

УДК 544.23.022, 544.478.02

DOI: 10.15372/KhUR2023515

EDN: LVYLLN

Качественный и количественный анализ конденсатов, получаемых при сушке древесины сосны обыкновенной

Е. П. РОМАНЕНКО¹, Т. В. ПУЧКОВА², А. В. ТКАЧЕВ¹¹Новосибирский институт органической химии им. Н. Н. Ворожцова СО РАН,
Новосибирск (Россия)

E-mail: roman@nioch.nsc.ru

²Федеральный исследовательский центр „Фундаментальные основы биотехнологии“ РАН,
Москва (Россия)

Аннотация

Конденсаты, получаемые при сушке древесины, представляют собой разбавленные водные растворы летучих веществ и по свойствам наиболее близки широко известным гидролатам. Анализ состава гидролатов часто проводится с использованием предварительной их экстракции органическими растворителями. Однако при этой процедуре могут теряться некоторые гидрофильные соединения, в результате чего результаты анализа не будут соответствовать нативному составу гидролата. В настоящей работе разработана модифицированная методика ГЖХ-анализа с предподготовкой образца, включающей экстракцию конденсата органическим растворителем, путем использования при анализе внутреннего стандарта гидрофобной природы. Разработанная методика опробована на конденсатах древесины сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* var. *mongolica* Litv.), но может применяться как к конденсатам, получающимся при сушке других древесных материалов и иного растительного материала, так и к гидролатам.

Ключевые слова: конденсаты, гидролаты, *Pinus sylvestris*, количественный анализ, ГЖХ

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы на рынке появился продукт, который представляет собой конденсат испарений, получающихся при сушке древесины в токе теплого воздуха с температурой 40–65 °С [1]. Он представляет собой дистиллированную воду с растворенными в ней летучими веществами, извлекаемыми вместе с водой потоками нагретого воздуха из древесины. Такой конденсат под названием “водная вытяжка” зарегистрирован в Международной номенклатуре косметических ингредиентов (INCI – International Nomenclature of Cosmetic Ingredients) для использования в косметической промышленности. По своему составу и свойствам получаемый при сушке древесины конденсат напоминает так называемые гидролаты (англ. hydrolate), не-

редко именуемые также гидрозолями (англ. hydrosol), цветочной водой (floral water), ароматической водой (aromatic water) или травяной водой (herbal water) [2], которые являются по сути флорентинной водой, остающейся после отстаивания эфирного масла [3] при парово-гидродистилляции растительного сырья [4]. В отличие от обсуждаемых конденсатов, гидролаты представляют собой коллоидные растворы, состоящие из сплошной фазы – дистиллированной воды с растворенными в ней компонентами (кислородсодержащими соединениями), и дисперсной фазы – эмульсии капель эфирного масла. Гидролаты давно перестали рассматриваться исключительно как отходы эфиромасличного производства, и в настоящее время воспринимаются как ценный продукт, широко востребованный в парфюмерно-косметической

промышленности [5–7], а также в пищевом производстве [8, 9] и медицине [10–13].

Поскольку гидролаты производятся преимущественно для использования в качестве косметических продуктов или отдельных ингредиентов последних, на данный момент не существует нормативных документов, строго регламентирующих методы определения их качества, и каждый конкретный производитель сам включает в технические условия (ТУ) тот метод, который почитает нужным. Многие ограничиваются лишь гравиметрическим определением массовой доли содержащегося в гидролате эфирного масла [14]. Это создает широкий простор для фальсификации [15, 16]. Кроме того, некоторые производители умалчивают о наличии в их продукции дополнительных ингредиентов, таких как консерванты или соразработители, которые не нанесут вреда при использовании гидролата в парфюмерно-косметических средствах или бытовой химии, но могут быть небезопасны при приеме внутрь. Сильно меняться от партии к партии может и концентрация гидролата, причем не только в результате умышленного разбавления, но и в силу особенностей самого производственного процесса (качество используемого сырья, общее время дистилляции, скорость прохождения пара через сырье, эффективность системы охлаждения). Все вышесказанное служит указанием на то, что контроль качества данного типа продукции крайне необходим, а методов анализа водных конденсатов в настоящее время не разработано.

