

УДК 543.613.3+630.271

ЛЕТУЧИЕ СОЕДИНЕНИЯ РАСТЕНИЙ-ИНТРОДУЦЕНТОВ ИЗ КОЛЛЕКЦИИ ДЕНДРАРИЯ ИНСТИТУТА ЛЕСА ИМ. В.Н. СУКАЧЕВА СО РАН*

© М.А. Пляшечник**, А.А. Анискина, С.Р. Лоскутов

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, ФИЦ КНЦ СО РАН,
Академгородок, 50/28, Красноярск, 660036, Россия, lilwood@ksc.krasn.ru

Летучие органические соединения (ЛОС), выделяемые растениями, являются «обонятельной» компонентой декоративных насаждений в скверах, парках и городских кварталах. Впервые охарактеризован компонентный состав ЛОС 20 растений-интродуценотов (*Shepherdia argentea* (Pursh.) Nutt., *Elaeagnus argentea* (Pursh.), *Philadelphus coronaries* (L.), *Amygdalus nana* (L.) и др.) из коллекции дендрария Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН (ИЛ СО РАН). ЛОС, выделяемые листьями растений, были проанализированы с помощью метода газовой хромато-масс-спектрометрии в сочетании с парофазным пробоотбором. Идентифицировано 72 компонента, относящиеся к альдегидам, эфиром, терпенам, спиртам и кетонам. Для каждого растения определены мажорные (доминирующие) и минорные соединения, отличающиеся по относительному содержанию на 1–3 порядка. Результаты исследования могут быть востребованы при создании наиболее приемлемых групп декоративных растений в эстетическом, энтомологическом и фитопатогенном аспектах при зеленом строительстве, с одной стороны, и как возможный ресурс для получения соединений, используемых в парфюмерно-косметической, медицинской, пищевой и иных отраслях – с другой. Дальнейшее исследование разнообразия ЛОС растений-интродуцентов из богатой коллекции дендрария является одной из приоритетных задач ИЛ СО РАН.

Ключевые слова: растения-интродуценты, газовая хроматография, парофазный анализ, летучие органические соединения, компонентный состав.

Для цитирования: Пляшечник М.А., Анискина А.А., Лоскутов С.Р. Летучие соединения растений-интродуцентов из коллекции дендрария Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН // Химия растительного сырья. 2025. №3. С. 210–218. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20250315032>.

Введение

Улучшение окружающей среды при создании благоприятных условий для жизни населения является важнейшим приоритетом, включающим благоустройство и озеленение населенных мест: создание парков, скверов, садов, бульваров, уличного и внутриквартального озеленения, защитных зеленых зон вокруг промышленных предприятий и населенных пунктов, обогащение ассортимента деревьев и кустарников в лесопарках. Для этого необходимо большое количество высококачественных саженцев декоративных деревьев и кустарников, устойчивых в данных природных условиях. Одним из научных методов, используемых с XVI века и по настоящее время для увеличения разнообразия флоры, является интродукция растений [1, 2].

В 1977 г. в Красноярском Академгородке был создан интродукционный питомник, а затем и дендрологический сад под руководством академиков РАН И.Ю. Коропачинского, А.С. Исаева и канд. с.-х. наук, старшего научного сотрудника Р.И. Лоскутова. В настоящее время на базе дендрологической коллекции ведутся разноплановые научные исследования сотрудниками ИЛ СО РАН. Экспозиции растений имеют большое просветительское значение: ежегодно проводятся экскурсии для учащихся школ, студентов, преподавателей, работников зеленого строительства, а также для всех любителей природы [3, 4].

Общее большое положительное влияние лесных экосистем на здоровье человека неоспоримо, хотя точный механизм такого воздействия в этих средах до сих пор полностью не объяснен [5]. Различные

*Данная статья имеет электронный дополнительный материал (приложение), который доступен читателям на сайте журнала. DOI: 10.14258/jcprm.20250315032s

** Автор, с которым следует вести переписку.

исследования подтверждают, что видовой состав деревьев в лесу может заметно влиять на концентрацию конкретных летучих органических соединений в лесном воздухе, которая, в свою очередь, также подвержена циклическим суточным колебаниям [4, 6]. Некоторые исследователи предполагают, что ЛОС, которые выделяют деревья, также называемые фитонцидами или биогенными летучими органическими соединениями, являются основными оздоравливающими факторами для человека. ЛОС способствуют изменению качества воздуха и, следовательно, косвенно влияют на физическое и эмоциональное состояние человека [5]. Следует отметить, что положительные психологический и физиологический эффекты от посещения леса (парков, садов) не могут быть приписаны исключительно вдыханию летучих органических соединений. Также важным является интегрированный эффект стимуляции пяти чувств, вызванный всеми индивидуальными характеристиками природной среды. В глобальном масштабе эти результаты могут иметь полезные последствия для индивидуального благополучия, общественного здравоохранения и ландшафтного дизайна [7]. При использовании интродуцированных декоративных видов в зеленом строительстве важно учитывать, как экономическую и социальную целесообразность введения в культуру нового растения, так и возможные последствия для экологической и биологической безопасности.

Цель нашего исследования – изучение качественного состава летучих соединений на примере ряда интродуцированных растений из коллекции дендрария ИЛ СО РАН по методу парофазного газохроматографического анализа.

