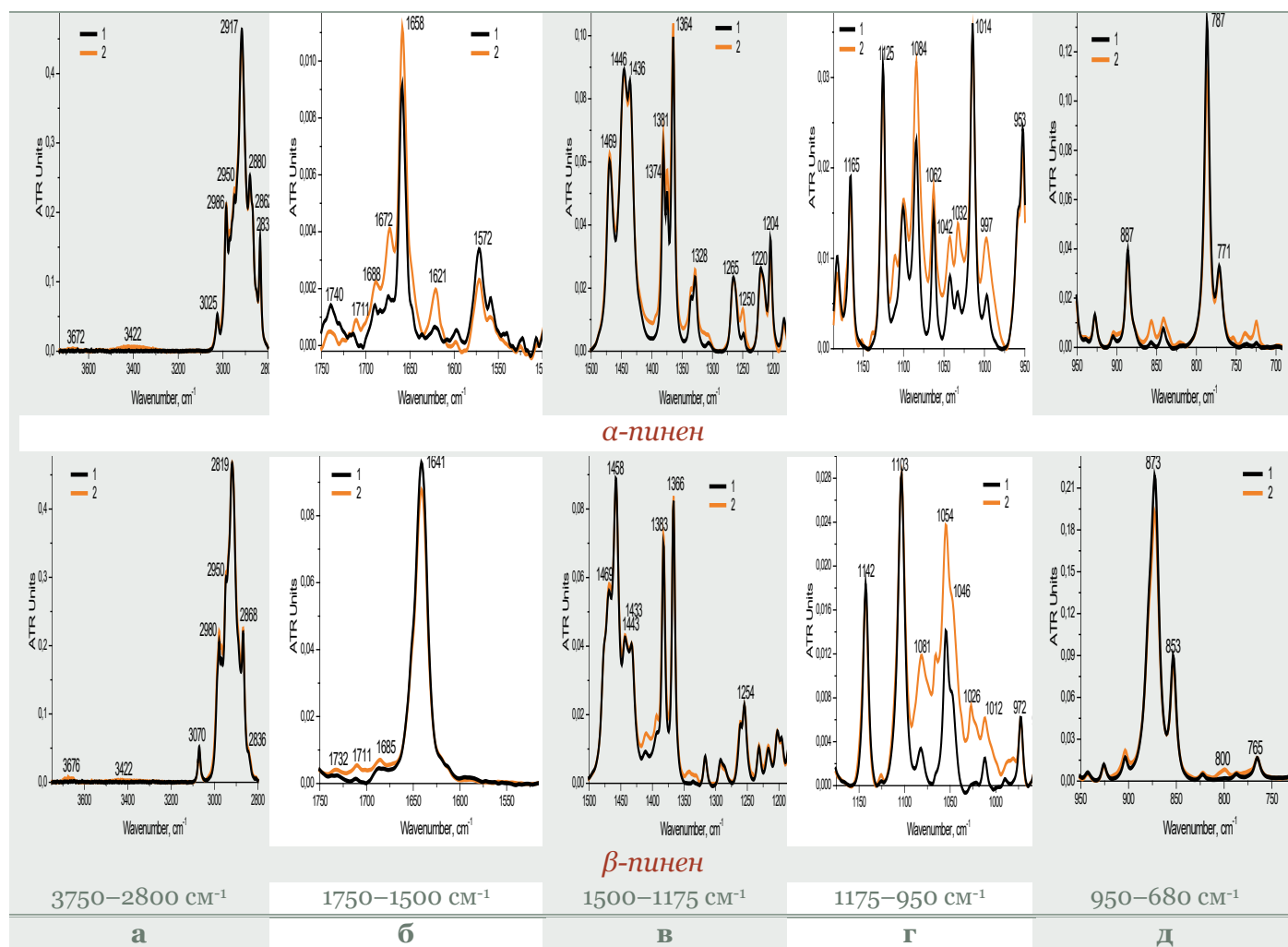


Рисунок 3 – Фрагменты ИК-спектров α-пинена и β-пинена: 1 – исходный, 2 – частично окисленный
Figure 3. Fragments of the IR spectra of α-pinene and β-pinene: 1 – initial, 2 – partially oxidized

Рисунок 3 представляет фрагменты спектров тех же образцов пиненов, но частично мягко окисленных хранением в эппендорфах при комнатной температуре в течение трех месяцев. Как известно [84, 85], процесс окисления α-пинена может включать в себя эпексидирование по двойной связи и аллильное окисление. Продуктами жидкофазного окисления являются многокомпонентные кислородсодержащие смеси, в которых главными компонентами являются терпеновые спирты

(вербенол, миртенол, пинен-3-ол-2), кетон вербенон и альдегид миртеналь. В продуктах аэробного окисления β -пинена преобладают: спирты – пинокарвеол и миртенол и кетоны – пинокарвон, миртенал, вербенон [86, 87].

Первое, что обращает на себя внимание, это появление очень слабых полос в длинноволновом регионе $3676\text{--}3420\text{ см}^{-1}$ в спектрах обоих пиненов (рисунок 3а), обусловленных образованием компонентов, содержащих свободные ($3676\text{--}3663\text{ см}^{-1}$) и связанные внутри- и межмолекулярными связями ($3427\text{--}3420\text{ см}^{-1}$) ОН-группы.

Более наглядно окислительный процесс пиненов проявлен увеличением интенсивности полос в интервалах длин волн $1750\text{--}1700\text{ см}^{-1}$ (рисунок 3б), где регистрируются карбонильные соединения, и $1260\text{--}950\text{ см}^{-1}$ (рисунок 3г), где наиболее выражены колебания обоих типов функциональных групп – гидроксильных и карбонильных. В области $950\text{--}680\text{ см}^{-1}$ (рисунок 3д) при неизменном рисунке полос в спектре α -пинена наблюдается снижение интенсивности полосы деформационных колебаний $\text{C}=\text{C}$ связей 787 см^{-1} ($A = 0,13 \rightarrow 0,11$) и увеличение интенсивности полосы валентных колебаний 1658 см^{-1} ($A = 0,0093 \rightarrow 0,011$), что может быть связано с изменением положения кратной связи в его цикле. В спектре β -пинена заметно небольшое снижение интенсивности его основных полос 873 см^{-1} ($A = 0,29 \rightarrow 0,20$) и 1641 см^{-1} ($A = 0,0098 \rightarrow 0,0089$), ответственных за валентные и деформационные колебания кратных связей, говорящее об уменьшении их числа.

При общем разнообразии механизмов окисления обеих форм пинена, отмеченный факт может также объясняться различием в положении их единственной кратной связи. Поскольку окислению с образованием карбонильных и гидроксильных соединений преимущественно подвергаются CH_2 -группы, мягкий окислительный процесс α -пинена кислородом воздуха, не затрагивая кратную связь $\text{C}=\text{CH}$ его цикла, протекает по боковым метильным группам, но может приводить к частичному разрушению внешней кратной ($\text{C}=\text{CH}_2$) в структуре β -пинена.

Общий вид ИК-спектров эфирных масел, полученных из сибирского кедр (*Siberian cedar pine*), сосны (*Pinus sylvestris L.*) и ели (*Piceae abietis*) обыкновенных (рисунок 4а), широкой полосой с максимумом 3417 см^{-1} в длинноволновом диапазоне подтверждает мажорный статус борнилацетата в образце масла ели (кр. 3, таблица 1), проявляющего себя колебаниями $\text{C}-\text{O}$ и $\text{C}=\text{O}$ -групп [82, 83]. В спектрах всех трех образцов эфирных масел полосой слабой интенсивности 3670 см^{-1} заявляют о себе терпеноиды, содержащие не связанные ОН-группы. Однако наиболее показательны (рисунок 3б) в спектрах всех образцов полосы неплоскостных деформационных колебаний $=\text{CH}$ (787 и 771 см^{-1}) и $\text{C}=\text{C}$ -связей (887 см^{-1}) характеризуют присутствие в их составе α -формы пинена.

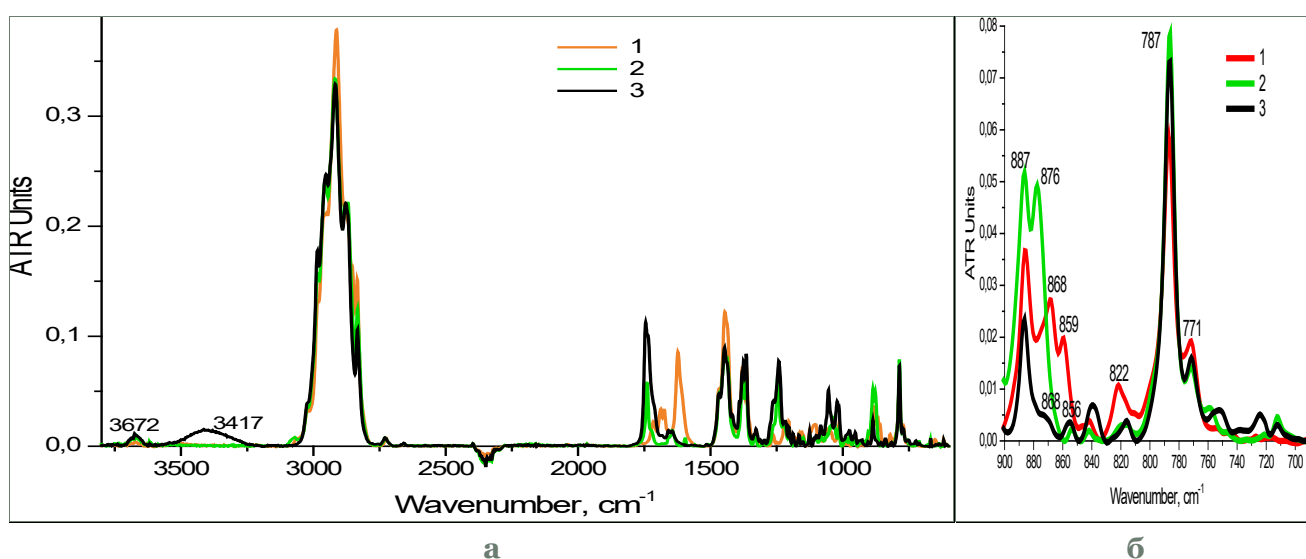


Рисунок 4 – Общий вид ИК-спектров эфирных масел (а): кедр сибирского (1), сосны (2) и ели (3); б) фрагмент $900\text{--}680\text{ см}^{-1}$

Figure 4. General view of the IR spectra of essential oils (a): Siberian cedar (1), pine (2), and spruce (3); б) fragment $900\text{--}680\text{ см}^{-1}$

Есть основания полагать, что полосы 887 , 868 , 859 см^{-1} в спектре кедра сибирского представлены неплоскостными деформационными колебаниями $\text{C}=\text{C}$ -связей всей триады пиненов – 887 см^{-1} ($\text{C}=\text{CH}$), 868 см^{-1} ($\text{C}=\text{CH}_2$), 859 см^{-1} ($\text{CH}=\text{CH}$). А соотношение интенсивности полос в спектрах образцов эфирных масел сосны и ели указывает на преимущественное содержание той или иной формы пинена. Значительная разница в оптических характеристиках образцов очевидна и во втором, более длинноволновом, диапазоне $1780\text{--}680\text{ см}^{-1}$ (рисунок 5).

Анализ фрагментов $3000\text{--}2800\text{ см}^{-1}$ (рисунок 5а) показывает как аналогию, так и различие в положении полос валентных асимметричных и симметричных колебаний $-\text{CH}_n$ -групп образцов. Положение же полос 3070 , 3066 , 3055 , 3048 см^{-1} на увеличенном мини фрагменте (рисунок 4б) отражает валентные колебания CH -групп в составе $\text{C}=\text{C}$ -композиций разных форм пинена, а общая для трех образцов эфирных масел полоса 3025 см^{-1} – колебания CH -группы при кратной связи α -пинена.

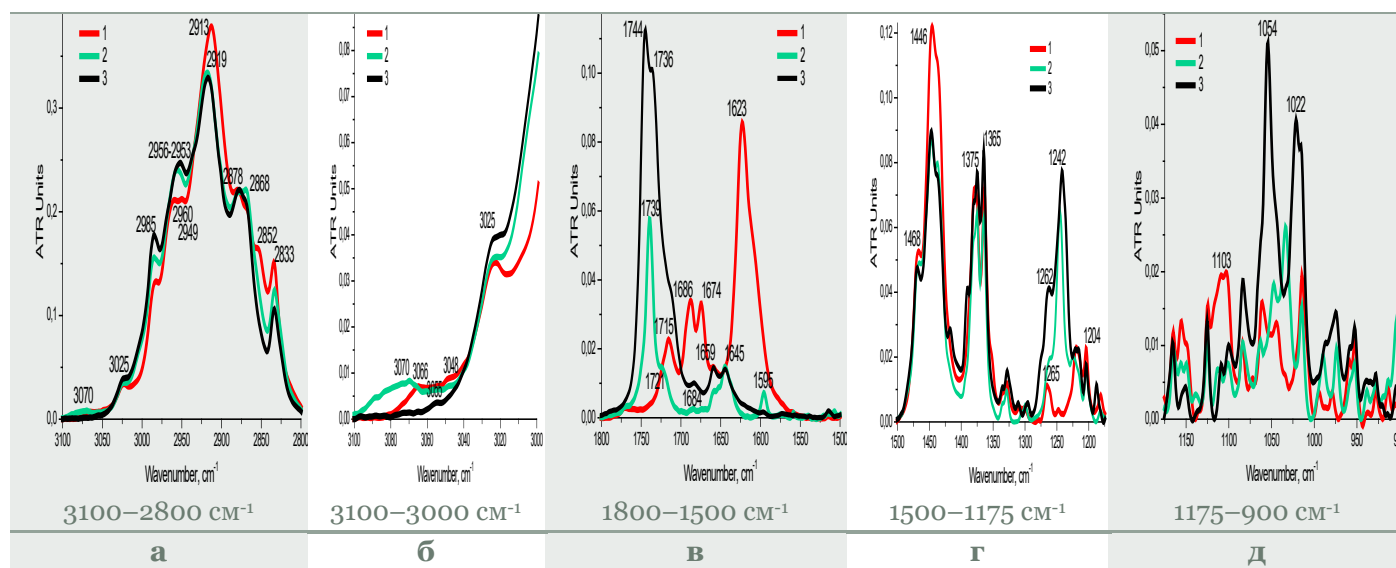


Рисунок 5 – Фрагменты ИК-спектров эфирных масел: кедра сибирского (1), сосны (2) и ели (3)