Цель данного исследования – разработка методики количественного определения содержания эфирномасличных компонентов в конденсатах сушки древесины и качественного анализа их состава.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Образцы конденсатов

Конденсаты, использованные в работе, были получены в результате конденсации испарений, образующихся при сушке пиломатериалов из сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* var. *mongolica* Litv.), произрастающей на восточном берегу озера Байкал, с использованием установки, описанной в патентной литературе [1]. Сушка одной партии древесины составляла 5–7 сут; один цикл включает сушку последовательно нескольких партий древесины. Отбор конденсата проводился: а) в начале цикла после первой

партии; б) в конце цикла после последней партии; в) в течение всего цикла сушки (конденсат от всех партий собирался в одну емкость и перемешивался). Исследованы следующие образцы:

Образец 1 – пиломатериал: брус, вагонка; период сушки: 18.12.2020 – 30.01.2021 (44 сут); отбор конденсата в конце цикла.

Образец 2 – пиломатериал: брус, вагонка; период сушки: 04.02.2021 – 11.03.2021 (36 сут); отбор конденсата в начале цикла.

Образец 3 – пиломатериал: брус, вагонка; период сушки: 04.02.2021 – 11.03.2021 (36 сут); общий сбор конденсата.

Образец 4 – пиломатериал: брус; период сушки: 17.03.2021 – 24.04.2021 (39 сут); отбор конденсата в начале цикла.

Пробоподготовка

Образец конденсата (100 мл) экстрагировали 2 мл гексанового раствора *изо*-октанола (17.0 мг *изо*-октанола чистотой $\geq 98\%$ в 100 мл гексана) в течение 2 ч. Экстракт отделяли, сушили над Na_2SO_4 и анализировали методом газожидкостной хроматографии (ГЖХ).

Идентификация компонентов

Качественный анализ экстрактов методом хромато-масс-спектрометрии проводили с помощью прибора Hewlett Packard G1081A, состоящего из газового хроматографа HP 5890 серии II и масс-селективного детектора HP MSD 5971. Колонка HP5 (5 % дифенила, 95 % диметилсилоксана), 30 м × 0.25 мм × 0.25 мкм; использовали два режима программирования температуры колонки: режим А – 2 мин при 50 °С, повышение температуры со скоростью 4 °С/мин, 5 мин при 280 °С; режим Б – 2 мин при 50 °С, повышение температуры со скоростью 10 °С/мин, 5 мин при 280 °С. Газ-носитель – гелий, 1 мл/мин. Энергия ионизирующих электронов 70 эВ; температура источника ионов 173 °С; данные собирали со скоростью 1.2 скан/с в массовой области 30–650 а.е.м.

Идентификация компонентов основана на сравнении их масс-спектров и индексов удерживания с соответствующими данными эталонных соединений [4].

Количественный анализ

Количественное определение содержания отдельных компонентов в экстрактах осуществлялось с помощью газового хроматографа

Agilent 7890A (Agilent Technologies), оснащенного пламенно-ионизационным детектором (ПИД). Колонка HP-5MS (Agilent 19091S-433), 30 м × 0.25 мм × 0.25 мкм; режим программирования температуры колонки – 2 мин при 50 °С, повышение температуры со скоростью 4 °С/мин, 10 мин при 240 °С. Газ-носитель – гелий, 1 мл/мин. Введение аликвоты (1 мкл) раствора – с помощью автоматического жидкостного пробоотборника (7693A, Agilent Technologies), ввод с делением потока (1 : 50); температура инжектора – 280 °С. Температура ПИД – 300 °С; расход воздуха и водорода в детекторе – 300 и 30 мл/мин соответственно. Измерения для всех образцов выполнялись в трех повторностях.

