

С.Н. Плюснина, Т.А. Пристова, И.В. Груздев, В.В. Пунегов

**КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ ЭФИРНЫХ МАСЕЛ ХВОИ
PINUS CONTORTA DOUGL. И *PINUS SYLVESTRIS* L.
В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ КУЛЬТУРАХ
СЫКТЫВКАРСКОГО ЛЕСНИЧЕСТВА РЕСПУБЛИКИ КОМИ**

Введение. Большая продолжительность жизни хвойных растений обеспечивается в том числе наличием эффективных природных механизмов защиты от вредителей. Деревья выделяют смолу, которая заполняет повреждения, наносимые фитофагами, предотвращая проникновение грибковых инфекций [Хелдт, 2011]. Смола хвойных деревьев представляет собой сложную смесь терпеноидов и включает в себя летучую фракцию, в основном состоящую из монотерпенов и частично из сесквитерпенов, и нелетучую из дитерпенов [Чернодубов, Дерюжкин, 1990; Хелдт, 2011; Ефремов, Зыкова, 2013]. Монотерпены составляют основу эфирных масел (ЭМ) растений. Состав и свойства природных смол обеспечивают широкое их применение в хозяйственной деятельности человека [Чернодубов, Дерюжкин, 1990; Флейшер, Черная, 2019; Jackson et al., 2025]. Среди хвойных пород наибольшей смолопродуктивностью обладает сосна [Пастухова и др., 2018; Штрахов и др., 2025]. Наибольшую ценность в эфирном масле видов рода *Pinus* представляют: пинен – главный компонент скипидара, применяемого в медицине, органическом синтезе и технике; сабинен – в парфюмерии; камфора, борнеол и некоторые другие компоненты [Чернодубов, Дерюжкин, 1990; Ioannou et al., 2014; Silori et al., 2019]. В связи с этим активно изучаются не только состав, но и антиоксидантная [Савельева, Ефремов, 2017; Yang et al., 2010; Zeng et al., 2012; Yener et al., 2014; Xie et al., 2015; Ancuceanu et al., 2024], антимикробная [Решетников и др., 2015; Ламоткин и др., 2021b; Adams et al., 2014; Kurti et al., 2019; Marjanović-Balaban et al., 2020; Hjouji et al., 2021; Markowska-Szczupak et al., 2022] и антифунгальная активности эфирных масел сосен [Krauze-Baranowska et al., 2002], а также отдельных компонентов ЭМ разного происхождения [Ho et al., 2011; Rivas da Silva et al., 2012; Ljunggren et al., 2020]. Проводится анализ выхода компонентов эфирного масла сосны под влиянием антропогенного воздействия различного характера [Сотникова, Степень, 2001; Шпак, Ламоткин, 2007; Ламоткин и др., 2021b; Judzentiene et al., 2007] и разных условий хранения с

целью промышленного использования хвойного сырья как побочного продукта после рубок [Labokas et al., 2017]. Компонентному составу ЭМ уделяется значительное внимание в хемосистематике рода *Pinus* [Шпак и др., 2008; Pauly, Rudloff, 1971; Rudloff, Lapp, 1987; Ustun et al., 2006; Kurose et al., 2007; Ioannou et al., 2014; Rebko et al., 2021].

Сосна обыкновенная *Pinus sylvestris* L. имеет обширный ареал в Евразии, занимает одно из ведущих мест в лесном хозяйстве [Правдин, 1964] и относится к основным лесообразующим породам Республики Коми. Сосновые леса в республике охватывают 7 млн га [Леса ..., 1999], что составляет 25% покрытых лесной растительностью земель лесного фонда [Государственный ..., 2025]. Сосна скрученная *Pinus contorta* Dougl. имеет обширный природный ареал в западной части Северной Америки, древесину, близкую по физико-механическим свойствам к сосне обыкновенной [Элайс, 2014], и признана одной из перспективных быстрорастущих пород в условиях Северной Европы [Fedorkov, Gutiy, 2017]. В 2004-2007 гг. под научным руководством д.б.н. А.Л. Федоркова в таежной зоне Республики Коми была заложена серия экспериментальных культур сосны скрученной общей площадью 6,9 га. Позднее показано превосходство сосны скрученной северных происхождений над сосной обыкновенной по объему ствола [Fedorkov, Gutiy, 2017] и накоплению надземной фитомассы [Пристова и др., 2023]. Были опубликованы первые сведения по морфологии побегов и анатомии хвои [Плюснина и др., 2024], а также по элементному составу органов и тканей сосны скрученной в сравнении с сосной обыкновенной [Пристова, Федорков, 2023]. Дальнейшее изучение химического состава ассимиляционного аппарата, в том числе ЭМ, позволит дать более полную ресурсную характеристику интродуцента как перспективного источника сырья не только для лесной промышленности, но и для других сфер (целей) хозяйственной деятельности человека (химической, фармацевтической и т. д.), а также пополнить уже имеющиеся сведения по составу ЭМ сосны скрученной и сосны обыкновенной на Европейском Севере.