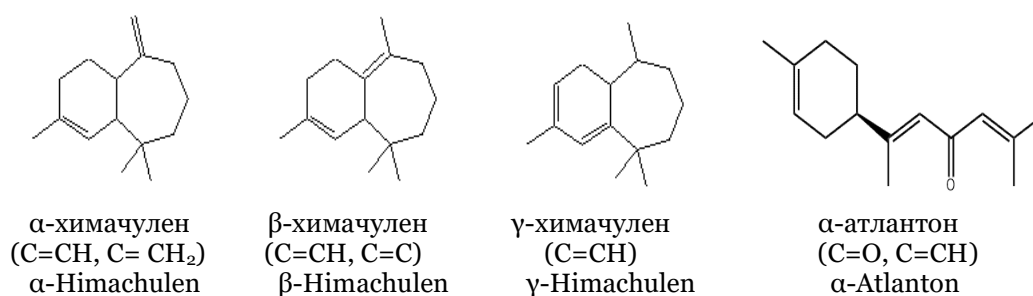
Figure 5. Fragments of the IR spectra of essential oils: Siberian cedar (1), pine (2), and spruce (3)

Спектры, представленные на фрагментах «в–д» рисунка 5 позволяют идентифицировать положение характеристических полос борнилацетата в спектре эфирного масла ели – 1745 см^{-1} ($\text{C}=\text{O}$), 1242 , 1054 , 1022 см^{-1} ($\text{C}-\text{O}$). Полосы 1739 , 1721 и 1715 см^{-1} (рисунок 5в) в спектрах масла сосны и кедра сибирского так же говорят о наличии в их составе карбонилсодержащих соединений. Интенсивность и положение полос в области $1686\text{--}1595\text{ см}^{-1}$ (рисунок 5б), характеризующих валентные асимметричные и симметричные колебания $\text{C}=\text{C}$ -связей терпеноидов, наглядно иллюстрируют их компонентное и количественное различие в составе исследуемых образцов эфирных масел.

Сопоставление оптических характеристик эфирного масла сибирского кедра и α -пинена (рисунок 6г) подтверждает положение его полос в спектре масла (887 , 787 , 771 см^{-1}) и позволяет увидеть разницу, обусловленную присутствием в нем β - и γ -форм пинена (868 , 859 см^{-1}), а также и карбонилсодержащих соединений – 1771 и 1715 см^{-1} (рисунок 6б).

Полосы, представленные в диапазоне $1686\text{--}1572\text{ см}^{-1}$ спектра масла сибирского кедра, обязаны валентным асимметричным и симметричным колебаниям $\text{C}=\text{C}$ -связей трех форм пинена. Рисунок 6а показывает в спектрах обоих образцов наличие полосы 3025 см^{-1} α -пинена и полосы β -пинена 3066 см^{-1} в спектре эфирного масла сибирского кедра. В отличие от α -пинена в спектре масла кедра просматриваются слабые полосы 3670 и 3524 см^{-1} , указывающие на присутствие компонентов, содержащих свободные и связанные водородной связью OH -группы.

Настоящее кедровое масло, близкое по химическому составу, получают из древесины двух видов кедра: атласского (*Cedrus atlantica*) [88–92] и гималайского (*Cedrus deodara*) [93–95]. Основным компонентом их эфирных масел является химачулен (бициклический сесквитерпен), его три формы, соотношение которых в составе масел заметно варьируется в зависимости от происхождения растений, как и данные разных исследователей:



Общим структурным элементом трех изоморфных форм химачулена является C=CH-композиция, присутствующая, однако, в составе большинства терпеноидов. Отличительные структурные элементы, позволяющие спектрально идентифицировать α - и β -формы химачулена, – C=CH₂ и C=C-группировки соответственно так же являются характеристичными в молекулах многих сопутствующих компонентов. Особенностью масел обоих кедров является наличие в их составе в значительном количестве (до 20%) разных форм кетона атлантона.

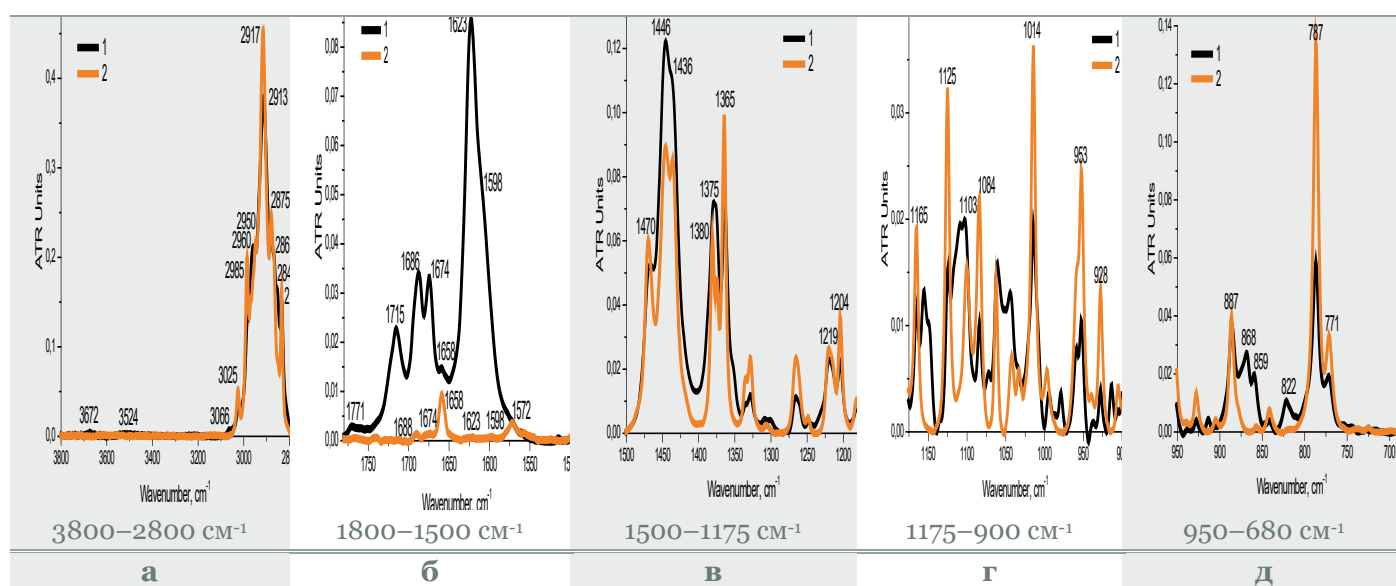


Рисунок 6 – Фрагменты ИК-спектров эфирного масла кедр сибирского (1) и α -пинена (2)

Figure 6. Fragments of the IR spectra of Siberian cedar essential oil (1) and α -pinene (2)

Рисунок 7 иллюстрирует фрагменты спектров двух эфирных масел атласского и двух гималайского кедров. Их анализ показывает, что спектр образца эфирного масла кедр атласского-2 по форме рисунка кардинально отличается во всех диапазонах шкалы волновых чисел. В его составе хорошо просматриваются полосы, характерные для α -пинена – 1645, 1515, 887, 787, 771 см⁻¹ (рисунок 7б и д), что может быть обусловлено фальсификацией.

Напротив, спектры остальных образцов масел очень близки по фактуре полос. Но, подчеркивая аналогию по качественному составу мажорных компонентов, они указывают на разницу в их количественном содержании, что наиболее заметно по проявлению валентных колебаний C=C-связей – 1686, 1672, 1622 см⁻¹ (рисунок 7б). Различия в положении и интенсивности полос в областях 1745–1715 и 1175–950 см⁻¹ (рисунок 7г) говорят о заметной разнице образцов масел в качественном и количественном составе карбонил- и OH-содержащих компонентов, на присутствие которых указывают и полосы 3675 и 3519 см⁻¹ (рисунок 7а). Валентные колебания CH₂- и CH-групп при кратных связях, находящихся в разных структурных позициях трех форм химачулена и в присутствующих в значимых количествах сопутствующих компонентов, наблюдаются в виде слабых полос 3063, 3046, 3012 см⁻¹.

Проводя аналогию с пиненами (рисунок 4б) и полагая, что тройная полоса 884/868/859 см⁻¹, характеризующая деформационные колебания C=C-связей (рисунок 7д), может отражать их присутствие в составе трех изоморфных форм химачулена, на рисунке 8 представлены фрагменты спектров эфирных масел сибирского и гималайского-1 кедров.

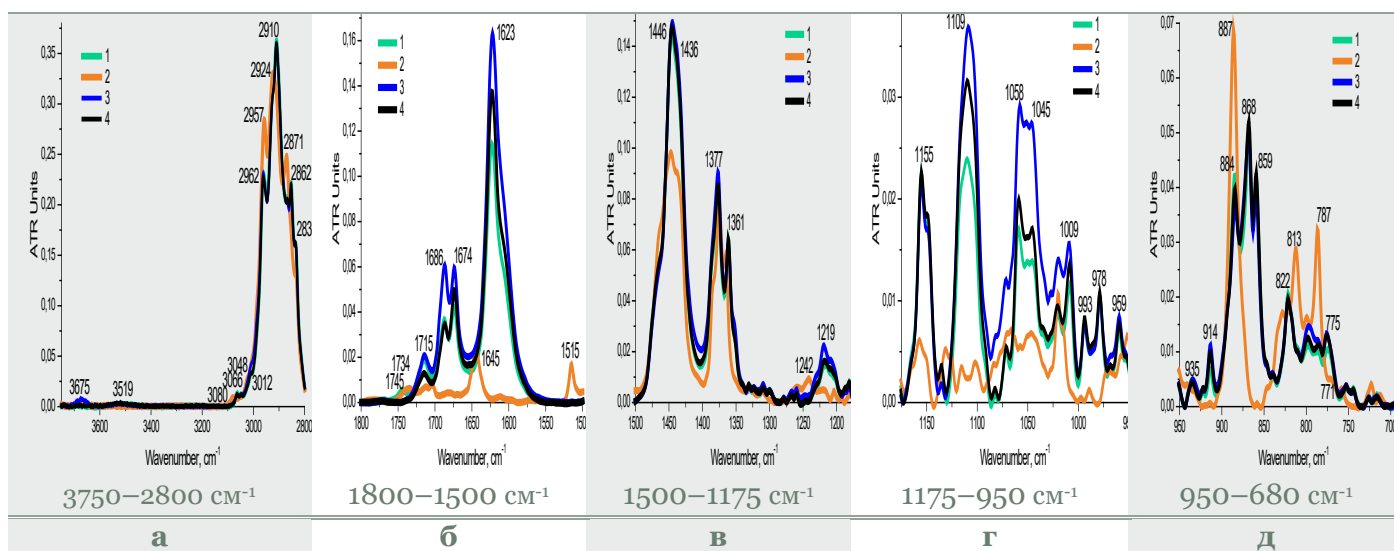


Рисунок 7 – Фрагменты ИК-спектров эфирных масел кедров: 1 – атласский-1; 2 – атласский-2;

3 – гималайский-1; 4 – гималайский-2

Figure 7. Fragments of IR spectra of cedar essential oils: 1 – Atlas-1; 2 – Atlas-2; 3 – Himalayan-1; 4 – Himalayan-2

Характер рисунка фрагментов спектров двух эфирных масел, в одном из которых преобладают пинены, а в другом химачулены, во всех тестируемых диапазонах шкалы энергий говорит сам за себя, подтверждая правильность предварительных наблюдений. Полоса 868 см^{-1} показывает, что в эфирном масле гималайского кедр доминирует α -химачулен, имеющий в своей молекуле структурный элемент $\text{C}=\text{CH}_2$, такой же, как и у β -пинена. Полоса 884 см^{-1} отражает суммарные колебания $\text{C}=\text{CH}$ -группировок, присутствующих в структуре молекул всех форм химачулена, как и у α -пинена (887 см^{-1}), полоса 859 см^{-1} – $\text{C}=\text{C}$ -связь в β -химачулене.