Экспериментальная часть

Образцы для исследований были собраны в дендрарии Института леса СО РАН, расположенному на южной окраине г. Красноярска. С западной стороны к нему примыкает жилой массив, с северной и восточной – административные здания институтов в окружении спелых березняков и сосновых культур III–IV классов возраста. К югу от дендрария находится высокая терраса реки Енисей, откуда открывается вид на отроги гор Восточного Саяна с выходом сиенитовых скал государственного заповедника «Столбы» [8].

Было исследовано 20 интродуцированных видов листопадных деревьев и кустарников, принадлежащих к 15 родам и 10 семействам (табл. 1). Выбранные растения характеризуются высокой устойчивостью в данных условиях и декоративными качествами, обильным цветением и плодоношением. Сбор образцов листьев для исследования проводился в начале августа 2022 г. Листья высушивали до воздушно-сухого состояния в хорошо проветриваемом помещении, раскладывая на плотной бумаге в один слой. Навеску измельченных листьев ~0.1 г помещали в хроматографическую виалу для последующего парофазного анализа (ПФА).

Качественное определение компонентного состава образцов выполняли на хромато-масс-спектрометре «Agilent 5975C-7890A» (США) с использованием парофазного пробоотборника HeadSpace Sampler G 1888. Применили 30-метровую кварцевую колонку HP-5MS (сополимер 5%-дифенил-95%-диметилсилоксан) с внутренним диаметром 0.25 мм. Газ-носитель – гелий с постоянным потоком 1.1 мл/мин. Температура колонки: начальный изотермический участок – 50 °C (10 мин), подъем температуры – со скоростью 4 °C/мин от 50 до 220 °C. Параметры парофазного пробоотборника: температура термостата – 100 °C, температура петли – 110 °C, температура HS-интерфейса – 115 °C, время выдержки образца в термостате пробоотборника – 15 мин. Температура испарителя – 280 °C, температура ионизационной камеры – 170 °C, энергия ионизации – 70 эВ.

Идентификацию компонентов проводили методом сравнения, по наличию и соотношению характеристических ионов-фрагментов с использованием базы данных стандартных образцов из масс-спектральной библиотеки «NIST05a.L» и значениям линейных индексов удерживания, используя программу обработки данных AMDIS (The Automated Mass Spectral Deconvolution and Identification System). Экспериментальные растения приведены в таблице 1.

Обсуждение результатов

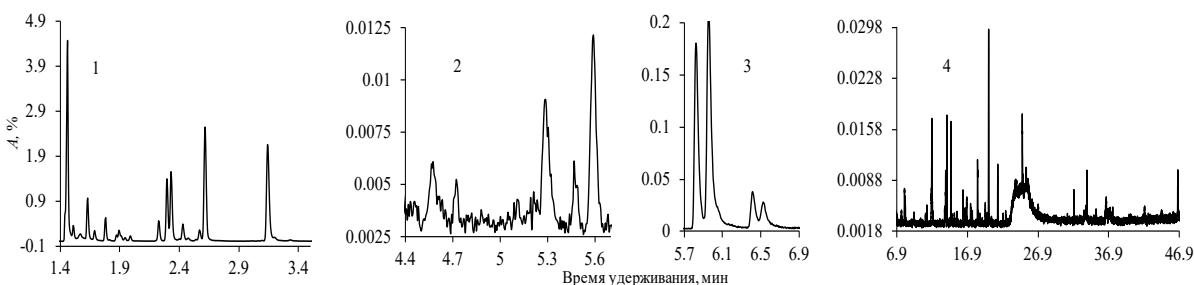
В ряде исследований было показано, что метод парофазного пробоотбора является наиболее подходящим методом извлечения летучих органических соединений для последующей ГХ/МС [9, 10]. Достоинствами такого типа экстракции являются экспрессность, простота, отсутствие органических растворителей и минимизация влияния возможных химических реакций в образце. В анализе полученных данных при ПФА

важна не столько строгая количественная оценка летучих компонентов, сколько воспроизведение цельной картины хроматографического профиля [9].

Полученные в ходе исследования хроматограммы условно можно разбить на интервалы по времени удерживания групп компонентов с близкой массовой долей (% от общего количества). Другими словами, хроматографируются группы соединений с концентрациями, отличающимися на порядки. Для четкой визуализации всех зарегистрированных пиков хроматограммы следует представлять, как показано на рисунке. Первый интервал включает в себя мажорные летучие компоненты: 2-метилбутаналь, 3-метилбутаналь, 2-этилфуран, 2-метил-2-бутиналь (табл. 3). В третьем интервале – пики низкой интенсивности – минорные соединения: гексеналь, (E)-2-гексеналь, 3-гексен-1-ол. Во втором и четвертом интервале времени удерживания регистрируются пики компонентов в следовых количествах (массовая доля в смеси менее 0.03%). Такая картина характерна для всех исследованных в данной работе видов кустарников и деревьев.