Анализ хромато-масс-спектрограмм и хроматограмм выполняли с использованием специализированного программного обеспечения MSD ChemStation E.02.02.1431 (Agilent Technologies).

В качестве внутреннего стандарта для проведения количественного анализа использовали *изо*-октанол. Факторы отклика всех классов соединений, обнаруженных в образцах (жирные спирты и кетоны, монотерпеновые спирты и кетоны, сесквитерпеновые спирты, фенольные соединения), относительно *изо*-октанола были приняты за 1.

Гравиметрическое определение содержания летучих веществ в конденсатах (контроль)

К образцу конденсата (200 мл) добавляли 5 г NaCl, взбалтывали до полного растворения соли и четырежды экстрагировали порциями по 10 мл гексана (интенсивное перемешивание в течение 1 ч с каждой порцией гексана). Объединенный гексановый экстракт сушили над Na₂SO₄, упаривали на ротационном испарителе в вакууме водоструйного насоса при температуре водяной бани 30–35 °С и взвешивали. Результаты приведены в табл. 1.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Методы анализа конденсатов, получаемых при сушке древесины, пока не разработаны. Такие конденсаты по составу и свойствам близки к гидролатам, поэтому при разработке методов их анализа имеет смысл опираться на достижения в анализе гидролатов. Гидролат представляет собой сильно разбавленный водный раствор летучих органических соединений, получаемый при производстве эфирных масел путем

паро- или гидродистилляции растения или любой его части. Состав содержащихся в гидролате летучих соединений в некоторой степени схож с составом соответствующего эфирного масла, за исключением повышенной доли водорастворимых компонентов.

Казалось бы, гидролаты могут быть проанализированы таким же образом, что и эфирные масла, – посредством газовой хроматографии (ГХ) или газовой хроматографии в сочетании с масс-спектрометрией (ГХ-МС), облегчающей процесс идентификации обнаруженных соединений [4]. Однако здесь стоит принять во внимание, что между чистым эфирным маслом и гидролатом есть огромное различие: последний всегда является водным раствором, причем концентрация содержащихся в нем органических летучих компонентов очень мала (обычно от 0.001 до 0.2 %).

Некоторые исследователи практикуют прямой ГХ-анализ гидролатов [14, 17]. Этот метод обладает целым рядом преимуществ. Во-первых, на сегодня он является самым простым из используемых, поскольку исключает необходимость дополнительных процедур при приготовлении образца для анализа. Во-вторых, он требует минимального количества образца, необходимого для проведения анализа. В-третьих, и это значительно существенней, он позволяет получить истинные соотношения между растворенными в воде соединениями, в том числе и сильно гидрофильными, а также облегчает обнаружение добавленных в исходный образец соразтворителей. Не лишен этот метод и недостатков: плохая воспроизводимость результатов [17], возникновение проблем, если гидролат оказывается слишком разбавленным. Однако главная причина редкого использования прямого ГХ-анализа гидролатов химиками связана с плохой совместимостью водных образцов с ГЖХ-колонками.

Ограничения метода прямого газохроматографического анализа гидролатов заставляют исследователей прибегать к предварительному извлечению органических компонентов из водного раствора. При экстракции гидролатов большинство содержащихся в них органических соединений легко извлекаются из водного раствора, поскольку обладают хорошим сродством к органическому растворителю. В отличие от исходного гидролата экстракт можно при необходимости сконцентрировать. Однако и здесь не все так безупречно. Главный недостаток экстракции гидролатов органическим раство-

рителем как метода подготовки образцов для анализа заключается в неизбежной потере части гидрофильных соединений. Последние к тому же являются основными органическими компонентами гидролата, и в результате найденная суммарная концентрация органических соединений в водном растворе окажется заниженной по сравнению с реальной.