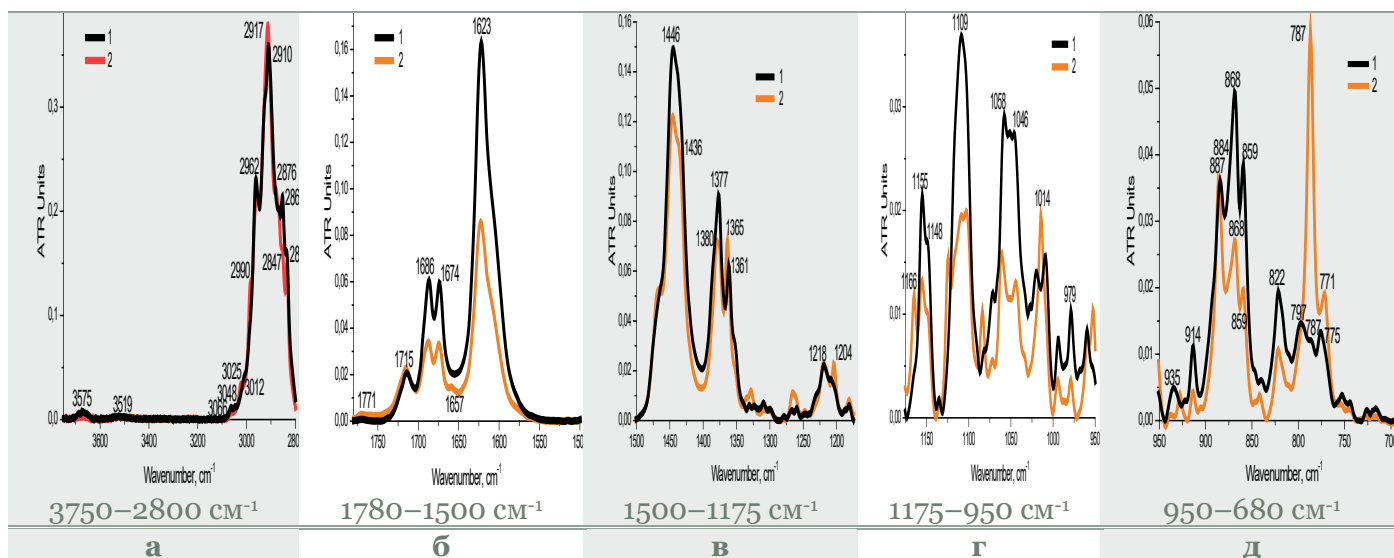
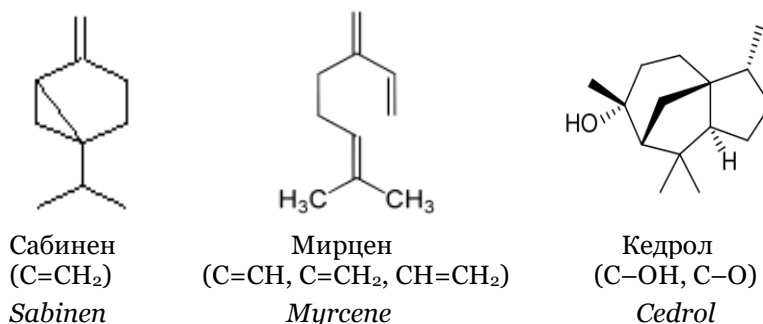


Рисунок 8 – Фрагменты ИК-спектров эфирных масел гималайского-1 (1) и сибирского (2) кедров

Figure 8. Fragments of the IR spectra of the essential oils of Himalayan-1 (1) and Siberian (2) cedars

О проявлении аналогии в валентных асимметричных и симметричных колебаниях $\text{C}=\text{C}$ -связей говорят и полосы 1686 , 1674 , 1622 см^{-1} (рисунок 8б), присутствующие в спектрах обоих масел. А полосы 3675 , 3519 (рисунок 8а), 1109 и 1058 см^{-1} (рисунок 8в) в спектре масла гималайского кедр – о более значимом содержании кислородсодержащих компонентов.

Основными компонентами эфирных масел, получаемых из хвойных лапок кипариса вечнозеленого (*Cupressus sempervirens* L.) [96–98] и пихты сибирской (*Abies sibirica*) [99–101], являются α -пинен, борнилацетат, сабинен, 3-карен, мирцен, лимонен, которые вносят преимущественный вклад в их оптические свойства разнообразными вариантами кратных связей, а также различной структуры терпеноидные спирты, такие как сесквирепеновый спирт кедрол, а также линалоол, терпин-4-ол, и др.:



Исследование оптических свойств эфирных масел кипариса и пихты в сопоставлении со спектром эфирного масла ели обыкновенной (рисунок 9) показало, что в составе обоих исследуемых образцов основным компонентом является α-пинен (фр. «г»). Полосы 1743, 2362, 1242, 1054, 1015 см⁻¹ в спектре масла пихты и 1735, 1262, 1248, 1063, 1015 см⁻¹ в спектре кипариса могут так же, как и в масле ели, указывать на присутствие карбонилсодержащих соединений, а полоса 3670 см⁻¹ – на OH-содержащих компонентов в составе всех масел.

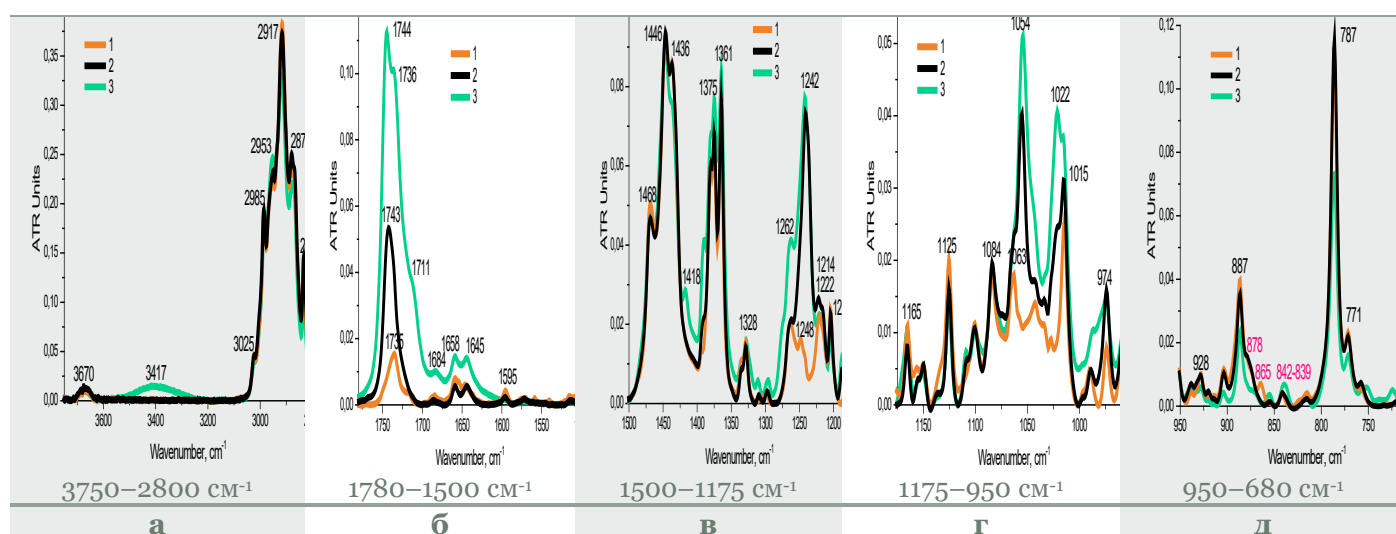
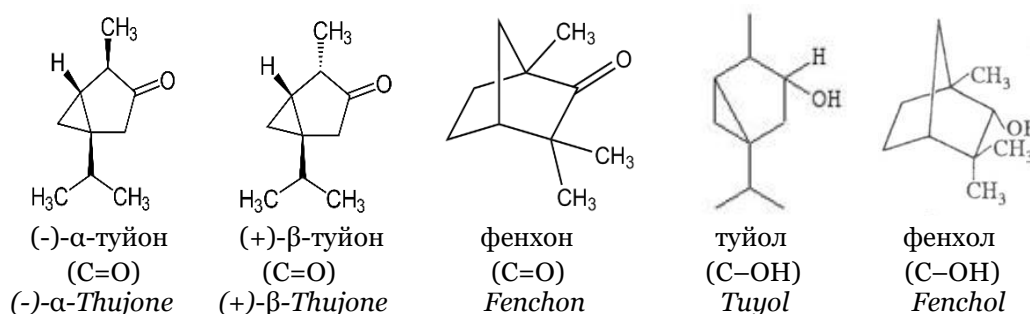


Рисунок 9 – Фрагменты ИК-спектров эфирных масел: 1 – кипариса, 2 – пихты, 3 – ели

Figure 9. Fragments of IR spectra of essential oils: 1 – cypress, 2 – abies, 3 – spruce

Как показывают результаты хроматографического анализа состава эфирных масел разного вида Туи (*Thuja*) [102–105], превалирующим компонентом в большинстве изученных образцов является бициклический кетон – туйон в виде смеси двух стереоизомеров α- и β-туйона, составляющих 80–90% от общего количества идентифицированных соединений. Различие в компонентном составе в основном проявляется в изменении соотношения α- и β-форм туйона:



К сопутствующим в заметных количествах компонентам относятся фенхон, сабинен, пинен, 3-карен, а также различные терпеноидные спирты: туйол, фенхол, терпен-4-ол, линалоол, кедрол и др.

Эфирные масла можжевельника обыкновенного (*Juniperus communis* L.), содержащие в своем составе в основном те же компоненты, что и другие хвойники – α-пинен, сабинен, 3-карен, мирцен, лимонен, туйон, кедрол, линалоол, терпинен-4-ол, β-фелландрен [106–109] – являются наиболее вариabельными по их соотношению в зависимости от видовой принадлежности растения, места и условий

произрастания, технологических особенностей экстрагирования и технологии подготовки сырья к экстрагированию (режимы измельчения, сушки, хранения и т.д.).

Фрагменты спектров эфирных масел туи и можжевельника обыкновенных (рисунок 10) показывают заметную разницу в их качественном составе. Мажорный статус туйона в составе эфирного масла туи проявляется интенсивными полосами 1719 см^{-1} (рисунок 10б), 1273 см^{-1} (рисунок 10в), 1120 , 1071 см^{-1} (рисунок 10г), 741 , 704 см^{-1} (рисунок 10д) колебаний его характеристичной $\text{C}=\text{O}$ -группировки. О наличии туйона в масле можжевельника также позволяют судить полосы 741 , 704 см^{-1} в его спектре. Структуризация правой ветви полосы 1273 см^{-1} слабыми плечами 1256 и 1241 см^{-1} в спектре масла туи, полоса 1733 см^{-1} и структурированная полоса 1241 см^{-1} в спектре можжевельника достаточно убедительно могут указывать на присутствие в составе их масел нескольких типов карбонилсодержащих соединений.

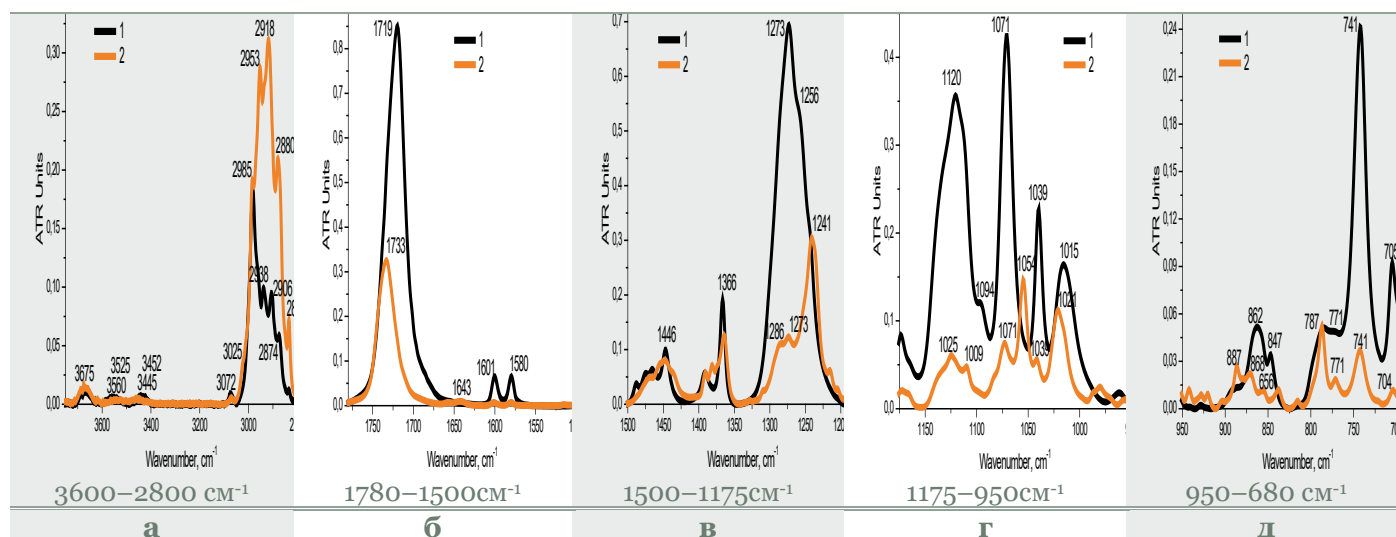
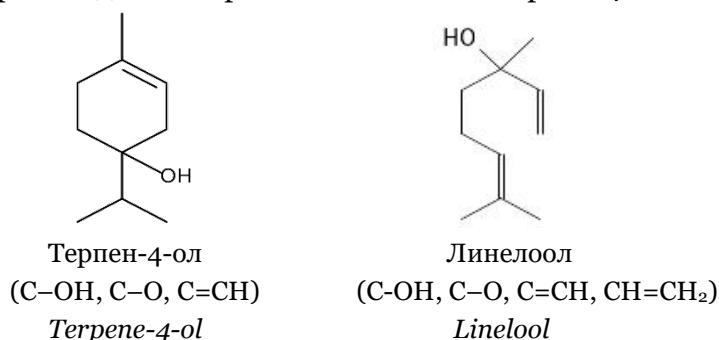


Рисунок 10 – Фрагменты ИК-спектров эфирных масел: 1 – туи, 2 – можжевельника

Figure 10. Fragments of IR spectra of essential oils: 1 – thuja, 2 – juniper

Серия слабо выраженных полос в области $1643\text{--}1580\text{ см}^{-1}$ (рисунок 10б) так же говорит о наличии терпеноидов, содержащих кратные связи, а полосы 3025 , 887 , 787 , 771 см^{-1} и 3070 , 868 см^{-1} в спектрах обоих масел указывают на α - и β -пинены. О присутствии в составе масел гидроксилсодержащих компонентов достаточно наглядно информируют полосы в области $3675\text{--}3445\text{ см}^{-1}$ (рисунок 10а). Показателен и сравнительный анализ спектров в диапазоне $3000\text{--}2800\text{ см}^{-1}$. Если в спектре масла можжевельника доминируют колебания CH_2 -группировок (2918 см^{-1}), то в спектре масла туи CH_3 -групп (2985 см^{-1}), что, надо полагать, отвечает их содержанию в структуре молекул, представляющих компонентный состав исследуемых образцов.