Таблица 1. Интродуцированные виды листопадных деревьев и кустарников дендрария Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН

№	Растение-интродуцент	Род	Семейство	Естественный ареал
1	Абрикос маньчжурский <i>Armeniaca mansurica</i> (Maxim.)	абрикос	розоцветные	Дальний Восток, Северный Китай, Северная Корея
2	Барбарис амурский <i>Berberis amurensis</i> (Rupr.)	барбарис	барбарисовые	Дальний Восток, Северный Китай
3	Бархат амурский <i>Phellodendron amurense</i> (Rupr.)	бархат	рутовые	Дальний Восток, Северо-Восточный Китай, Корея
4	Виноград амурский <i>Vitis amurensis</i> (Rupr.)	виноград	виноградовые	Дальний Восток, Северо-Восточный Китай, Северная Корея
5	Вишня войлочная <i>Cerasus tomentosa</i> (Thunb.) Wall.	слива	розоцветные	Северо-Западный Китай, Гималаи, Япония
6	Ирга обильноцветущая <i>Amelanchier florida</i> (Lindl.)	ирга	розоцветные	Северная Америка
7	Клен татарский <i>Acer tataricum</i> (L.)	клен	сапиновые	Европа, Малая Азия
8	Клен ясенелистный <i>Acer negundo</i> (L.)	клен	сапиновые	Северная Америка
9	Лох серебристый <i>Elaeagnus argentea</i> (Pursh.)	лох	лоховые	Северная Америка
10	Миндаль низкий <i>Amygdalus nana</i> (L.)	слива	розоцветные	Западная Сибирь, Средняя и Малая Азия
11	Роза морщинистая <i>Rosa rugosa</i> (Thunb.)	роза	розоцветные	Дальний Восток, Япония, Китай, Корея
12	Смородина золотая <i>Ribes aureum</i> (Pursh.)	смородина	крыжовнико-вые	Северная Америка
13	Тополь бальзамический <i>Populus balsamifera</i> (L.)	тополь	ивовые	Северная Америка
14	Тополь берлинский <i>Populus berolinensis</i> (Dipp.)	тополь	ивовые	Берлинский ботанический сад (спонтанный гибрид)
15	Трекун амурский <i>Ligustrina amurensis</i> (Rupr.)	сирень	маслиновые	Дальний Восток, Япония, Китай, Корея
16	Черемуха Маака <i>Padus Maakii</i> (Rupr.) Kom.	слива	розоцветные	Дальний Восток, Китай, Корея
17	Черемуха пенсильванская <i>Padus pennsylvanica</i> (L.f.) Sok.	слива	розоцветные	Северная Америка
18	Чубушник венечный <i>Philadelphus coronaries</i> (L.)	чубушник	гордензииевые	Юг Западной Европы
19	Шефердия серебристая <i>Shepherdia argentea</i> (Pursh.) Nutt.	шефердия	лоховые	Северная Америка
20	Ясень пенсильванский <i>Fraxinus pensylvanica</i> (Marsh.)	ясень	маслиновые	Северная Америка



Фрагментарное представление хроматограммы ЛОС листьев чубушника венечного (*Philadelphus coronaries*)

Всего нами было обнаружено 102 летучих органических соединения, из них идентифицировано 72 (для всех исследованных интродуцентов). При идентификации рассматривались только компоненты с содержанием в паровой фазе более 0.1% и определяемые по библиотеке масс-спектров с вероятностью более 75%. Доминирующее положение в составе газового экстракта занимают альдегиды (8.5–92.4%) – этаналь, пропаналь, 2-метилпропаналь, 3-метилбутаналь, 2-метилбутаналь, гексаналь, 2-гексеналь, бензальдегид. Далее, по уменьшению содержания следуют эфиры (0.13–31.1%) – диметилсульфид (тиоэфир); затем – уксусная кислота (0.5–17%), спирты (0.5–13.5%) и кетоны (0.5–6.8%). Содержание монотерпенов до 15.6% и сесквитерпенов до 2.8% – встречающихся только в 11 образцах (табл. 2). Содержание групп соединений и отдельных компонентов в образцах различается на порядки.

Для каждого вида растения можно выделить ряд соединений с высокой массовой долей. Например, основными компонентами *Ribes aureum* являются: уксусная кислота (16.97%), β -мирцен (12.3%), метакроlein (6.41%), тогда как в других образцах они встречаются в малом количестве. Основными компонентами *Philadelphus coronaries* являются: 2-метил-2-бутеналь, (15.63%), 2-этилфуран, (14.82%). Монотерпены β -фелландрен (7.30%), β -транс-оцимен (4.10%) и β -цис-оцимен (1.69%) характерны только для *Phellodendron amurense*. Основным компонентом ЛОС составляющим газовый экстракт листьев *Amygdalus nana* и *Padus Maakii* является бензальдегид (89.67 и 21.23%, соответственно). В таблице 3 представлены 5 видов растений-интродуцентов с выраженными различиями в составе ЛОС.