Количественное определение содержания компонентов смеси при ее ГЖХ-анализе обычно основано на применении метода внутреннего стандарта, т. е. на сопоставлении на хроматограмме пика каждого компонента смеси с пиком внутреннего стандарта, добавленного в смесь в известном количестве. Основными критериями при выборе внутреннего стандарта являются чистота данного соединения, его химическая нейтральность, отсутствие в анализируемой смеси и неналожение хроматографического пика стандарта на пики компонентов анализируемой смеси. Часто в качестве внутреннего стандарта для

ГЖХ-анализа гидролатов используют один из *n*-алканов, добавляя аликвоту стандарта к готовому экстракту гидролата.

К вышеприведенному списку требований к веществам, которые потенциально могли бы использоваться в качестве внутреннего стандарта, мы добавили бы еще один пункт – структурная близость молекул стандарта и основных компонентов анализируемой смеси. Гидролаты состоят преимущественно из кислородсодержащих монотерпеноидов (в основном спиртов), содержание в них монотерпеновых углеводов крайне низкое из-за плохой растворимости последних в воде. Использование в качестве внутреннего стандарта спирта с молекулярной массой, близкой к массе монотерпенового спирта, позволило бы снизить вклад ошибки, связанной с потерей гидрофильных компонентов гидролата на стадии экстракции. Стандарт при этом должен добавляться не к готовому экстракту, а к исходному гидролату.

ТАБЛИЦА 1

Состав водных конденсатов, образующихся

при сушке древесины сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* var. *mongolica* Litv.)

Название компонента	RI	Содержание органических соединений в образцах конденсатов, полученных в разное время, мг/л			
		Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4
Гексанол-1	865	0.10±0.009	0.25±0.013	0.27±0.014	0.09±0.007
Гептанол-2	891	–	0.06±0.004	0.09±0.008	0.11±0.006
1-Октен-3-ол	979	0.04±0.003	0.05±0.003	0.06±0.005	0.03±0.003
Октанол-3	987	0.03±0.003	0.07±0.004	0.07±0.006	0.04±0.003
Октанол-2	995	–	0.08±0.004	0.15±0.008	0.35±0.014
α -Фенхол	1113	0.20±0.010	0.33±0.010	0.39±0.020	0.14±0.007
Транс-пинокарвеол	1138	0.09±0.007	0.15±0.008	0.21±0.011	0.09±0.007
Цис- β -терпинеол	1144	0.43±0.022	0.58±0.029	0.72±0.036	0.05±0.005
Камфенгидрат	1148	0.11±0.006	0.16±0.008	0.23±0.012	0.03±0.003
Борнеол	1166	0.42±0.021	0.66±0.033	0.69±0.035	0.26±0.013
Терпинен-4-ол	1177	2.65±0.080	4.87±0.146	5.87±0.117	1.22±0.037
<i>n</i> -Цимен-8-ол	1186	0.10±0.005	0.10±0.005	0.13±0.007	0.06±0.005
C ₁₀ H ₁₈ O	1187	0.38±0.019	0.42±0.021	0.49±0.025	0.12±0.006
α -Терпинеол	1191	5.03±0.101	4.99±0.100	5.45±0.109	1.88±0.075
Миртенол	1197	0.08±0.006	0.10±0.005	0.10±0.005	0.06±0.005
Вербенон	1210	0.13±0.007	0.14±0.007	0.19±0.010	0.11±0.006
Транс-карвеол	1219	0.05±0.005	0.07±0.006	0.07±0.006	0.05±0.004
Метилэвгенол	1406	0.79±0.040	0.85±0.043	1.21±0.048	0.48±0.024
Копаборнеол	1605	0.10±0.008	0.06±0.004	0.14±0.007	0.09±0.008
δ -Кадиол	1649	0.19±0.010	0.11±0.006	0.16±0.008	0.14±0.007
Сумма минорных соединений		0.25±0.013	Следы	0.13±0.007	0.20±0.012
Суммарное содержание		11.17±0.37	14.10±0.46	16.82±0.50	5.60±0.26
Гравиметрия (контроль)		13.0±0.7	12.0±0.6	17.5±0.8	9.0±0.5

Примечание. Найденные значения линейных индексов удерживания (RI) определены из хромато-масс-спектрограмм, зарегистрированных в режиме А (см. экспериментальную часть).