Следует заметить, что наличие в составе эфирных масел значимого содержания терпеноидов кетонного, альдегидного и особенно спиртового типа, заметно понижает выраженность полос, обусловленных колебаниями кратных связей. Это хорошо видно (рисунок 11) при анализе спектров двух разных по строению терпеноидных спиртов – линалоола и терпен-4-ола:



Гидроксильные группы обоих спиртов, связанные водородной связью, как показывает положение их полос 3395 и 3381 см^{-1} , заметно интенсивнее полос обусловленных валентными колебаниями кратных связей в области $1678\text{--}1642\text{ см}^{-1}$. В длинноволновой области заметна разница в интенсивности и положении

полос всего комплекса колебаний СН-групп линелоола (2969 , 2880 , 2856 cm^{-1}) и терпен-4-ола (2965 , 2922 , 2889 , 2833 , 2856 cm^{-1}).

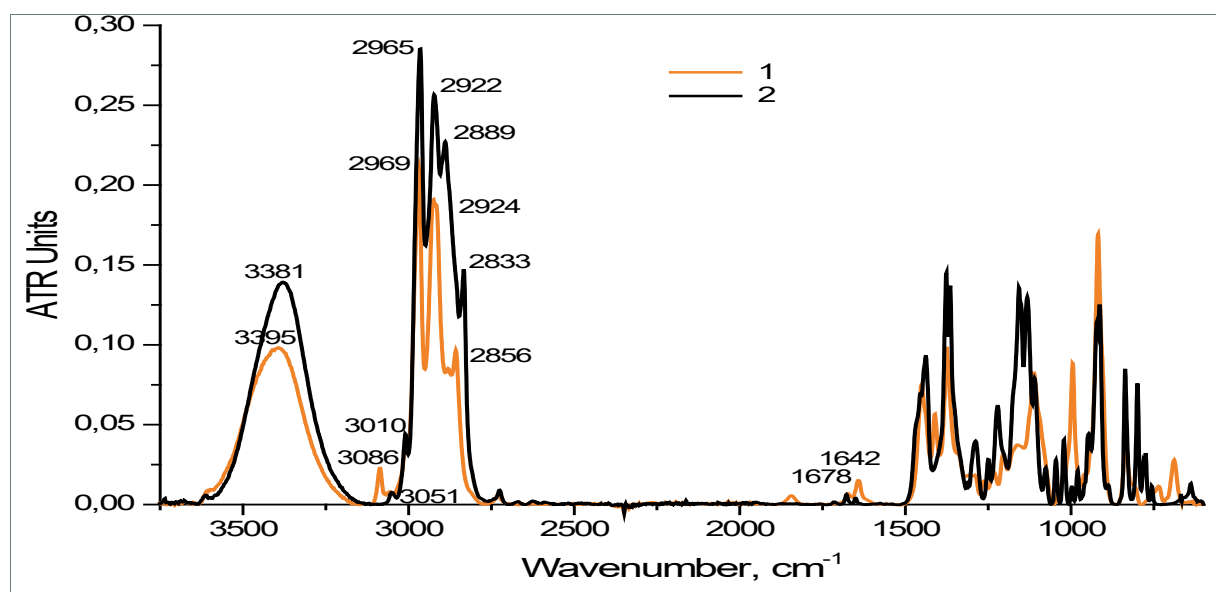


Рисунок 11 – Общий вид ИК-спектров терпеноидных спиртов: 1 – линалоол, 2 – терпен-4-ол
Figure 11. General view of the IR spectra of terpenoid alcohols: 1 – linalool, 2 – terpen-4-ol

Валентные колебания CH_2 -группы при изолированной кратной связи в структуре молекулы линалоола представлены в спектре полосой 3086 cm^{-1} , колебания СН-групп в композиции $\text{C}=\text{CH}$, характерной для обоих спиртов, – полосой 3010 cm^{-1} , а очень слабая полоса 3051 cm^{-1} может быть обязана группе $\geq\text{CH}$, так же имеющейся в структуре молекул и линалоола и терпен-4-ола.

Анализ увеличенных фрагментов спектров (рисунок 12а) позволяет отметить полосы валентных асимметричных (1674 , 1642 cm^{-1}) и симметричных (1575 , 1558 cm^{-1}) колебаний изолированных $\text{C}=\text{C}$ -связей линалоола в группировках $\text{C}=\text{CH}$ и $\text{CH}=\text{CH}_2$. Полосы 1678 и 1575 cm^{-1} в спектре терпен-4-ола могут говорить об аналогичных колебаниях $\text{C}=\text{C}$ -связи в его цикле, но полосы 1660 cm^{-1} и в области ниже 1600 cm^{-1} позволяют полагать, что образец содержит примеси терпеноидов с кратными связями, а достаточно выраженная полоса 1715 cm^{-1} указывает на наличие карбонилсодержащего компонента.

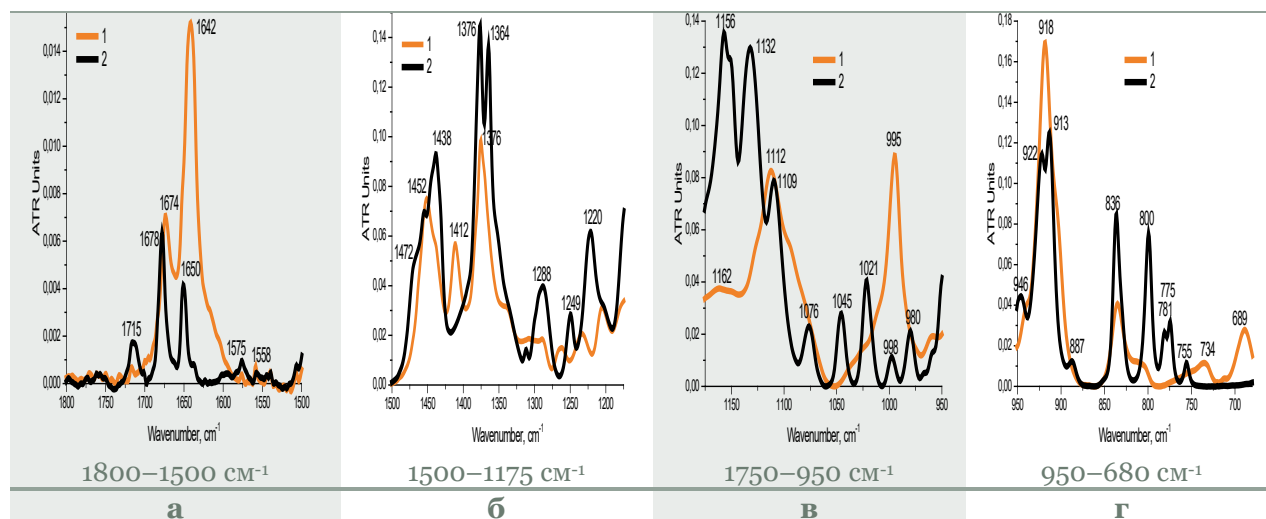


Рисунок 12 – Фрагменты ИК-спектров терпеноидных спиртов: 1 – линалоол, 2 – терпен-4-ол
Figure 12. Fragments of IR spectra of terpenoid alcohols: 1 – linalool, 2 – terpen-4-ol

Наиболее надежным проявлением гидроксильных групп в диапазоне 1800 – 680 cm^{-1} в спектрах обоих образцов являются полосы 922 , 918 , 913 cm^{-1} их деформационных веерных колебаний (рисунок 12г), а для линалоола полосы $\text{C}-\text{O}$ (рисунок 12в). Остальные области диапазона ненадежны, поскольку могут содержать комплекс полос деформационных колебаний разных типов – OH , $\text{C}-\text{O}$, $\text{C}-\text{O}-\text{C}$, CH ,

CH_2 , CH_3 , $\text{C}-\text{C}$ -связей. Однако характер спектральных кривых, полученных для двух типов терпеноидных спиртов, показывая разницу в оптических свойствах, позволяет увидеть те возможные осложнения при интерпретации данных по эфирным маслам, которые они вносят, являясь компонентами.

Исследование методом рефрактометрии [110] показало (рисунок 13) закономерное увеличение йодного числа (IN , 40°C), характеризующего рост количества кратных связей с увеличением показателя преломления (n_D) эфирного масла, при их максимальном содержании в масле гималайского кедра, что согласуется с результатами ИК-спектроскопии и структурными особенностями доминирующих компонентов. Последовательность сохранилась в изменении n_D исследуемых образцов эфирных масел, измеренном при 20°C , несмотря на их заметную летучесть при нагревании на 20°C (таблица 2).

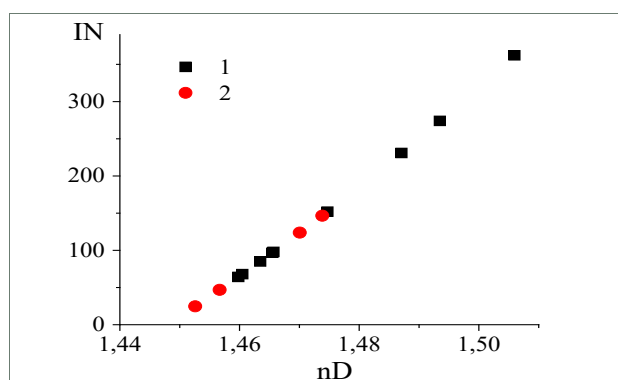


Рисунок 13 – Зависимость $\text{IN} = f(n_D)$: 1 – эфирные масла, 2 – вспомогательные вещества
Figure 13. $\text{IN} = f(n_D)$ dependence: 1 – essential oils, 2 – auxiliary substances

Анализ рефрактометрических показателей α - и β -пиненов позволил отметить в обоих случаях небольшое снижение показателей n_D и IN в результате окислительных процессов при хранении, а также обратить внимание влияния на показания IN – структуры молекул пиненов и двух типов рассматриваемых терпеноидных спиртов, числа кратных связей, их положения и межмолекулярных взаимодействий (таблица 2).

Заключение

Исследования эфирных масел хвойных пород и ряда мажорных компонентов, проведенные двумя оптическими экспресс-методами с разными физическими основами, наглядно показали границы их наиболее перспективных возможностей в получении согласованных данных. Масла кедров, сосны, ели, кипариса, пихты содержат в качестве доминирующих компонентов пинены и химачулены – компоненты, структурным элементом которых являются сугубо кратные связи. ИК-спектроскопия, отвечающая за качественный состав системы, прекрасно видит их как доминирующие составляющие, а для рефрактометрии в отношении эфирных масел функция оценки общего содержания кратных связей по йодному числу является базовой.

Интересы методов, казалось бы, несколько расходятся, когда доминантным становится компонент, содержащий карбонильную или гидроксильную группу (эфирное мало туи и можжевельника, терпеноидные спирты линалоол и терпен-4-ол), но разница во взглядах двух методов на один и тот же объект позволяет глубже понять его содержание.

Привлекательная особенность метода Фурье ИК-спектроскопии состоит в перспективности использования для экспресс-оценки качества эфирных масел разных анатомических частей хвойных древесных пород разной природы и географического происхождения и характера их возможной фальсификации по серии индивидуальных характеристических полос:

- атласского и гималайского кедров на содержание трех изоморфных форм химачулена по положению серии полос – $884, 868, 859 \text{ см}^{-1}$;
- кедра сибирского на содержание трех изоморфных форм пинена по набору полос – $887, 868, 859, 787, 771 \text{ см}^{-1}$;
- ели, пихты и кипариса на наличие α -пинена ($787, 771 \text{ см}^{-1}$), туи и можжевельника – на α -пинен и туйон ($741, 704, 692 \text{ см}^{-1}$).