Таблица 2. Массовая доля (%) содержания разных групп ЛОС интродуцированных растений дендрария

Растения-интродуценты	Альде-гиды	Спирты	Моно-терпены	Сескви-терпены	Кетоны	Эфиры	Кислоты	Итог, %	Коли-чество иден-тифициро-ванных ЛОС
<i>Armeniaca manshurica</i>	47.8	5.4	0.4	0.3	4.3	0.5	1.7	60.3	29
<i>Berberis amurensis</i>	34.3	2.6	–	2.8	1.6	0.9	2.1	44.2	31
<i>Phellodendron amurense</i>	18.3	5.3	15.6	0.8	2.9	4.7	0.5	48.1	36
<i>Vitis amurensis</i>	48.7	5.5	0.2	–	5.4	1.7	–	61.6	39
<i>Cerasus tomentosa</i>	42.0	4.6	–	–	2.9	1.3	1.3	52.0	25
<i>Amelanchier florida</i>	38.3	4.6	–	–	1.9	2.5	–	47.3	28
<i>Acer tataricum</i>	40.7	8.6	–	–	2.1	0.9	0.7	53.1	27
<i>Acer negundo</i>	60.6	5.8	–	–	1.5	4.7	1.7	74.4	30
<i>Elaeagnus argentea</i>	29.7	3.9	0.6	–	2.0	31.1	1.1	68.5	29
<i>Amygdalus nana</i>	92.4	0.5	–	–	1.0	0.2	–	94.1	23
<i>Rosa rugosa</i>	35.2	6.0	–	1.2	0.9	2.4	–	45.7	35
<i>Ribes aureum</i>	8.4	0.5	12.3	–	0.5	0.1	17.0	38.8	37
<i>Populus balsamifera</i>	24.9	5.9	1.7	–	4.5	3.7	1.8	42.5	30
<i>Populus berolinensis</i>	21.7	5.1	1.3	–	4.5	3.7	0.9	37.1	34
<i>Ligustrina amurensis</i>	24.7	6.2	–	–	3.2	2.2	3.5	39.7	30
<i>Padus Maakii</i>	44.9	7.5	–	–	4.5	0.3	3.2	60.4	28
<i>Padus pennsylvanica</i>	38.7	3.7	0.5	1.0	6.8	1.0	–	51.6	29
<i>Philadelphus coronaries</i>	42.4	4.8	0.2	–	0.7	1.4	–	49.4	31
<i>Shepherdia argentea</i>	23.5	1.7	–	–	1.1	27.4	0.5	54.2	23
<i>Fraxinus pensylvanica</i>	32.1	13.5	–	–	4.4	4.5	0.8	55.2	37

Таблица 3. Компонентный состав ЛОС листьев растений-интродуцентов по данным ПФА-ГХ/МС

Компоненты, % от общего содержания	Индекс удержи- вания	Время удержи- вания, мин	<i>Phel- lodendron amurense</i>	<i>Elaeag- nus ar- gentea</i>	<i>Amygdalus nana</i>	<i>Philadel- phus cor- onaries</i>	<i>Sheper- dia ar- gentea</i>
<i>I</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
Этаналь	457	1.57	2.37	1.45	0.56	1.80	8.51
Пропаналь	506	1.63	4.14	3.92	0.86	4.66	4.22
Диметилсульфид	519	1.69	4.70	31.13	0.20	1.40	27.38
2-метилпропаналь	543	1.78	3.01	6.80	0.13	2.37	4.52
Метакролеин	561	1.82	0.34	—	—	0.18	—
2,3-бутандион	594	1.88	2.43	1.71	0.99	—	0.98
Бутаналь	597	1.90	—	—	—	2.17	0.37
Уксусная кислота	606	1.93	0.46	1.09	—	—	0.48
2-метилфуран	616	1.95	0.42	—	—	0.42	0.50
3-метилфуран	620	2.01	0.65	0.72	+	0.69	0.32
3-метилбутаналь	647	2.23	1.77	7.73	0.10	2.41	2.13
2-метилбутаналь	657	2.30	2.04	6.86	+	6.81	2.61
н/и	—	2.34	—	—	—	8.49	—
1-пентен-3-ол	665	2.43	2.39	1.40	0.23	2.41	0.89
1-пентен-3-он	676	2.48	0.35	0.20	+	0.53	0.13
2,3-пентанедион	693	2.55	0.11	—	+	—	0.14
Пентаналь	701	2.58	0.92	1.27	0.12	1.59	0.45
2-этил-фуран	715	2.62	5.53	3.79	0.32	14.82	1.68
3-гидрокси-2-бутанон	723	2.73	0.57	—	—	—	—
3-метил-1-бутиловый альдегид	732	3.02	—	0.46	+	0.05	—
2-метил-1-бутиловый альдегид	734	3.08	—	0.56	—	0.13	—
2-метил-2-бутеналь	739	3.15	—	—	—	15.63	—
Диметилдисульфид,	745	3.20	—	—	—	—	0.91
2-пентеналь, (<i>E</i>)-	767	3.34	—	0.11	—	0.35	—
н/и	—	3.41	—	0.42	—	—	6.64
1-пентанол	781	3.54	0.13	0.16	+	0.17	0.24
(<i>Z</i>)-2-пентен-1-ол	788	3.60	0.61	0.38	+	0.51	0.27
н/и	—	3.77	—	—	—	0.08	—
гексаналь	800	4.20	0.84	0.35	0.20	1.88	0.49
н/и	—	5.59	—	—	—	0.11	—
(<i>E</i>)-2-гексеналь	832	5.83	2.84	1.02	0.67	2.21	0.22
3-гексен-1-ол	834	5.97	7.95	1.86	0.39	3.26	—
(<i>Z</i>)-2-гексен-1-ол	843	6.43	0.63	—	—	0.45	—
1-гексанол	845	6.53	0.87	—	0.11	0.35	—
α-пинен	912	10.00	7.47	—	—	—	—
Бензальдегид	948	11.87	—	0.19	89.67	0.34	—
н/и	—	12.33	—	—	0.10	—	—
6-метил-5-гептен-2-он	986	13.82	0.51	0.35	+	0.13	—
β-мирцен	989	13.99	2.18	0.15	—	0.23	—
α-фелландрен	1000	14.57	1.55	—	—	0.21	—
Октааналь	1003	14.70	—	—	—	—	0.22
т-цимен	1025	15.73	0.38	—	—	—	—
β-фелландрен	1029	15.92	7.27	—	—	—	—
Лимонен	1031	15.93	—	0.37	—	—	—
н/и	—	16.26	—	—	—	+	—
Бензиловый спирт	1039	16.42	—	—	+	—	—
β-транс-оцимен	1044	16.64	4.10	—	—	—	—
β-цис-оцимен	1055	17.15	1.69	+	—	—	—
(<i>E,E</i>)-3,5-октадиен-2-он	1080	18.33	—	+	—	0.15	—
2-нонанон	1101	19.35	0.16	—	—	—	—
β-линалоол	1108	19.68	—	0.27	—	—	—
Нонаналь	1113	19.90	—	0.16	—	0.40	0.40
(<i>E,Z</i>)-2,6-диметил-2,4,6-октатриен	1136	20.96	0.48	—	—	—	—
н/и	—	21.19	—	—	—	0.11	—
н/и	—	23.47	—	0.14	—	—	—
н/и	—	24.66	—	0.10	—	0.20	—