Экстракция не дает 100 % извлечения компонентов в органическую фазу, которая в дальнейшем подвергается анализу. Часть вещества остается в водной фазе и “теряется” для анализа. Эта часть тем больше, чем больше гидрофильность компонента. Если в качестве стандарта добавлять перед экстракцией, например, *n*-нонан (распространенный внутренний стандарт при количественном анализе эфирных масел), то из-за различия в коэффициентах распределения *n*-нонана и кислородсодержащих производных терпенов в системе “вода – гексан” доля переходящего в органическую фазу стандарта будет превышать долю менее липофильных терпеноидов. Применение *изо*-октанола в значительной степени нивелирует это различие, поскольку коэффициенты распределения в системе “вода – гексан” для *изо*-октанола и монотерпеновых спиртов и кетонов сопоставимы.

Чтобы проверить справедливость этого предположения, мы провели анализ состава серии конденсатов, полученных при сушке пиломатериалов из сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* var. *mongolica* Litv.), произрастающей на восточном берегу озера Байкал, и количественное определение содержания их компонентов. Качественный анализ выполняли методом ГХ-МС, сопоставляя полные масс-спектры электронного удара и линейные индексы удерживания обнаруженных компонентов (режим А программирования температуры колонки – см. экспериментальную часть) с параметрами летучих веществ, приведенных в [4]. Чтобы удостовериться, что на пики доминирующих компонентов не накладываются малоинтенсивные пики других компонентов, хромато-масс-спектрограммы дополнительно регистрировали в режиме Б. Анализ показал, что основными компонентами исследованных конденсатов являются терпинен-4-ол, α -терпинеол, метилэвгенол, а также ряд других спиртов преимущественно монотерпенового ряда. Типичная хроматограмма экстракта конденсата с указанием основных компонентов представлена на рис. 1, полный перечень обнаруженных органических компонентов приведен в табл. 1.

В качестве стандарта для проведения количественного анализа экстрактов нами был выбран *изо*-октанол, удовлетворяющий всем вышеперечисленным требованиям к внутренним стандартам. Вводился стандарт не в готовую для ГЖХ-анализа смесь, а еще на стадии экстракции. Структурная близость вещества, используемого в качестве стандарта, и компонентов анализируемой смеси позволяет предполо-

жить, что близки будут и их физико-химические свойства, в частности коэффициенты распределения между водной и органической фазами. Следовательно, будет минимизирована ошибка, связанная с неполным извлечением органических компонентов из водной фазы.

Для контроля полноты извлечения органических компонентов из конденсатов мы определили содержание эфирного масла в анализируемых образцах гравиметрическим методом, основанным на многократной экстракции конденсатов увеличенным количеством растворителя с последующим концентрированием экстрактов и взвешиванием. Анализ результатов контрольных экспериментов (см. табл. 1) показал, что суммарная концентрация летучих компонентов в исследуемых конденсатах, найденная с помощью ГЖХ-методики, отличается от определенной с помощью контрольного гравиметрического метода не более чем на 4 мг/л. В целом корреляция между ними неплохая, и можно ожидать, что при применении метода к конденсатам с более высоким содержанием органических компонентов расхождения между результатами, полученными посредством ГЖХ, и контрольными значениями будут меньше.