Литература

1. 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. Сеченова И.М., 1995, 160 с.
2. Селлар В. Энциклопедия эфирных масел. М.: Фаир-Пресс, 2005, 400 с.
3. 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.
4. Папитецкий В.С., Невкрытая Н.В. Использование эфирных масел в медицине, ароматерапии, ветеринарии и растениеводстве (Обзор) // Таврический вестник аграрной науки. 2018. № 1. С. 16–38.
5. Pezantes-Orellana C., Bermúdez F.G., De la Cruz C.M., Montalvo J.L., Orellana-Manzano A. Essential oils: a systematic review on revolutionizing health, nutrition, and omics for optimal well-being. *Front. Med. Sec. Translational Medicine*. 2024, Is. 11: 1337785. DOI: 10.3389/fmed.2024.1337785
6. 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
7. Войткевич С. А. Парфюмерия и ее секреты. М.: Пищевая промышленность. 2003, 72 с.
8. Валеев К. В., Зиятдинова Д.Ф., Сафин Р.Г. Обзор исследований в области извлечения биологически активных веществ из хвойных пород древесины // Системы. Методы. Технологии. 2024. № 4. С. 159–164. DOI: 10.18324/2077-5415-2024-4-159-164
9. Hong E.J., Na K.J., Choi I.G., Choi K.C., Jeung E.B. Antibacterial and antifungal effects of essential oils from coniferous trees. *Biol. Pharm. Bull.* 2004, V. 27, Is. 6, pp. 863–866. DOI: 10.1248/bpb.27.863
10. Ламоткин С.А., Ахрамович Т.И., Сакович А.В., Будковская Д.А. Исследование состава и антимикробной активности эфирных масел ряда хвойных пород деревьев // Труды БГТУ. Сер. 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология. 2021. № 2. С. 94–99.
11. Gushcha S., Nasibillin B., Strus O., Bakhholdina E. Muratov V., Nikolenko S. et. al. Comprehensive toxic-biological assessment of coniferous extract. *Pharmacologyonline*. 2021, Is. 3, pp. 1442–1453.
12. Crozier A., Clifford M., Ashihara H. (Eds.) *Plant secondary metabolites*. Occurrence, structure and role in the human diet. Blackwell Publishing Ltd, Oxford. 2006, 372 p. DOI: 10.1002/ANIE.200685491
13. 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
14. Mohamed A.A., Alotaibi B.M. Essential oils of some medicinal plants and their biological activities: a mini review. *Journal of Umm Al-Qura University for Applied Sciences*. 2022, V. 9, Is. 1. pp. 40–49. DOI: 10.1007/s43994-022-00018-1
15. Parekh S.S., Parmar G.R., Kanojiya D., Baile S.B., Trivedi R., Bhatt F. Unlocking the therapeutic potential of terpenoids: a roadmap for future medicine. *Pharmacogn. Res.* 2024, Is. 16. pp. 698–705. DOI: 10.5536/pres.16.4.81
16. Masyita A., Mustika S.R., DwiAstuti A., Yasir B. et al. Terpenes and terpenoids as main bioactive compounds of essential oils, their roles in human health and potential application as natural food preservatives. *Food Chem X*. 2022, Is. 13, article 100217. DOI: 10.1016/j.fochx.2022.100217
17. Fabio S., Licetti E., Alberghini G. et al. Antimicrobial effect of essential oils and terpenes coupled with supercritical carbon dioxide for chicken meat preservation. *LWT*. 2024, Is. 215, article 117270. DOI: 10.1016/j.lwt.2024.117270
18. Fan M., Yuan S., Li L., Zheng J., Zhao D., Wang C., et al. Application of terpenoid compounds in food and pharmaceutical products. *Fermentation*. 2023, V. 9, Is. 2, article 119. DOI: 10.3390/fermentation9020119
19. Roba K. The role of terpene (secondary metabolite). *Nat Prod Chem Res*. 2021, V. 9, Is. 8, pp. 1–11.
20. Горбылева Е.Л., Боровский Г.Б. Биостимуляторы роста и устойчивости растений терпеноидной природы и другие биологически активные соединения, полученные из хвойных пород // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2018. Т. 8. № 4. С. 32–41. DOI: 10.21285/2227-2925-2018-8-4-32-41
21. Князева Т.В. Регуляторы роста растений в Краснодарском крае. Краснодар: ЭДВИ, 2013, 128 с.
22. Ninkuu V., Zhang L., Yan J., Fu Z., Yang T., Zeng H. Biochemistry of terpenes and recent advances in plant protection. *Int. J. Mol. Sci.* 2021, V. 22, Is. 11, article 5710. DOI: 10.3390/ijms22115710
23. Herrera J.M., Zunino M.R., Dambolena J.S., Pizzolitto R.P., et al. Terpene ketones as natural insecticides against *Sitophilus zeamais*. *Industrial Crops and Products*. 2015, V. 70, pp. 435–442. DOI: 10.1016/j.indcrop.2015.03.074
24. Li Y., Feng Y., Wang X., Cui J., Deng X., Zhang X. Adaptation of pine wood nematode *Bursaphelenchus xylophilus* to β -pinene stress. *BMC Genomics*. 2020, V. 21, Is. 1, article 478. DOI: 10.1186/s12864-020-06876-5
25. Vickers C.E., Gershenzon J., Lerdau M.T., Loreto F. A unified mechanism of action for volatile isoprenoids in plant abiotic stress. *Nat. Chem. Biol.* 2009, V. 5, Is. 5, pp. 283–291. DOI: 10.1038/nchembio.158
26. Lewinsohn E., Gijzen M., Croteau R. Defense mechanisms of conifers : differences in constitutive and wound-induced monoterpene biosynthesis among species. *Plant Physiol*. 1991, V. 96, Is. 1, pp. 44–49. DOI: 10.1104/pp.96.1.44

27. Колесникова Р.Д., Тагильцев Ю.Г. Особенности химического состава и физико-химических характеристик хвойных эфирных масел разных стран мира // Лесные биологические вещества: сб. тр. Хабаровск. 2001, С. 202–207.
28. Герлинг Н.В., Пунегов В.В., И.В. Груздев И.В. Компонентный состав эфирного масла можжевельника обыкновенного (*Juniperus communis* L.) под пологом елового древостоя на европейском северо-востоке России // Химия растительного сырья. 2016. № 2. С. 89–96.
29. Герлинг Н.В., Груздев И.В., Тарасов С.И. Качественный и количественный состав эфирного масла семян пихты сибирской (*Abies sibirica* Ledeb.) и сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), произрастающих на территории Республики Коми // Химия растительного сырья. 2024. № 4. С. 297–304. DOI: 10.14258/jcprgm.20240414809
30. Соловьева Е.С., Адамович Т.А. Состав и свойства эфирного масла пихты сибирской *Abies sibirica* LDB, произрастающей в разных районах Кировской области // Химия растительного сырья. 2020. № 3. С. 291–297. DOI: 10.14258/jcprgm.2020037428
31. Ребко С.В., Мельник П.Г., Ламоткин С.А., Тулик П.В., Поплавская Л.Ф., Носников В.В. Анализ содержания основных компонентов эфирного масла в хвое различных климатипов и подвидов сосны обыкновенной // Resources and Technology. 2021. Т. 18. № 3. С. 17–36. DOI: 10.15393/j2.art.2021.5783
32. Герлинг Н.В., Тарасов С.И., Пунегов В.В., Груздев И.В. Оценка годовой динамики выхода эфирного масла хвои *Abies sibirica* в среднетаежной подзоне Республики Коми // Растительные ресурсы. 2019. Т. 55. № 2. С. 268–278. DOI: 10.1134/S0033994619020043
33. Ламоткин С.А., Скаковский Е.Д., Механикова Е.Г., Гиль Е.В., Романюк Е.В. Сезонная динамика терпеновых углеводородов эфирного масла сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) // Труды БГТУ. 2019. Серия 2. № 1. С. 17–24.
34. Гуляев Д.К., Белоногова В.Д., Мащенко П.С. Сезонная изменчивость компонентного состава эфирного масла древесной зелени ели обыкновенной *Picea abietis* (pinaceae) // Фундаментальные исследования. 2015. № 7 (Ч. 1). С. 14–19.
35. Ламоткин С.А., Гиль Е.В., Романюк Л.И., Скаковский Е.Д. Сезонная динамика терпеноидов эфирного масла *Picea glauca* в городских условиях // Растительные ресурсы. 2019. Т. 55. № 2. С. 259–267. DOI: 10.1134/S0033994619020055
36. Ушанов С.В., Степень Р.В., Ушанова В.М. Возрастная динамика содержания пихтового масла в древесной зелени *Abies sibirica*. Теоретические аспекты оценки // Химия растительного сырья. 2017. № 1. С. 129–136. DOI: 10.14258/jcprgm.2017011448
37. Сафин Р.Г., Валеев К.В., Тимербаев Н.Ф., Петров В.И., Гильфанов К.Х. Исследование процесса экстракции эфирных масел из хвои и коры сосны // Лесной вестник. 2025. Т. 29. № 4. С. 126–138. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-4-126-138
38. Князева С. Г. Половая изменчивость можжевельника обыкновенного // Лесоведение. 2004. № 6. С. 73–75.
39. Самсонова Н.А., Гусакова М.А., Боголицын К.Г., Селиванова Н.В. Компонентный состав и антибактериальная активность эфирного масла древесной зелени *Juniperus communis* L. субарктической зоны России // Сибирский лесной журнал. 2020. № 2. С. 31–39. DOI: 10.15372/SJFS20200204
40. Колобанов К.А. Комплексное использование продуктов леса. Эфирные масла // Ученые заметки ТОГУ. 2014. Т. 5. № 4. С. 1100–1108.
41. Сафина А.В., Тимербаев Н.Ф., Зиатдинова Д.Ф., Арсланова Г.Р. Экстракция ценных компонентов из лесосечных отходов // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2018. № 1. С. 109–119. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.109
42. Осмоловская Н.А. Возможность утилизации лесосечных отходов кедров сибирского: дис ... канд. техн. наук. Красноярск, 2002. 163 с.
43. Миллер А.Я. Состав и биологическая активность эфирных масел сосновых пней и хвои: автореф. дис ... канд. биол. наук. Елгава, 1973. 36 с.
44. Караваев С.В. Лесоводственные аспекты использования отходов лесозаготовок в елово-пихтовых лесах Приморского края: дис ... канд. с.-х. наук. Хабаровск, 2009. 147 с.
45. Гелес И.С. Древесное сырье – стратегическая основа и резерв цивилизации. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. 499 с.
46. Муратова К.В., Соловьев В.В. Идентификация основных классов терпеновых соединений в эфирном масле хвойных растений // Журнал биологических наук и сельского хозяйства. 2025. Т. 1. № 5. С. 214–222. DOI: 10.63490/3034-6797-2025-01-05-214-222
47. Шадеркина В.А., Шадеркин И.А. Терпены и их применение в клинической практике // Экспериментальная и клиническая урология. 2019. № 1. С. 77–80. DOI 10.29188/2222-8543-2019-11-1-77-80
48. Племенков В.В., Тевс О.А. Медико-биологические свойства и перспективы терпеноидов (изопреноидов) // Химия растительного сырья. 2014. № 4. С. 5–20. DOI: 10.14258/jcprgm.201404225

49. Khanam Sh., Mishra P., Faruqui T., Alam P., Albalawi Th. et al. Plant-based secondary metabolites as natural remedies: A comprehensive review on terpenes and their therapeutic applications. *Front Pharmacol Sec Ethnopharmacology*. 2025, V. 16, article 1587215. DOI: 10.1104/pp.96.1.44
50. Yang W., Chen X., Li Y., Guo S., Wang Z., Yu X. Advances in pharmacological activities of terpenoids. *Nat Prod Commun*. 2020, V. 15, Is. 3, article 1934578X20903555. DOI: 10.1177/1934578X20903555
51. Sieniawska E., Swatko-Ossor M., Sawicki R., Skalicka-Wozniak K., Ginalska G. Natural terpenes influence the activity of antibiotics against isolated mycobacterium tuberculosis. *Med Princ Pract*. 2017, V. 26, Is. 2, pp. 108–112. DOI: 10.1159/000454680
52. Сивков А.В., Черепанова Е.В., Шадеркина В.А. Применение фитопрепаратов на основе терпенов при мочекаменной болезни // Экспериментальная и клиническая урология. 2011. № 1. С. 69–72.
53. Lee C.B., Ha U.S., Lee S.J., Kim S.W., Cho Y.H. Preliminary experience with a terpene mixture versus ibuprofen for treatment of category III chronic prostatitis/chronic pelvic pain syndrome. *World J Urol*. 2006, V. 24, Is. 1, pp. 55–60. DOI: 10.1007/s00345-005-0039-x
54. Yang J., Zhong C., Yu J. Natural monoterpenes as potential therapeutic agents against atherosclerosis. *Int J Mol Sci*. 2023, V. 24, Is. 3, article 2429. DOI: 10.3390/ijms24032429
55. Roy S., Ghosh A., Majie A., Karmakar V., Das S., Dinda S. C., et al. Terpenoids as potential phytoconstituent in the treatment of diabetes: from preclinical to clinical advancement. *Phytomedicine*. 2024, V. 129, article 155638. DOI: 10.1016/j.phymed.2024.155638
56. Bhuia M.S., Chowdhury R., Afroz M., Akbor M.S., Al Hasan M.S., Ferdous J., et al. Therapeutic efficacy studies on the monoterpenoid hinokitiol in the treatment of different types of cancer. *Chem Biodivers*. 2025, V. 22, Is. 5, article e202401904. DOI: 10.1002/cbdv.202401904
57. Gonçalves S.D. Cedarwood essential oil (*Cedrus* spp.): a forgotten pharmacological resource with emerging therapeutic potential. *Explor Drug Sci*. 2025, Is. 3, article 1008131. DOI: 10.37349/eds.2025.1008131
58. Brock T.D. *Robert Koch: A life in medicine and bacteriology*. Berlin: Springer. 1988, 364 p.
59. Lu X., Tang K., Li P. Plant metabolic engineering strategies for the production of pharmaceutical terpenoids. *Front Plant Sci*. 2016, V. 7, article 01647. DOI: 10.3389/fpls.2016.01647
60. Корик Е.О. Электронный учебно-методический комплекс по учебной дисциплине метаболическая инженерия. Минск: БГУ. 2016, 66 с.
61. Таратынова М.О. Метаболическая инженерия дрожжей *Yarrowia lipolytica*, направленная на разработку синтеза соединений терпенового ряда: автореф. ... канд. биол. наук. Москва. 2024, 24 с.
62. Махазен Д.С. Регуляция генов семейства JAZ посредством РНК-интерференции как инструмент активации вторичного метаболизма в клеточных культурах растений: дис ... канд. биол. наук. Владивосток, 2022. 142 с.
63. Zhang C., Hong K. Production of terpenoids by synthetic biology approaches. *Front Bioeng Biotechnol*. 2020, V. 8, article 347. DOI: 10.3389/fbioe.2020.00347
64. Si Y., Li S., Chen C. Biotechnological production of terpenoids using cell factories. *Front Pharmacol*. 2025, V. 16, article 1621406. DOI: 10.3389/fphar.2025.1621406
65. Basallo O., Perez L., Lucido A., Sorribas A. et al. Changing biosynthesis of terpenoid precursors in rice through synthetic biology. *Front Plant Sci*. 2023, V. 14, article 1133299. DOI: 10.3389/fpls.2023.1133299
66. Wilson H.W. The infrared and Raman spectra of α - and β -pinenes. *Appl Spectrosc*. 1976, V. 30, Is. 2, pp. 209–212.
67. Hall D.S., Lockwood D.J., Poirier S., Bock C., MacDougall B.R. Raman and infrared spectroscopy of α and β phases of thin nickel hydroxide films electrochemically formed on nickel. *J Phys Chem A*. 2012, V. 116, Is. 25, pp. 6771–6784. DOI: 10.1021/jp303546r
68. Скаковский Е.Д., Тычинская Л.Ю., Гайдукевич О.А., Ламоткин С.А. и др. ЯМР-анализ состава эфирных масел хвои ели обыкновенной в зависимости от атмосферного загрязнения районов Минска // Химия растительного сырья. 2013. № 3. С. 121–128. DOI: 10.14258/jcprgm.1303121
69. Ламоткин С.А., Скаковский Е.Д., Владыкина Д.С., Саморядов А.В. Спектральный и хроматографический анализ химического состава эфирного масла елей в условиях техногенного загрязнения хвойных лесов // Аналитика РБ – 2010: сб. тр. Минск: [б.и.], 2010. С. 86.
70. Хох А.Н., Звягинцев В.Б. Применение метода ИК-Фурье спектроскопии для установления места произрастания сосны обыкновенной // Проблемы региональной экологии. 2021. № 4. С. 29–34. DOI: 10.24412/1728-323X-2021-4-29-34
71. 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
72. Ефремов А.А., Струкова Е.Г., Нарчуганов А.Н. Компонентный состав эфирного масла лапки хвойных Сибирского региона по данным хромато-масс-спектрометрии // Сибирский федеральный университет. Химия. 2009. № 4. С. 335–350.