Окончание таблицы 3

<i>I</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
Карифиллен	1419	31.67	0.84	—	—	—	—
н/и	—	35.71	0.11	—	—	—	—
н/и	—	46.65	—	—	—	0.10	—
Количество всех пиков			37	32	24	38	24
Количество идентифицированных пиков			36	29	23	31	23

Примечание: н/и – не идентифицированный компонент, знак «–» отсутствие компонента, знак «+» означает, что компонент присутствует, но его содержание не превышает 0.1%.

В состав ЛОС деревьев входят биологически активные компоненты – фитонциды, отвечающие за взаимодействия между растениями, конститутивную и индуцированную защиту от насекомых и травоядных животных, а также за привлечение насекомых для опыления и естественных врагов травоядных насекомых [11]. Установлено, что практически все древесные растения обладают той или иной степенью фитонцидной активности [11–13]. Высокой фитонцидностью обладают не только хвойные, но и многие лиственные деревья. По данным Воронковой Н.М. и др. [12], из представленных в нашей работе пород, к растениям с высокой фитонцидной активностью можно отнести *Armeniaca manshurica* (Maxim.), *Padus Maakii* (Rupr.) Kom., *Padus pennsylvanica* (L.f.) Sok., *Acer tataricum* (L.) и *Acer negundo* (L.), *Populus berolinensis* (Dipp.); со средней степенью – *Phellodendron amurense* (Rupr.). По сенсорному действию фитонциды объединяют в две группы: атTRACTАНты (привлекающие вещества) и repellенты (отпугивающие вещества) [14]. В составе ЛОС большинства исследованных деревьев обнаружены вещества-репеленты: бензальдегид, 2-гексеналь (E)-, β-линалол, фенилэтиловый спирт, лимонен, α-пинен. Доказана их эффективность против различных насекомых (в том числе комаров, мух, гусениц, пчёл) [11, 15]. Вещества-атTRACTАНты также определяются в паровом экстракте анализируемых образцов: диметилсульфид, 6-метил-5-гептен-2-он, нонаналь, октенол, 3-гексен-1-ол. Они участвуют в привлечении травоядных и кровососущих насекомых, насекомоядных хищных насекомых и паразитов травоядных [16–19].

Пропаналь – насыщенный альдегид, бесцветная жидкость с характерным запахом, при высоких концентрациях оказывает наркотическое и раздражающее действие, поражает дыхательную систему, кожу и слизистые оболочки. Вместе с тем, благодаря резкому запаху, пропаналь находит ограниченное применение в качестве ароматизатора для некоторых пищевых продуктов и напитков. Он используется в производстве фруктовых эссенций, имитирует запах персиков, абрикосов, вишни.

Диметилсульфид – простейший тиоэфир, легковоспламеняющаяся жидкость, имеет характерный неприятный запах даже при довольно низких концентрациях, обычно описываемый как «капустный». Это компонент запаха, образующегося при приготовлении определенных овощей, в частности кукурузы, капусты, свеклы и морепродуктов. Диметилсульфид также вырабатывается морскими планктонными микроорганизмами, и поэтому является одним из основных компонентов, ответственных за характерный запах морского воздуха. Также соединение обнаружено среди летучих веществ, выделяемых растением, привлекающих мух.