Все исследованные образцы схожи по составу (см. табл. 1) как в части набора обнаруженных компонентов, так и в части относительного содержания главных компонентов. Различия между образцами 1–3 отражают вариации свойств разных партий пиломатериалов. Образец 4 при схожем с образцами 1–3 химическом составе имеет заметно более низкое суммарное содержание летучих веществ, так как получен при сушке только соснового бруса, а не комбинации бруса и вагонки, как в случае образцов 1–3. При сушке древесины происходит диффузия воды и летучих веществ из глубинных слоев материала на поверхность, причем молекулы воды должны диффундировать значительно быстрее. Летучие вещества содержатся в составе смолы, которая в древесине сосны локализуется в так называемых смоляных ходах – тонких, наполненных смолой каналах. Основная часть летучих веществ попадает в конденсат, скорее всего, не за счет диффузии из глубинных слоев, а за счет испарения из смолы, выступающей на поверхности распила в результате разрушения смоляных ходов. Брус имеет меньшее отношение площади поверхности к объему по сравнению с вагонкой и, следовательно, меньше распилов (повреждений смоляных ходов) на едини-

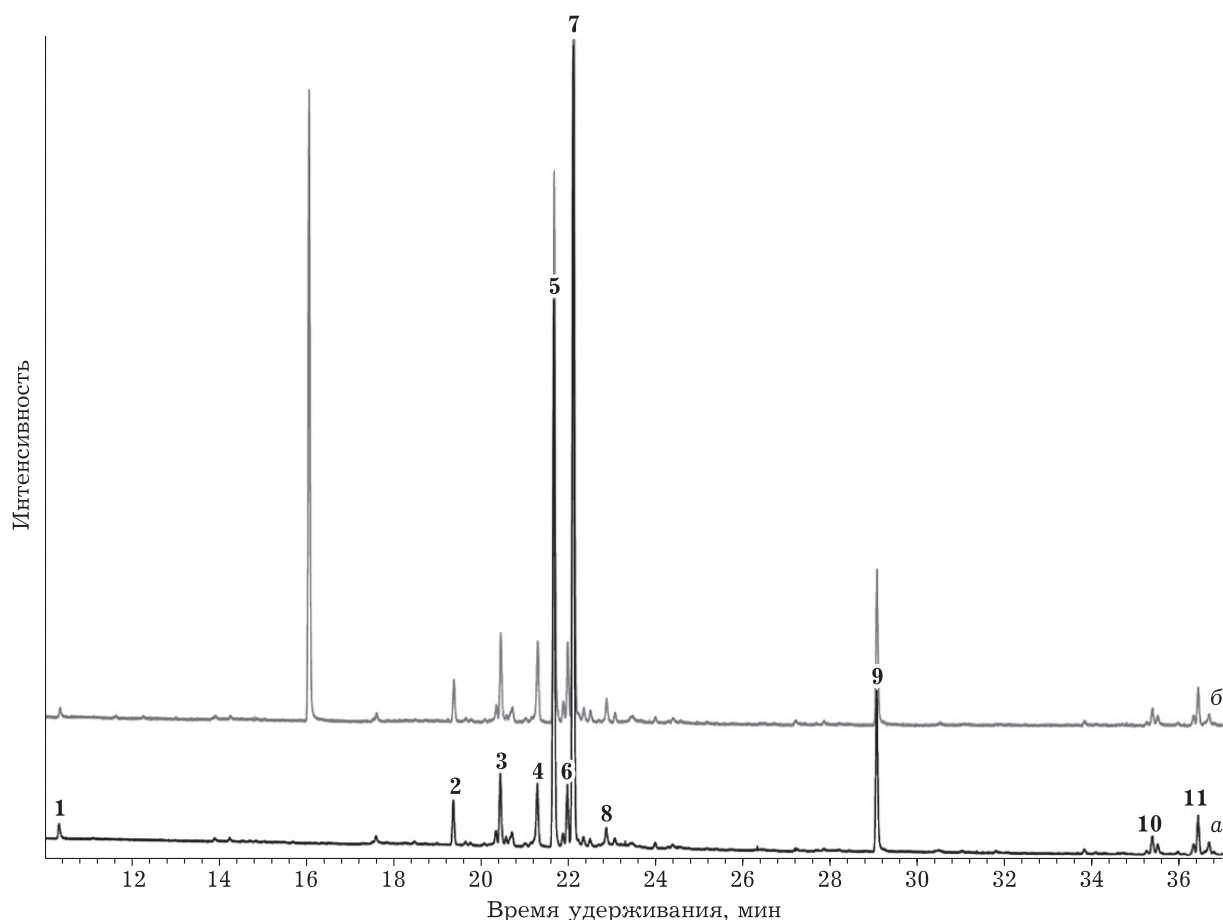


Рис. 1. Типичная хроматограмма экстракта из конденсата, получаемого при сушке древесины *Pinus sylvestris* var. *mongolica* Litv. без добавления стандарта (а) и с добавлением *изо*-октанола в качестве внутреннего стандарта (б). Цифрами обозначены пики следующих компонентов: **1** – гексанол-1, **2** – α -фенхол, **3** – *цис*- β -ретпинеол, **4** – борнеол, **5** – терпинен-4-ол, **6** – не идентифицированный монотерпеновый спирт состава $C_{10}H_{18}O$ с индексом удерживания RI = 1187 [масс-спектр электронного удара, 70 эВ, m/z ($I_{отн}$, %): 154 (1), 139 (8), 136 (18), 121 (16), 93 (100), 81 (30), 67 (18), 59 (62), 43 (20)], **7** – α -терпинеол, **8** – вербенон, **9** – метилэвгенол, **10** – копаборнеол, **11** – δ -кадиол.