73. Хуришайнен Т.В., Терентьев В.И., Скрипова Н.Н., Королева А.А., Кучин А.В. Исследование химического состава хвойного кедрового экстракта // Химия растительного сырья. 2014. № 1. С. 171–175. DOI: 10.14258/jsergm.1401171
74. Федотов С.В. Эфирное масло сибирской кедровой сосны [Электронный ресурс] // Центр фитоароматерапии. 2026. URL: https://real-aroma.ru/Fedotov/cedrus_sybir/cedrus_oil.htm?ysclid=ml4qyo2nme199308191 (дата обращения 02.02.2026)
75. Эрдынеева С.А., Ширеторова В.Г., Раднаева Л.Д. Компонентный состав эфирных масел древесной зелени *Abiessibirica* и *Pinussylvestris*, произрастающих в Республике Бурятия // Вестник БГУ. Медицина и фармация. 2019. Вып. 3. С. 20–28. DOI: 10.18101/2306-1995-2019-3-20-28
76. Эрдынеева С.А., Ширеторова В.Г., Раднаева Л.Д. Сравнительное исследование компонентного состава эфирного масла почек и микростробилов *Pinus sylvestris* L. // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2022. № 1. С. 3–9. DOI: 10.29296/25877313-2022-01-01
77. Суменкова А.М., Гуляев Д.К., Белоногова В.Д., Мащенко П.С. Исследование состава эфирного масла древесной зелени сосны обыкновенной // Фармация. 2021. Т. 70. № 3. С. 31–35. DOI: 10.29296/25419218-2021-03-06
78. Эрдынеева С.А., Ширеторова В.Г., Тараскин В.В., Раднаева Л.Д. Сравнительное исследование компонентного состава эфирных масел хвои *Pinus pumila* (Pall) Regel прибайкальской и якутской популяций // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2020. Т. 23. № 9. С. 19–25. DOI: 10.29296/25877313-2020-09-03
79. Гуляев Д.К., Белоногова В.Д., Коротков И.В., Мащенко П.С. Состав эфирного масла древесной зелени и шишек ели обыкновенной, произрастающей в Пермском крае // Фармация. 2015. № 6. С. 14–16.
80. Гуляев Д.К., Белоногова В.Д., Мащенко П.С., Коротков И.В. Исследование эфирного масла корней ели обыкновенной (*Picea abie* (L.) H. Karst) семейства - Pinaceae // Фармация и фармакология. 2017. Т. 5. № 6. С. 520–531. DOI: 10.19163/2307-9266-2017-5-6-520-531
81. Кравченко А.А. Продукты окислительных превращений природных терпеноидов: получение и применение в направленном синтезе: дис ... канд. хим. наук. Уфа, 2020. 148 с.
82. Преч Э., Бюльманн Ф., Аффольтер К. Определение строения органических соединений. Таблицы спектральных данных. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2006. 440 с.
83. Тарасевич Б.Н. ИК спектры основных классов органических соединений. Справочные материалы. М.: МГУ, 2012. 55 с.
84. Кислицын А.Н., Клабукова И.Н., Трофимов А.Н. О химизме жидкофазного окисления α -пинена кислородом воздуха // Химия растительного сырья. 2004. № 3. С. 109–116.
85. Сосновская А.А., Флейшер В.Л. Идентификация кристаллического продукта жидкофазного окисления α -пинена кислородом воздуха в присутствии стеарата кобальта (II) // Известия вузов. Лесной журнал. 2021. № 4. С. 173–180. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-4-173-180
86. Liu P., Liu X., Saburi T., Kubota S., Huang P., Wada Y. Thermal stability and oxidation characteristics of α -pinene, β -pinene and α -pinene/ β -pinene mixture. *RSC Adv.* 2021, V. 33, Is. 11, pp. 20529–20540. DOI: 10.1039/d1ra02235k
87. Neuenschwander U., Meier E., Hermans I. Peculiarities of β -pinene autoxidation. *Chem Sus Chem.* 2011, V. 11, Is. 4, pp. 1613–1621. DOI: 10.1002/cssc.201100266
88. Zrira S., Ghanmi M. Chemical composition and antibacterial activity of the essential of *Cedrus atlantica* (Cedarwood oil). *J Essent Oil Bear Plants.* 2016, Is. 19, pp. 1267–1272. DOI: 10.37349/eds.2025.1008131
89. Belkacem N., Khetta B., Hudaib M., Bustanji Y., Abu-Irmaileh B., Amrine C.S.M. Antioxidant, antibacterial, and cytotoxic activities of *Cedrus atlantica* organic extracts and essential oil. *Eur J Integr. Med.* 2021, Is. 42, article 101292. DOI: 10.1016/j.eujim.2021.101292
90. Rhafouri R., Satrani B., Zair T., Ghanmi M., Bou-Idra M. et al. Chemical composition of the cedrus *Atlantica* (Endl.) manetti ex carriere seeds essential oil in function of their germination stages. *International Journal of Recent Advances in Multidisciplinary Research.* 2015, V. 2, Is. 12, pp. 0993–0998
91. Abdoul-Latif F.M., Ayoub A., Khadija O., Nabila B., Jalludin M., Tarik A. Effect of atlas cedar essential oil against pathogenic medical bacterial strains – in vit carriere seeds essential RO test. *PhOL.* 2021, V. 3, pp. 857–864.
92. Kačániová M., Galovičová L., Valková V., Ďuranová H., Štefániková J., Čmíková N. et al. Chemical composition, antioxidant, in vitro and in situ antimicrobial, antibiofilm, and anti-insect activity of cedar *atlantica* essential oil. *Plants (Basel).* 2022, V. 11, Is. 3, article 358. DOI: 10.3390/plants10102185
93. Chaudhary A., Sharma P., Nadda G., Tewary D.K., Singh B. Chemical composition and larvicidal activities of the Himalayan cedar, *Cedrus deodara* essential oil and its fractions against the diamondback moth, *Plutella xylostella*. *J Insect Sci.* 2011, Is. 11, article 15701. DOI: 10.1673/031.011.15701
94. Bisht A., Jain S., Misra A., Dwivedi J., Paliwal S., Sharma S. *Cedrus deodara* (Roxb. ex D. Don) G. Don: A review of traditional use, phytochemical composition and pharmacology. *Review J Ethnopharmacol.* 2021, V. 279, article 114361. DOI: 10.1016/j.jep.2021.114361

95. Kumar S., Kumar A., Kumar R. Himalayan (Himachal region) cedar wood (*Cedrus deodara*: Pinaceae) essential oil, its processing, ingredients and uses: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 2019, V. 8, Is. 1, pp. 2228–2238.
96. Марчук Н.Ю., Палий А.Е., Ежов В.Н., Виноградов Б.А. Характеристика эфирных масел, выделенных из хвои и шишек различных представителей семейства кипарисовых // Физиология и биохимия культурных растений. 2011. Т. 43. № 5. С. 440–445.
97. Марчук Н.Ю., Палий А.Е. Биологически активные вещества кипариса гималайского // Бюллетень ГНБС. 2014. Вып. 114. С. 25–31.
98. Фицев И.М., Никитин Е.Н., Рахмаева А.М., Теренжеев Д.А., Сахно Т.М. Химический состав эфирных масел *Cupressus sempervirens* L. и *Thuja occidentalis* L. и их активность в отношении фитопатогенных грибов // Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки. 2022. Т. 164. № 3. С. 392–407. DOI: 10.26907/2542-064X.2022.3.392-407
99. Шутова А.Г., Спиридович Е.В., Гаранович И.М., Сенькевич Г.Г., Курченко В.П. Состав эфирных масел представителей рода *Abies* Mill., интродуцированных в центральном ботаническом саду НАН Беларуси // Труды БГУ. 2008. Т. 3. № 1. С. 114–127
100. Гуляев Д.К., Мащенко П.С., Бояришинов В.Д., Белоногова В.Д., Петров Р.С. Исследование состава эфирного масла пихты сибирской шишек, острой токсичности и антирадикальной активности их водного извлечения // Медицина. 2023. № 3. С. 54–65. DOI: 10.29234/2308-9113-2023-11-3-54-65
101. Ефремов Е.А., Ефремов А.А. Компонентный состав и физико-химические характеристики эфирного масла весенней лапки пихты сибирской // Химия растительного сырья. 2013. № 4. С. 71–75. DOI: 10.14258/jcrpm.1304071
102. Красных Е.А., Мозуль В.И., Доля В.С. Исследование химического состава туи западной // Запорожский медицинский журнал. 2012. № 3. С. 83–86.
103. Плугатарь Ю.В., Шевчук О.М., Феськов С.А., Дмитриев Л.Б. и др. Компонентный состав эфирного масла *Thuja plicata* Donn ex D. Don, произрастающей на Южном берегу Крыма и Черноморском побережье Кавказа // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2019. Т. 22. № 2. С. 16–23. DOI: 10.29296/25877313-2019-02-03
104. Шутова А.Г., Спиридович Е.В., Гаранович И.М., Невероз А.С., Ризевский С.В. и др. Состав эфирных масел некоторых представителей рода *Thuja*, интродуцированных в центральном ботаническом саду НАН Беларуси // Труды БГУ. 2009. Т. 4. № 2. С. 237–242.
105. Tsiri D., Graikou K., Poblocka-Olech L., Krauze-Baranowska M., Spyropoulos C., Chnou I. Chemosystematic value of the essential oil composition of *Thuja* species cultivated in Poland-antimicrobial activity. *Molecules*. 2009, Is. 14, pp. 4707–4715. DOI: 10.3390/molecules14114707
106. Корниенко И.В., Новиков О.О., Писарев Д.И., Малютин А.Ю. Сравнительный химический анализ эфирного масла шишкоягод *Juniperus communis* L. из разных регионов Российской Федерации // Научные результаты биомедицинских исследований. 2015. № 3. С. 80–88. DOI: 10.18413/2313-8955-2015-1-3-80-88
107. Уваровская Д.К. Эфирные масла дальневосточных видов рода *Juniperus* L. (содержание, состав, использование): автореф. дис ... канд. биол. наук. Владивосток, 2008, 23 с.
108. Матвеев Е.В., Величко Н.А., Аёшина Е.Н., Литовка Ю.А., Боер И.В. Химический состав эфирных масел древесной зелени *Juniperus sibirica* Burgsd и их антибиотическая активность // Хвойные бореальной зоны. 2015. Т. 33. № 5–6. С. 301–304.
109. Ламоткин С.А., Попина О.А., Хоменчук А.В. Компонентный состав эфирного масла из хвои *Juniperus communis* (Cupressaceae) в Республике Беларусь // Растительные ресурсы. 2012. Т. 48. № 4. С. 531–537.
110. Иоффе Б.В. Рефрактометрические методы химии. Ленинград: Химия, 1983. 352 с.

References

1. Soldatchenko S.S., Nikolaevsky V.V., Kirolenko E.S., Gladun M.I., Kashchenko G.F., Nebrat S.N., Dykhova T.V. Essential oils. The oldest remedy. Simferopol: Crimean Republican Research Institute n.a. I.M. Sechenov Publ., 1995, 160 p. (In Russian)
2. Sellar V. Encyclopedia of Essential Oils. Moscow, Fair-Press Publ., 2005, 400 p. (In Russian)
3. Tkachenko K.K. Essential oil plants and essential oils: progress and perspectives, modern tendencies of research and application. *Bulletin of Udmurt University. Series "Biology and Earth Sciences"*, 2011, no. 1, pp. 88–100 (In Russian)
4. Pashtetsky V.S., Nevkrytaya N.V. Use of essential oils in medicine. aromatherapy, veterinary and crop production (Review). *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2018, V. 13, no. 1, pp. 16–38. (In Russian)
5. Pezantes-Orellana C., Bermúdez F.G., De la Cruz C.M., Montalvo J.L., Orellana-Manzano A. Essential oils: a systematic review on revolutionizing health, nutrition, and omics for optimal well-being. *Front. Med. Sec. Translational Medicine*. 2024, Is. 11: 1337785. DOI: 10.3389/fmed.2024.1337785
6. 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