3-гексен-1-ол – листовой спирт, представляет собой бесцветную маслянистую жидкость с интенсивным травянисто-зеленым запахом свежескошенной зеленой травы и листьев. Он производится в небольших количествах большинством растений и действует как атTRACTАНт для многих хищных насекомых. Является очень важным ароматическим соединением, которое используется во фруктовых и овощных ароматизаторах и в парфюмерии.

Большинство исследуемых растений не имеют ярко выраженного запаха в лесном массиве, но выделяемые летучие вещества способны оказывать влияние на психоэмоциональное (самочувствие и функциональное состояние) и физическое состояние человека [20].

Заключение

В настоящем исследовании впервые охарактеризован аромат эмиссий ЛОС листьев интродуцированных пород деревьев и кустарников, произрастающих в дендрарии ИЛ СО РАН методом ПФА-ГХ/МС. Анализу подвергались виды растений, ранее не изучавшиеся в этом аспекте и которые для ботанико-географических условий дендрария ИЛ СО РАН являются интродуцентами.

Полученные нами результаты исследования, несомненно, будут полезны для ученых-дendрологов, биохимиков и физиологов растений; специалистов по зеленому строительству в городах и поселках Центральной Сибири. Учитывая компонентный состав ЛОС, можно исключить отрицательное аллелопатическое воздействие угнетения или стимулирование роста рядом растущего растения. А также, зная присутствие веществ-репелентов, можно рационализировать посадки определенных видов в парках и скверах, например, *A. nana*, *C. tomentosa*, *A. tataricum*. При правильном подходе к выбору растений можно не только улучшить эстетический вид зеленых насаждений, но и значительно снизить количество насекомых, например комаров и мух, привлекаемых ЛОС. Растения-аттрактанты (*P. amurensis*, *E. argentea*, *S. argentea*) будут привлекать полезных насекомых, например, пчел, которые способствуют опылению и улучшению экосистемы в целом.

Ценность проведенного тестирования растений из коллекции дендрария заключается в научно обоснованном пополнении их ассортимента для озеленения территорий как в декоративных, так и в оздоровительных целях.

Дополнительная информация

В электронном приложении к статье (DOI: <http://www.doi.org/10.14258/jcprm.20250315032s>) приведен дополнительный экспериментальный материал, раскрывающий основные положения, изложенные в статье.

Благодарности

Авторы выражают благодарность канд. биологических наук, младшему научному сотруднику института М.И. Седаевой за помощь при подготовке образцов.

Финансирование

Работа выполнена в рамках базового проекта «Биоразнообразие лесов Сибири: эколого-динамический, генетико-селекционный, физико-химический и ресурсно-технологический аспекты» (2024–2026 гг.) FWES-2024-0028.

Конфликт интересов

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Открытый доступ

Эта статья распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), которая разрешает неограниченное использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии, что вы дадите соответствующие ссылки на автора(ов) и источник и предоставите ссылку на Лицензию Creative Commons и укажете, были ли внесены изменения.

Список литературы

1. Коропачинский И.Ю., Встовская Т.Н., Томошевич М.А. Очередные задачи интродукции древесных растений в Азиатской России // Сибирский экологический журнал. 2011. №2. С. 147–170.
2. Анискина А.А., Лоскутов С.Р. Очерки о декоративных древесных растениях (Дендрарий Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН). Красноярск, 2021. 132 с.
3. Пименов А.В., Кириенко М.А., Пляшечник М.А., Анискина А.А., Лоскутов С.Р. Прошлое и настоящее дендрария института леса имени В. Н. Сукачева СО РАН // Сибирский лесной журнал. 2023. №5. С. 14–22. <https://doi.org/10.15372/SJFS20230504>.
4. Коропачинский И.Ю., Лоскутов Р.И. Древесные растения для озеленения Красноярска. Новосибирск, 2014. 320 с.
5. Zorić M., Kostić S., Kladar N., Božin B., Vasić V., Keber M., Orlović S. Phytochemical screening of volatile organic compounds in three common coniferous tree species in terms of forest ecosystem services // Forests. 2021. Vol. 12, no. 7. Pp. 928–944. <https://doi.org/10.3390/f12070928>.
6. Пляшечник М.А., Анискина А.А., Лоскутов С.Р. Сезонное изменение соотношения монотерпенов хвои *Picea obovata* (*Pinaceae*) // Растворимые ресурсы. 2011. Т. 47, №1. С. 80–86.
7. Antonelli M., Donelli D., Barbieri G., Valussi M., Maggini V., Firenzuoli F. Forest volatile organic compounds and their effects on human health: a state-of-the-art review // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2020. Vol. 17. Pp. 6506–6542. <https://doi.org/10.3390/ijerph17186506>.
8. Лоскутов Р.И. Интродукция декоративных древесных растений в южной части Средней Сибири. Красноярск, 1991. 189 с.
9. Родников О.В. Современные тенденции развития парофазного газохроматографического анализа // Аналитика. 2021. Т. 11, №1. С. 30–39. <https://doi.org/10.22184/2227-572X.2021.11.1.30.39>.
10. Виттенберг А.Г., Иоффе Б.В. Газовая экстракция в хроматографическом анализе: парофазный анализ и родственные методы. Л., 1982. 280 с.
11. Токин Б.П. Целебные яды растений. Повесть о фитонцидах. Л., 1974. 344 с.