цу объема. Таким образом, при сушке бруса в конденсат попадает меньше летучих веществ из смолы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная ГЖХ-методика позволяет определять состав и содержание органических компонентов конденсатов. Использование при проведении количественного анализа умеренно гидрофобного соединения в качестве внутреннего стандарта способствует снижению ошибки определения, связанной с неполным извлечением гидрофобных компонентов гидролатов. Данная методика апробирована на серии конденсатов, полученных при сушке древесины, а полученный состав обнаруженных в конденсатах летучих веществ коррелирует с составом эфирного масла [18]. Все обнаруженные компоненты

конденсатов являются хорошо известными природными соединениями, и большинство из них используются как душистые вещества в парфюмерии, косметике и пищевой индустрии [19]. Многие летучие вещества растений, помимо множества полезных свойств, обладают также и значительной токсичностью в высоких концентрациях [20]. Как видно из данных табл. 1, самое большое содержание летучих компонентов в образцах не превышает нескольких единиц миллиграммов на литр, что значительно ниже токсических концентраций. Так, по данным электронных ресурсов [19, 20], рекомендуемая максимальная концентрация α -фенхола в ароматических композициях составляет 5 мг/кг, а в исследованных нами образцах содержание α -фенхола не превышает 0.4 мг/кг; максимально допустимое содержание борнеола в безалкогольных напитках составляет 1.4 мг/кг, в то

время как в изученных продуктах борнеол содержится в количестве не более 0.7 мг/кг. И наконец для α -терпинеола – основного компонента изученных экстрактов – допускается использование в косметических средствах в концентрации вплоть до 28.5 г/кг, в то время как в конденсатах его содержание ниже почти на четыре порядка и не превышает 5.5 мг/кг.