7. Voitkevich S.A. *Perfume and its secrets*. Moscow, Food Industry Publ., 2003, 72 p. (In Russian)
8. Valeev K. V., Ziatdinova D. F., Safin R. G. Review of research in the field of extraction of biologically active substances from coniferous wood species. *Systems. Methods. Technologies*. 2024, no. 4, pp. 159–164. DOI: 10.18324/2077-5415-2024-4-159-164. (In Russian)
9. Hong E.J., Na K.J., Choi I.G., Choi K.C., Jeung E.B. Antibacterial and antifungal effects of essential oils from coniferous trees. *Biol. Pharm. Bull.* 2004, V. 27, Is. 6, pp. 863–866. DOI: 10.1248/bpb.27.863
10. Lamotkin S.A., Akhramovich T.I., Sakovich A.V., Budkovskaya D.A. Study of composition and antimicrobial activity of essential oils of a series of coniferous trees. *Proceedings of BSTU, Is. 2, Chemical Engineering, Biotechnologies, Geoecology*. 2021, no. 2, pp. 94–99 (In Russian)
11. Gushcha S., Nasibillin B., Strus O., Bakholdina E., Muratov V., Nikolenko S. et. al. Comprehensive toxic-biological assessment of coniferous extract. *Pharmacologyonline*. 2021, no. 3, pp. 1442–1453 (In Russian)
12. Crozier A., Clifford M., Ashihara H. (Eds.) *Plant secondary metabolites*. Occurrence, structure and role in the human diet. Blackwell Publishing Ltd, Oxford. 2006, 372 p. DOI: 10.1002/ANIE.200685491
13. 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
14. Mohamed A.A., Alotaibi B.M. Essential oils of some medicinal plants and their biological activities: a mini review. *Journal of Umm Al-Qura University for Applied Sciences*. 2022, V. 9, Is. 1. pp. 40–49. DOI: 10.1007/s43994-022-00018-1
15. Parekh S.S., Parmar G.R., Kanojiya D., Baile S.B., Trivedi R., Bhatt F. Unlocking the therapeutic potential of terpenoids: a roadmap for future medicine. *Pharmacogn. Res*. 2024, Is. 16. pp. 698–705. DOI: 10. 5536/pres.16.4.81
16. Masyita A., Mustika S.R., DwiAstuti A., Yasir B. et al. Terpenes and terpenoids as main bioactive compounds of essential oils, their roles in human health and potential application as natural food preservatives. *Food Chem X*. 2022, Is. 13, article 100217. DOI: 10.1016/j.fochx.2022.100217
17. Fabio S., Licetti E., Alberghini G. et al. Antimicrobial effect of essential oils and terpenes coupled with supercritical carbon dioxide for chicken meat preservation. *LWT*. 2024, Is. 215, article 117270. DOI: 10.1016/j.lwt.2024.1172270
18. Fan M., Yuan S., Li L., Zheng J., Zhao D., Wang C., et al. Application of terpenoid compounds in food and pharmaceutical products. *Fermentation*. 2023, V. 9, Is. 2, article 119. DOI: 10.3390/fermentation9020119
19. Roba K. The role of terpene (secondary metabolite). *Nat Prod Chem Res*. 2021, V. 9, Is. 8, pp. 1–11.
20. Gorbyleva E.L., Borovsky G.B. Growth and stability biostimulators for plants containing terpenoids and other biologically-active compounds. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya*. 2018, V. 8, no. 4, pp. 32–41. DOI: 10.21285/2227-2925-2018-8-4-32-41. (In Russian)
21. Knyazeva T.V. Plant growth regulators in the Krasnodar territory. Krasnodar, EDVI Publ., 2013, 128 p. (In Russian)
22. Ninkuu V., Zhang L., Yan J., Fu Z., Yang T., Zeng H. Biochemistry of terpenes and recent advances in plant protection. *Int. J. Mol. Sci*. 2021, V. 22, Is. 11, article 5710. DOI: 10.3390/ijms22115710
23. Herrera J.M., Zunino M.R., Dambolena J.S., Pizzolitto R.P., et al. Terpene ketones as natural insecticides against *Sitophilus zeamais*. *Industrial Crops and Products*. 2015, V. 70, pp. 435–442. DOI: 10.1016/j.indcrop.2015.03.074
24. Li Y., Feng Y., Wang X., Cui J., Deng X., Zhang X. Adaptation of pine wood nematode *Bursaphelenchus xylophilus* to β -pinene stress. *BMC Genomics*. 2020, V. 21, Is. 1, article 478. DOI: 10.1186/s12864-020-06876-5
25. Vickers C.E., Gershenzon J., Lerdau M.T., Loreto F. A unified mechanism of action for volatile isoprenoids in plant abiotic stress. *Nat. Chem. Biol*. 2009, V. 5, Is. 5, pp. 283–291. DOI: 10.1038/nchembio.158
26. Lewinsohn E., Gijzen M., Croteau R. Defense mechanisms of conifers : differences in constitutive and wound-induced monoterpene biosynthesis among species. *Plant Physiol*. 1991, V. 96, Is. 1, pp. 44–49. DOI: 10.1104/pp.96.1.44
27. Kolesnikova R.D., Tagil'tsev Yu.G. Features of the chemical composition and physical and chemical characteristics of coniferous essential oils from different countries of the world. *Forest Biological Substances. Collection of Works*. Khabarovsk. 2001, p. 202–207. (In Russian)
28. Gerling N.V., Punegov V.V., I.V. Gruzdev I.V. Component composition of the essential oil of the common juniper (*Juniperus communis* L.) under the canopy of spruce forest in the European northeast of Russia. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*. 2016, no. 2, pp. 89–96. (In Russian)
29. Gerling N.V., Gruzdev I.V., S.Tarasov S.I. Qualitative and quantitative composition of essential oil of seeds *Abies sibirica* Ledeb. and *Pinus sylvestris* L. in the Komi Republic. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2024, no. 4, pp. 297–304. DOI: 10.14258/jcprm.20240414809. (In Russian)
30. Solovyova E.S., Adamovich T.A. Composition and properties of essential oil of Siberian fir *Abies sibirica* LDB, growing in different areas of the Kirov region. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*. 2020, no. 3, pp. 291–297. DOI: 10.14258/jcprm.2020037398 (In Russian)
31. Rebko S.V., Melnik P.G., Lamotkin S.A., Tupik P.V., Poplavskaya L.F., Nosnikov V.V. Content analysis of essential oil main components in the needles of various provenances and subspecies of Scots pine. *Resources and Technology*. 2021, V. 18, no. 3, pp. 17–36. DOI: 10.15393/j2.art.2021.5783. (In Russian)

32. Gerling N.V., Tarasov S.I., Punegov V.V., Gruzdev I.V. Annual variation in the yield of needle essential oil of *Abies Sibirica* from the middle taiga subzone of Komi Republic. *Rastitelnye Resursy*. 2019, V. 55, no. 2, pp. 268–278. DOI: 10.1134/S0033994619020043. (In Russian)
33. Lamotkin S.A., Skakovskiy E.D., Mekhanikova E.G., Gil' E.V., Romanyuk E.V. Seasonal dynamics terpene hydrocarbons of scots pine essential oil (*Pinus sylvestris* L. *Proceedings of BSTU*. 2019, Series 2, no. 1, pp. 17–24. (In Russian)
34. Gulyaev D.K., Belonogova V.D., Mashchenko P.S. Seasonal variability of the component composition of the essential oil of the woody greens of spruce *Picea abietis* (pinaceae). *Fundamental Research*. 2015, no. 7 (part 1), pp. 14–19. (In Russian)
35. Lamotkin S.A., Gil E.V., Romanyuk L.I., Skakovsky E.D. Seasonal dynamics of terpenoids in essential oil of urban grown *Picea glauca*. *Rastitelnye Resursy*. 2019, V. 55, no. 2, pp. 259–267. DOI: 10.1134/S0033994619020055. (In Russian)
36. Ushanov S.V., Stepen R.V., Ushanova V.M. Age-specific dynamics of the oil composition in the woody greenery of *Abies sibirica*. Theoretical aspects of evaluation. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*. 2017, no. 1, pp. 129–136. DOI: 10.14258/jcprm.2017011448. (In Russian)
37. Safin R.G., Valeev K.V., Timerbaev N.F., Petrov V.I., Gilfanov K.Kh. Study of essential oils extraction from pine needles and bark. *Forestry Bulletin*. 2025, V. 29, no. 4, pp. 126–138. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-4-126-138. (In Russian)
38. Knyazeva S. G. Sexual variability of common juniper (*Juniperus communis* L.). *Russian Journal of Forest Science*. 2004, no. 6, pp. 73–75. (In Russian)
39. Samsonova N.A., Gusakova M.A., Bogolitsyn K.G., Selivanova N.V. Componential composition and antibacterial activity of essential oil of wood greenery of *Juniperus communis* l. in the Subarctic region of Russia. *Siberian Journal of Forest Science*. 2020, no. 2, pp. 31–39. DOI: 10.15372/SJFS20200204. (In Russian)
40. Kolobanov K. A. Integrated use of forest products. Essential oils. *Uchenye zametki TOGU*. 2014, V. 5, no. 4, pp. 1100–1108. (In Russian)
41. Safina A.V., Timerbaev N.F., Ziatdinova D.F., Arslanova G.R. Extraction of valuable components from logging waste. *Lesnoy Zhurnal*. 2018, no. 1, pp. 109–119. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.109. (In Russian)
42. Osmolovskaya N.A. The possibility of utilization of logging waste of Siberian cedar. *Candidate's thesis*. Krasnoyarsk. 2002, 163 p. (In Russian)
43. Miller A.Ya. Composition and biological activity of essential oils of pine stumps and needles. *Extended abstract of candidate's thesis*. Jelgava, 1973. 36 p. (In Russian)
44. Karavaev S.V. Forestry aspects of the use of logging waste in spruce-fir forests of Primorsky Krai. *Candidate's thesis*. Khabarovsk. 2009, 147 p. (In Russian)
45. Geles I.S. Wood raw materials as a strategic basis and reserve of civilization. Petrozavodsk, Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences Publ., 2007, 499 p. (In Russian)
46. Muratova K.V., Solovyov V.V. Identification of the main classes of terpene compounds in the essential oil of coniferous plants. *Journal of Biological Sciences and Agriculture*. 2025, V. 1, no. 5, pp. 214–222. DOI: 10.63490/3034-6797-2025-01-05-214-222. (In Russian)
47. Shaderkina V.A., Shaderkin I.A. Terpenes and their application in clinical practice. *Ehksperimental'naya i klinicheskaya urologiya*. 2019, no. 1, pp. 77–80. DOI: 10.29188/2222-8543-2019-11-1-77-80. (In Russian)
48. Plemenkov V.V., Tevs O.A. Medical and biological properties and prospects terpenoids (Isoprenoids). *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*. 2014, no. 4, pp. 5–20. DOI: 10.14258/jcprm.201404225. (In Russian)
49. Khanam Sh., Mishra P., Faruqui T., Alam P., Albalawi Th. et al. Plant-based secondary metabolites as natural remedies: A comprehensive review on terpenes and their therapeutic applications. *Front Pharmacol Sec Ethnopharmacology*. 2025, V. 16, article 1587215. DOI: 10.1104/pp.96.1.44
50. Yang W., Chen X., Li Y., Guo S., Wang Z., Yu X. Advances in pharmacological activities of terpenoids. *Nat Prod Commun*. 2020, V. 15, Is. 3, article 1934578X20903555. DOI: 10.1177/1934578X20903555
51. Sieniawska E., Swatko-Ossor M., Sawicki R., Skalicka-Wozniak K., Ginalska G. Natural terpenes influence the activity of antibiotics against isolated mycobacterium tuberculosis. *Med Princ Pract*. 2017, V. 26, Is. 2, pp. 108–112. DOI: 10.1159/000454680
52. Sivkov A.V., Cherepanova E.V., Shaderkina V.A. The use of herbal ingrediends on the basis of terpenes in the treatment of urolithiasis. *Experimental and Clinical Urology*. 2011, no. 1, pp. 69–72. (In Russian)
53. Lee C.B., Ha U.S., Lee S.J., Kim S.W., Cho Y.H. Preliminary experience with a terpene mixture versus ibuprofen for treatment of category III chronic prostatitis/chronic pelvic pain syndrome. *World J Urol*. 2006, V. 24, Is. 1, pp. 55–60. DOI: 10.1007/s00345-005-0039-x
54. Yang J., Zhong C., Yu J. Natural monoterpenes as potential therapeutic agents against atherosclerosis. *Int J Mol Sci*. 2023, V. 24, Is. 3, article 2429. DOI: 10.3390/ijms24032429
55. Roy S., Ghosh A., Majie A., Karmakar V., Das S., Dinda S. C., et al. Terpenoids as potential phytoconstituent in the treatment of diabetes: from preclinical to clinical advancement. *Phytomedicine*. 2024, V. 129, article 155638. DOI: 10.1016/j.phymed.2024.155638