12. Воронкова Н.М., Козина Л.В., Прилуцкий А.Н., Орехова Т.П., Дмитриенко Т.И. Кислородопродуктивность, фитонцидность и повреждаемость листьев древесных растений юга Приморского края // Комаровские чтения. 1996. №42. С. 101–110.
13. Делова Г.В. Фитонцидные свойства некоторых древесных и кустарниковых пород // Фитонциды, их биологическая роль и значение для медицины и народного хозяйства. Киев, 1967. С. 115–119.
14. Ганиев М.М., Недорезков В.Д. Химические средства защиты растений: учебное пособие для СПО 3-е изд., стереотип. СПб, 2022. 400 с.
15. Гольдин Е.Б., Гольдина В.Г. Эколого-биологическое значение терпенов и их практическое использование: методологические аспекты // Экосистемы, их оптимизация и охрана. 2011. №4. С. 104–111.
16. Logan J.G., Seal N.J., Cook J.I., Stanczyk N.M., Birkett M.A., Clark S.J., Gezan S.A., Wadhams L.J., Pickett J.A., Mordue (Luntz) A.J. Identification of human-derived volatile chemicals that interfere with attraction of the scottish biting midge and their potential use as repellents // Journal of medical entomology. 2009. Vol. 46, no. 2. Pp. 208–219. <https://doi.org/10.1603/033.046.0205>.
17. Yu H., Zhang Y., Wu K., Gao X.W., Guo Y.Y. Field-testing of synthetic herbivore-induced plant volatiles as attractants for beneficial insects // Environmental Entomology. 2008. Vol. 37, no. 6. Pp. 1410–1415. <https://doi.org/10.1603/0046-225X-37.6.1410>.
18. Телитченко М.М., Остроумов С.А. Введение в проблемы биохимической экологии. М., 1990. 288 с.
19. Stensmyr M.C., Urugu I., Collu I., Celander M., Hansson B. S., Angjioy A.-M. Rotting smell of dead-horse arum florets // Nature. 2002. Vol. 420. Pp. 625–626. <https://doi.org/10.1038/420625a>.
20. Балабина Н.А., Гончарова Е.Е., Грачева Л.О., Клишашевская О.А. К вопросу влияния растений на физическое и психоэмоциональное состояние человека // Окружающая среда: комфортность и экологическая безопасность. 2021. С. 234–241.

Поступила в редакцию 8 апреля 2024 г.

После переработки 9 декабря 2024 г.

Принята к публикации 13 мая 2025 г.

Plyashechnik M.A., Aniskina A.A., Loskutov S.R. VOLATILE COMPOUNDS OF INTRODUCED PLANTS FROM THE COLLECTION OF THE V.N. SUKACHEV INSTITUTE OF FOREST SB RAS ARBORETUM*

*V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Federal Research Center KSC SB RAS, Akademgorodok, 50/28,
Krasnoyarsk, 660036, Russia, lilwood@ksc.krasn.ru*

Volatile organic compounds (VOCs) emitted by plants are an "olfactory" component of ornamental plantings in squares, parks and city blocks. The VOCs composition of 20 introduced plants (*Shepherdia argentea* (Pursh.) Nutt., *Elaeagnus argentea* (Pursh.), *Philadelphus coronaries* (L.), *Amygdalus nana* (L.), etc.) from the collection of the arboretum of V.N. Sukachev Institute of Forest of SB RASc (IF SB RASc) was characterized for the first time. VOCs emitted by plant leaves were analyzed using headspace gas chromatography-mass spectrometry. 74 components belonging to aldehydes, esters, terpenes, alcohols and ketones were identified. Major (dominant) and minor compounds were identified for each plant, differing in relative content by 1–3 orders of magnitude. The results of the study can be useful in the creation of groups of ornamental plants in aesthetic, entomological and phytopathogenic aspects, on the one hand, and as a possible resource for obtaining compounds used in perfumery and cosmetic, medical, food and other industries, on the other hand. Further study of VOCs diversity of introduced plants from the rich collection of arboretum is one of the priority tasks of IF SB RASc.

Keywords: introduced plants, gas chromatography, headspace analysis, volatile organic compounds, component composition.

For citing: Plyashechnik M.A., Aniskina A.A., Loskutov S.R. *Khimiya Rasitel'nogo Syr'ya*, 2025, no. 3, pp. 210–218. (in Russ.). <https://doi.org/10.14258/jcprm.20250315032>.

* Corresponding author.