Приведенная методика может быть применена как к конденсатам, получающимся при сушке других древесных материалов и иного растительного материала, так и к гидролатам, поскольку содержащиеся в них органические компоненты, как правило, схожи по своей химической природе. Однако вопрос обнаружения и определения количества легколетучих компонентов конденсатов, таких, например, как растворители, остается открытым.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Пат. RU 2782764 C1, 2022.
- 2 Tavares C. S., Gameiro J. A., Roseiro L. B., Figueiredo A. C. Hydrolates: A review on their volatiles composition, biological properties and potential uses // *Phytochem. Rev.* 2022. Vol. 21, No. 5. P. 1661–1737.
- 3 Пучкова Т. В., Гуринович Л. В., Тарасов В. Е. Эфирные масла. Химия, технология, анализ, применение. М.: Школа космет. химиков, 2020. 264 с.
- 4 Ткачев А. В. Исследование летучих веществ растений. Новосибирск: Изд.-полиграф. предприятие “Офсет”, 2008. 969 с.
- 5 Курмаева А. И., Горелова Е. Г., Богданова С. А. Компоненты на основе растительного сырья для косметических средств: экстракты и эфирные масла. Метод. указания к лабораторным работам. Казань: Казанский гос. технол. ун-т, 2005. 53 с.
- 6 Самуйлова Л. В., Пучкова Т. В. Косметическая химия. Учеб. изд. в 2 ч. Ч. 1. Ингредиенты. М.: Школа космет. химиков, 2005. 336 с.
- 7 Основы косметической химии. Т. 2. Функциональные ингредиенты / Под ред. Т. В. Пучковой. М.: Школа космет. химиков, 2017. 328 с.
- 8 Berktaş S., Cam M. Peppermint leaves hydrodistillation by-products: Bioactive properties and incorporation into ice cream formulations // *J. Food. Sci. Technol.* 2021. Vol. 58, No. 11. P. 4282–4293.
- 9 Tornuk F., Cankurt H., Ozturk I., Sagdic O., Bayram O., Yetim H. Efficacy of various plant hydrosols as natural food sanitizers in reducing *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella Typhimurium* on fresh cut carrots and apples // *Int. J. Food Microbiol.* 2011. Vol. 148, No. 1. P. 30–35.
- 10 Hamed A., Pasdaran A., Zebarjad Z., Moein M. A survey on chemical constituents and indications of aromatic waters soft drinks (hydrosols) used in Persian nutrition culture and folk medicine for neurological disorders and mental health // *J. Evid. Based Complementary Altern. Med.* 2017. Vol. 22, No. 4. P. 744–752.
- 11 D'Amato S., Serio A., López C. C., Paparella A. Hydrosols: Biological activity and potential as antimicrobials for food applications // *Food Control.* 2018. Vol. 86. P. 126–137.
- 12 Aimovi M. G., Teševi V. V., Smiljani K., Cvetkovi M., Stankovi J., Kiproviski B., Sikora V. Hydrolates: By-products of essential oil distillation: Chemical composition, biological activity and potential uses // *Advanced Technologies.* 2020. Vol. 9, No. 2. P. 54–70.
- 13 Николаевский В. В. Ароматерапия. Справочник для терапевтов, хирургов, пульмонологов, кардиологов, невропатологов, педиатров, курортологов. М.: Медицина, 2000. 336 с.
- 14 Тимашева Л. А., Пехова О. А., Данилова И. Л. О методике количественного определения эфирного масла в гидролатах // *Таврический вестник аграрной науки.* 2019. № 3 (19). С. 122–132.
- 15 Heydarabad S. A. F., Raoufat M. H., Kamgar S., Karami A. Design, development and evaluation of a single-task electronic nose rig for assessing adulterated hydrosols // *J. Food Meas. Charact.* 2019. Vol. 13, No. 1. P. 107–120.
- 16 Arsanjani Z. N., Etemadfard H., Moein M. Comparative chemical evaluation of commercially available mint hydrosols produced in Fars province, Iran // *J. Rep. Pharma. Sci.* 2020. Vol. 9, No. 1. P. 52–58.
- 17 Ladan M. K., Glavač N. K. GC-MS Analysis of a *Helichrysum italicum* hydrosol: Sensitivity, repeatability and reliability of solvent extraction versus direct hydrosol analysis // *Appl. Sci.* 2022. Vol. 12, No. 19. Art. 10040.
- 18 Ткачев А. В., Прокушева Д. Л., Домрачев Д. В. Дикорастущие эфирномасличные растения Южной Сибири. Новосибирск: Изд-во ООО “Офсет-ТМ”, 2017. 575 с.
- 19 The Good Scents Company Information System. Providing information for the Flavor, Fragrance, Food and Cosmetic industries [Электронный ресурс]. URL: <https://www.thegoodscentscompany.com/> (дата обращения: 05.10.2023).
- 20 National Center for Biotechnology Information [Электронный ресурс]. URL: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/> (дата обращения: 05.10.2023).