56. Bhuia M.S., Chowdhury R., Afroz M., Akbor M.S., Al Hasan M.S., Ferdous J., et al. Therapeutic efficacy studies on the monoterpene hinokitiol in the treatment of different types of cancer. *Chem Biodivers.* 2025, V. 22, Is. 5, article e202401904. DOI: 10.1002/cbdv.202401904
57. Gonçalves S.D. Cedarwood essential oil (*Cedrus* spp.): a forgotten pharmacological resource with emerging therapeutic potential. *Explor Drug Sci.* 2025, Is. 3, article 1008131. DOI: 10.37349/eds.2025.1008131
58. Brock T.D. *Robert Koch: A life in medicine and bacteriology*. Berlin: Springer. 1988, 364 p.
59. Lu X., Tang K., Li P. Plant metabolic engineering strategies for the production of pharmaceutical terpenoids. *Front Plant Sci.* 2016, V. 7, article 01647. DOI: 10.3389/fpls.2016.01647
60. Korik E.O. Electronic educational and methodological complex for the academic discipline metabolic engineering. Minsk, BSU Publ., 2016, 66 p. (In Russian)
61. Taratynova M.O. Metabolic engineering of yeast *Yarrowia lipolytica*, aimed at developing the synthesis of terpene compounds. *Expended abstract of candidate's thesis*. Moscow. 2024, 24 p. (In Russian)
62. Makhasen D.S. Regulation of JAZ family genes by RNA interference as a tool for activating secondary metabolism in plant cell cultures. *Candidate's thesis*. Vladivostok, 2022, 142 p. (In Russian)
63. Zhang C., Hong K. Production of terpenoids by synthetic biology approaches. *Front Bioeng Biotechnol.* 2020, V. 8, article 347. DOI: 10.3389/fbioe.2020.00347
64. Si Y., Li S., Chen C. Biotechnological production of terpenoids using cell factories. *Front Pharmacol.* 2025, V. 16, article 1621406. DOI: 10.3389/fphar.2025.1621406
65. Basallo O., Perez L., Lucido A., Sorribas A. et al. Changing biosynthesis of terpene precursors in rice through synthetic biology. *Front Plant Sci.* 2023, V. 14, article 1133299. DOI: 10.3389/fpls.2023.1133299
66. Wilson H.W. The infrared and Raman spectra of α - and β -pinenes. *Appl Spectrosc.* 1976, V. 30, Is. 2, pp. 209–212.
67. Hall D.S., Lockwood D.J., Poirier S., Bock C., MacDougall B.R. Raman and infrared spectroscopy of α and β phases of thin nickel hydroxide films electrochemically formed on nickel. *J Phys Chem A.* 2012, V. 116, Is. 25, pp. 6771–6784. DOI: 10.1021/jp303546r
68. Skakovsky E.D., Tychinskaya L.Yu., Gaidukevich O.A., Lamotkin S.A., et al. NMR analysis of the composition of the spruce needles essential oils, depending on the air pollution of various district in Minsk. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya.* 2013, no. 3, pp. 121–128. DOI: 10.14258/jcprm.1303121. (In Russian)
69. Lamotkin S.A., Skakovsky E.D., Vladykina D.S., Samoryadov A.V. Spectral and chromatographic analysis of the chemical composition of spruce essential oil under conditions of technogenic pollution of coniferous forests. *Analytics of the Republic of Belarus – 2010*. Collection of Works. Minsk, 2010, p. 86. (In Russian)
70. Khokh A.N., Zvyagintsev V.B. Application of FT-IR spectroscopy to determine the place of growth of the scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Regional Environmental Issues.* 2021, no. 4, pp. 29–34. DOI: 10.24412/1728-323X-2021-4-29-34 (In Russian)
71. 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
72. Efremov A.A., E.G. Strukova E.G., Narchuganov A.N. Chemical composition of essential oil of sprouts from Siberian region. *Journal of Siberian Federal University. Chemistry.* 2009, no. 4, pp. 335–350 (In Russian)
73. Hurshkainen T.V., Terentyev V.I., Skripova N.N., Koroleva A.A., Kuchin A.V. The study of the chemical composition of pine cedar extract. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya.* 2014, no. 1, pp. 171–175. DOI: 10.14258/jcprm.1401171. (In Russian)
74. Fedotov S.V. Essential oil of the siberian cedar pine. *Phytoaromatherapy Center.* 2026 URL: https://real-aroma.ru/Fedotov/cedrus_sybir/cedrus_oil.htm?ysclid=ml4qyo2nme199308191 (Accessed 02.02.2026). (In Russian)
75. Erdyneeva S.A., Shiretorova V.G., Radnaeva L.D. Composition of woody greens essential oils *Abiessibirica* and *Pinussylvestris*, native to the Republic of Buryatia. *BSU bulletin. Medicine and Pharmacy.* 2019, no 3, pp. 20–28. DOI: 10.18101/2306-1995-2019-3-20-28. (In Russian)
76. Erdyneeva S.A., Shiretorova V.G., Radnaeva L.D. Comparative study of the essential oil composition of pine buds and microstrobils (*Pinus sylvestris* L.). *Problems of Biological, Medical and Pharmaceutical Chemistry.* 2022, no. 1, pp. 3–9. DOI: 10.29296/25877313-2022-01-01. (In Russian)
77. Sumenkova A.M., Gulyaev D.K., Belonogova V.D., Mashchenko P.S. An investigation of the composition of essential oil in the woody greenery of scotch pine (*Pinus sylvestris*). *Pharmacy.* 2021, V. 70, no. 3, pp. 31–35. DOI: 10.29296/25419218-2021-03-06. (In Russian)
78. Erdyneeva S.A., Shiretorova V.G., Taraskin V.V., Radnaeva L.D. Comparative study of *Pinus pumila* (Pall.) Regel needles essential oils from Baikal and Yakut populations. *Problems of Biological, Medical and Pharmaceutical Chemistry.* 2020, V. 23, no. 9, pp. 19–25. DOI: 10.29296/25877313-2020-09-03. (In Russian)
79. Gulyaev D.K., Belonogova V.D., Korotkov I.V., Mashchenko P.S. The composition of essential oil of the arboreal greenery and strobiles of whitewood (*Picea abies* (L.) Karst) growing in the Perm territory. *Pharmacy.* 2015, no. 6, pp. 14–16. (In Russian)

80. Gulyaev D.K., Belonogova V.D., Mashchenko P.S., Korotkov I.V. Investigation of the essential oil of european spruce roots (Lat. *Picea abies* H. Karst, Pinaceae family). *Pharmacy and Pharmacology*. 2017, V. 5, no. 6, pp. 520–531. DOI: 10.19163/2307-9266-2017-5-6-520-531. (In Russian)
81. Kravchenko A.A. Products of oxidative transformations of natural terpenoids: Preparation and application in targeted synthesis. Candidate's thesis. Ufa, 2020. 148 p. (In Russian)
82. Prech E., Bulmann F., Affolter K. Determination of the structure of organic compounds. Tables of spectral data. Moscow, Binom. Laboratory of Knowledge Publ., 2006, 440 p. (In Russian)
83. Tarasevich B.N. IR Spectra of the main classes of organic compounds. Reference materials. Moscow, Moscow State University Publ., 2012. 55 p. (In Russian)
84. Kislitsyn A.N., Klabukova I.N., Trofimov A.N. On the chemistry of liquid-phase oxidation of α -pinene with air oxygen. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*. 2004, no. 3, pp. 109–116. (In Russian)
85. Sosnovskaya A.A., Fleischer V.L. Identification of the crystalline product of liquid-phase oxidation of α -pinene with air oxygen in the presence of cobalt (II) stearate. *Lesnoy Zhurnal*. 2021, no. 4, pp. 173–180. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-4-173-180 (In Russian)
86. Liu P., Liu X., Saburi T., Kubota S., Huang P., Wada Y. Thermal stability and oxidation characteristics of α -pinene, β -pinene and α -pinene/ β -pinene mixture. *RSC Adv*. 2021, V. 33, Is. 11, pp. 20529–20540. DOI: 10.1039/d1ra02235k
87. Neuenschwander U., Meier E., Hermans I. Peculiarities of β -pinene autoxidation. *Chem Sus Chem*. 2011, V. 11, Is. 4, pp. 1613–1621. DOI: 10.1002/cssc.201100266
88. Zrira S., Ghanmi M. Chemical composition and antibacterial activity of the essential of *Cedrus atlantica* (Cedarwood oil). *J Essent Oil Bear Plants*. 2016, Is. 19, pp. 1267–1272. DOI: 10.37349/eds.2025.1008131
89. Belkacem N., Khetta B., Hudaib M., Bustanji Y., Abu-Irmaileh B., Amrine C.S.M. Antioxidant, antibacterial, and cytotoxic activities of *Cedrus atlantica* organic extracts and essential oil. *Eur J Integr. Med*. 2021, Is. 42, article 101292. DOI: 10.1016/j.eujim.2021.101292
90. Rhafouri R., Satrani B., Zair T., Ghanmi M., Bou-Idra M. et al. Chemical composition of the cedrus Atlantica (Endl.) manetti ex carriere seeds essential oil in function of their germination stages. *International Journal of Recent Advances in Multidisciplinary Research*. 2015, V. 2, Is. 12, pp. 0993–0998
91. Abdoul-Latif F.M., Ayoub A., Khadija O., Nabila B., Jalludin M., Tarik A. Effect of atlas cedar essential oil against pathogenic medical bacterial strains – in vit carriere seeds essential RO test. *PhOL*. 2021, V. 3, pp. 857–864.
92. Kačániová M., Galovičová L., Valková V., Ďuranová H., Štэфániková J., Čmíková N. et al. Chemical composition, antioxidant, in vitro and in situ antimicrobial, antibiofilm, and anti-insect activity of cedar atlantica essential oil. *Plants (Basel)*. 2022, V. 11, Is. 3, article 358. DOI: 10.3390/plants10102185
93. Chaudhary A., Sharma P., Nadda G., Tewary D.K., Singh B. Chemical composition and larvicidal activities of the Himalayan cedar, *Cedrus deodara* essential oil and its fractions against the diamondback moth, *Plutella xylostella*. *J Insect Sci*. 2011, Is. 11, article 15701. DOI: 10.1673/031.011.15701
94. Bisht A., Jain S., Misra A., Dwivedi J., Paliwal S., Sharma S. *Cedrus deodara* (Roxb. ex D. Don) G.Don: A review of traditional use, phytochemical composition and pharmacology. *Review J Ethnopharmacol*. 2021, V. 279, article 114361. DOI: 10.1016/j.jep.2021.114361
95. Kumar S., Kumar A., Kumar R. Himalayan (Himachal region) cedar wood (*Cedrus deodara*: Pinaceae) essential oil, its processing, ingredients and uses: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 2019, V. 8, Is. 1, pp. 2228–2238.
96. Marchuk N.Yu., Paliy A.E., Ezhov V.N., Vinogradov B.A. Description of essential oils, abstracted from pine-needle and cones of different representatives of cypress family. *Physiol Biochem Cult Plants*. 2011, V. 43, no. 5, pp. 440–445. (In Russian)
97. Marchuk N.Yu., Paliy A.E. The biologically active substances of *Cupressus torulosa* D. Don. *Bull. of the State Nikit. Botan. Gard*. 2014, no. 114, pp. 25–31. (In Russian)
98. Fitsev I.M., Nikitin E.N., Rakhmaeva A.M., Terenzhev D.A., Sakhno T.M., Nasybullina Z.R. Chemical composition of *Cupressus sempervirens* L. and *Thuja occidentalis* L. essential oils and their activity against phytopathogenic fungi. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki*. 2022, V. 164, no. 3, pp. 392–407. DOI: 10.26907/2542-064X.2022.3.392-407. (In Russian)
99. Shutova A.G., Spiridovich E.V., Garanovich I.M., Senkevich G.G., Kurchenko V.P. Essential oils composition of some *Abies* hill species introduced in CBG of the NAS of Belarus. *Proceedings of BSU*. 2008, V. 3, no. 1, pp. 114–127 (In Russian)
100. Gulyaev D.K., Mashchenko P.S., Boyarshinov V.D., Belonogova V.D., Petrov R.S. Study of the composition of the essential oil of Siberian fir cones, acute toxicity and antiradical activity of their aqueous extraction. *Medicina*. 2023, no. 3, pp. 54–65. DOI: 10.29234/2308-9113-2023-11-3-54-65. (In Russian)
101. Efremov E.A., Efremov A.A. Composition and physical-chemical properties of essential oil spring boughs of Siberian fir. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*. 2014, no. 4, pp. 71–75. DOI: 10.14258/jcprm.1304071. (In Russian)
102. Krasnykh E.A., Mozul V.I., Dolya V.S. Research of the chemical composition of western thuja. *Zaporozhye Medical Journal*. 2012, V. 72, no. 3, pp. 83–86. (In Russian)

103. Plugatary Yu.V., Shevchuk O.M., Feskov S.A., Dmitriev L.B., et al. Component of the essential oil of *Thuja plicata* Donn ex D. Don, growing on the southern coast of the Crimea and the Black Sea coast of the Caucasus. *Problems of Biological, Medical, and Pharmaceutical Chemistry*. 2019, V. 22, no. 2, pp. 16–23. DOI: 10.29296/25877313-2019-02-03. (In Russian)
104. Shutova A.G., Spiridovich E.V., Garanovich I.M., Neverov A.S., Rizevsky S.V., et al. Composition of essential oils of some representatives of the genus *Thuja*, introduced in the Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus. *Proceedings BSU*. 2009, V. 4, no. 2, pp. 237–242. (In Russian)
105. Tsiri D., Graikou K., Poblocka-Olech L., Krauze-Baranowska M., Spyropoulos C., Chnou I. Chemosystematic value of the essential oil composition of *Thuja* species cultivated in Poland-antimicrobial activity. *Molecules*. 2009, Is. 14, pp. 4707–4715. DOI: 10.3390/molecules14114707
106. Kornienko I.V., Novikov O.O., Pisarev D.I., Malyutina A.Yu. Comparative analysis of the essential oil chemical composition of *Juniperus communis* L. cone from different regions of the Russian Federation. *Scientific Results of Biomedical Research*. 2015, no. 3, pp. 80–88. DOI: 10.18413/2313-8955-2015-1-3-80-88. (In Russian)
107. Uvarovskaya D.K. Essential oils of the Far Eastern species of the genus *Juniperus* L. (content, composition, and use). *Expended abstract of candidate's thesis*. Vladivostok. 2008, 23 p. (In Russian)
108. Matveenko E.V., Velichko N.A., Ayoshina E.N., Litovka Yu.A., Boer I.V. Chemical composition of essential oils of woody greenery *Juniperus sibirica* Burgsd and their antibiotic activity. *Conifers of the Boreal Area*. 2015, V. 33, no. 5–6, pp. 301–304. (In Russian)
109. Lamotkin S.A., Popina O.A., Khomenchuk A.V. Component composition of essential oil of the needles of *Juniperus communis* (Cupressaceae) from Belarus Republic. *Rastitelnye Resursy*. 2012, V. 48, no. 4, pp. 531–537. (In Russian)
110. Ioffe B.V. Refractometric methods of chemistry. Leningrad, Khimiya Publ., 1983. 352 p. (In Russian).

Информация об авторах

Алла Павловна Нечипоренко – д-р хим. наук, профессор
Ольга Сергеевна Везо – инженер
Вера Евгеньевна Ситникова – канд. хим. наук, доцент
Людмила Валерьевна Плотникова – биофизик, научный сотрудник
Ульяна Юрьевна Нечипоренко – биохимик, ведущий специалист

Information about the authors

Alla P. Nechiporenko, Dr. Sci. (Chem.), Professor
Olga S. Vezo, engineer
Lyudmila V. Plotnikova, biophysicist, researcher
Vera E. Sitnikova, Ph. D. (Chem.), Associate Professor
Ulyana Yu. Nechiporenko, biochemist, leading specialist

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

Статья поступила в редакцию 31.03.2026
Одобрена после рецензирования 01.05.2026
Принята к публикации 04.05.2026

The article was submitted 31.03.2026
Approved after reviewing 01.05.2026
Accepted for publication 04.05.2026