References

1. Koropachinskiy I.Yu., Vstovskaya T.N., Tomoshevich M.A. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal*, 2011, no. 2, pp. 147–170. (in Russ.).
2. Aniskina A.A., Loskutov S.R. *Ocherki o dekorativnykh drevesnykh rasteniyakh (Dendrarii Instituta lesa im. V.N. Sukacheva SO RAN)*. [Essays on ornamental woody plants (Arboretum of the V.N. Sukachev Institute of Forestry SB RAS)]. Krasnoyarsk, 2021, 132 p. (in Russ.).
3. Pimenov A.V., Kiriyenko M.A., Plyashechnik M.A., Aniskina A.A., Loskutov S.R. *Sibirskiy lesnoy zhurnal*, 2023, no. 5, pp. 14–22. <https://doi.org/10.15372/SJFS20230504>. (in Russ.).
4. Koropachinskiy I.Yu., Loskutov R.I. *Drevesnyye rasteniya dlya ozeleneniya Krasnoyarska*. [Woody plants for landscaping Krasnoyarsk]. Novosibirsk, 2014, 320 p. (in Russ.).
5. Zorić M., Kostić S., Kladar N., Božin B., Vasić V., Keber M., Orlović S. *Forests*, 2021, vol. 12, no. 7, pp. 928–944. <https://doi.org/10.3390/f12070928>.
6. Plyashechnik M.A., Aniskina A.A., Loskutov S.R. *Rastitel'nyye resursy*, 2011, vol. 47, no. 1, pp. 80–86. (in Russ.).
7. Antonelli M., Donelli D., Barbieri G., Valussi M., Maggini V., Firenzuoli F. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020, vol. 17, pp. 6506–6542. <https://doi.org/10.3390/ijerph17186506>.
8. Loskutov R.I. *Introduktsiya dekorativnykh drevesnykh rasteniy v yuzhnay chasti Sredney Sibiri*. [Introduction of ornamental woody plants in the southern part of Central Siberia]. Krasnoyarsk, 1991, 189 p. (in Russ.).
9. Rodinkov O.V. *Analitika*, 2021, vol. 11, no. 1, pp. 30–39. <https://doi.org/10.22184/2227-572X.2021.11.1.30.39>. (in Russ.).
10. Vittenberg A.G., Ioffe B.V. *Gazovaya ekstraktsiya v khromatograficheskem analize: parofaznyy analiz i rod-stvennyye metody*. [Gas extraction in chromatographic analysis: headspace analysis and related methods]. Leningrad, 1982, 280 p. (in Russ.).
11. Tokin B.P. *Tselenyye yady rasteniy. Povest' o fitontsikh*. [Healing poisons of plants. A story about phytoncides]. Leningrad, 1974, 344 p. (in Russ.).
12. Voronkova N.M., Kozina L.V., Prilutskiy A.N., Orekhova T.P., Dmitriyenko T.I. *Komarovskiy chteniya*, 1996, no. 42, pp. 101–110. (in Russ.).
13. Delova G.V. *Fitontsy, ikh biologicheskaya rol' i znachenije dlya meditsiny i narodnogo khozyaystva*. [Phytoncides, their biological role and significance for medicine and the national economy]. Kyiv, 1967, pp. 115–119. (in Russ.).
14. Ganiyev M.M., Nedorezkov V.D. *Khimicheskiye sredstva zashchity rasteniy: uchebnoye posobiye dlya SPO 3-ye izd., stereotip*. [Chemical plant protection products: a textbook for secondary vocational education, 3rd ed., stereotype]. St. Petersburg, 2022. 400 p. (in Russ.).
15. Gol'din Ye.B., Gol'dina V.G. *Ekosistemy, ikh optimizatsiya i okhrana*, 2011, no. 4, pp. 104–111. (in Russ.).
16. Logan J.G., Seal N.J., Cook J.I., Stanczyk N.M., Birkett M.A., Clark S.J., Gezan S.A., Wadhams L.J., Pickett J.A., Mordue (Luntz) A.J. *Journal of medical entomology*, 2009, vol. 46, no. 2, pp. 208–219. <https://doi.org/10.1603/033.046.0205>.
17. Yu H., Zhang Y., Wu K., Gao X.W., Guo Y.Y. *Environmental Entomology*, 2008, vol. 37, no. 6, pp. 1410–1415. <https://doi.org/10.1603/0046-225X-37.6.1410>.
18. Telitchenko M.M., Ostroumov S.A. *Vvedeniye v problemy biokhimicheskoy ekologii*. [Introduction to the problems of biochemical ecology]. Moscow, 1990, 288 p. (in Russ.).
19. Stensmyr M.C., Urru I., Collu I., Celander M., Hansson B. S., Angioy A.-M. *Nature*, 2002, vol. 420, pp. 625–626. <https://doi.org/10.1038/420625a>.
20. Balabina N.A., Goncharova Ye.Ye., Gracheva L.O., Klimashevskaya O.A. *Okruzhayushchaya sreda: komfortnost' i ekologicheskaya bezopasnost'*, 2021, pp. 234–241. (in Russ.).

*Received April 8, 2024**Revised December 9, 2024**Accepted May 13, 2025***Сведения об авторах**

Пляшечник Мария Анатольевна – научный сотрудник, lilwood@ksc.krasn.ru
Анискина Антонина Александровна – научный сотрудник, aniskina_a@mail.ru
Лоскутов Сергей Реджинальдович – заведующий лабораторией физико-химической биологии древесных растений, доктор химических наук, профессор, lsr@ksc.krasn.ru

Information about authors

Plyashechnik Maria Anatolyevna – research fellow, lilwood@ksc.krasn.ru
Aniskina Antonina Aleksandrovna – research fellow, aniskina_a@mail.ru
Loskutov Sergey Reginaldovich – Head of the Laboratory of Physical and Chemical Biology of Woody Plants, Doctor of Chemical Sciences, Professor, lsr@ksc.krasn.ru