Целью исследования является сравнительный анализ качественного и количественного состава эфирных масел хвои *Pinus contorta* Dougl. и *P. sylvestris* L. в экспериментальных культурах в условиях средней тайги Республики Коми.

Материалы и методика исследования. Состав эфирных масел сосны скрученной (*Pinus contorta* var. *latifolia* Engelm. ex S. Watson, синоним *Pinus contorta* subsp. *latifolia* (Engelm.) Critchf.) и сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) изучался в 16-летних экспериментальных культурах в Сыктывкарском лесничестве Республики Коми (61°39' с.ш. 50°41' в.д.). Культуры

сосны скрученной были заложены двухлетними саженцами в 2007 г. на месте еловой вырубki на площади 1,1 га. Густота посадки на участке – 2,5 тыс. шт./га с размещением 3,0×1,0 м. Почва – типичная подзолистая на двучленных отложениях.

Отбор хвои сосны производился в сентябре 2023 г. с 40 деревьев, по 20 деревьев каждого вида. Побеги срезали с южной стороны в средней части кроны. Хвою отделяли от побегов и разделяли на 2 навески. Одну часть хвои высушивали для определения влажности при температуре 105°C, другую часть использовали для выделения эфирного масла.

Эфирное масло выделяли методом гидродистилляции на приборе Клевенджера [Государственная ..., 1987], в качестве уловителя эфирного масла применяли *n*-пентан (5 см³). Отгонка эфирного масла продолжалась в течение 3,5 ч.

Хромато-масс-спектрометрический анализ компонентов эфирного масла проводили на приборе «TRACE DSQ» (Thermo) в режиме электронного удара (энергия электронов – 70 эВ, диапазон сканирования масс – 50-650 Да). Для интерпретации масс-спектров применяли программное обеспечение «Xcalibur Data System» (версия 1.4) и библиотеки масс-спектров NIST05 MS Library (350 тыс. соединений). Для разделения компонентов эфирного масла использовали кварцевую капиллярную колонку TR-5MS (Thermo): длина – 30 м, внутренний диаметр – 0,25 мм, толщина неподвижной фазы – 0,25 мкм (полидиметилсилоксан, 5% фенильных групп). Программирование температуры колонки: 35°C – 5°C/мин – 310°C, газ-носитель – гелий (99,99%), скорость газа-носителя – 0,5 см³/мин, деление потока – 1:30, температура испарителя – 280°C, интерфейса – 250°C, камеры ионизации – 200°C.

Линейно-логарифмические индексы удерживания (ИУ) компонентов эфирного масла рассчитывали при помощи программного обеспечения AMDIS 2.74 (NIST). Значения ИУ идентифицированных веществ сравнивали с ИУ, которые приводятся в известных монографиях, посвященных анализу компонентного состава эфирных масел [Ткачѳв, 2008; Ефремов, Зыкова, 2013; Adams, 2007]. Для большинства идентифицированных соединений расхождение экспериментальных значений ИУ с литературными данными не превышает 3-6 ед. индекса.

Смоляные ходы на поперечных срезах разновозрастной хвои сосны просматривали под оптическим микроскопом Axiovert 200 M (Carl Zeiss, Германия) в режиме светлого поля и флуоресценции. Фотосъемку проводили цифровой камерой AxioCam ERc 5s (Carl Zeiss, Германия), морфометрические измерения – при помощи программы ZEN 2011 (Carl Zeiss, Германия).

Результаты исследования. Согласно полученным данным, содержание сухого вещества в исследуемых образцах хвои сосны скрученной составляет 43,46%, сосны обыкновенной – 40,66%, выход ЭМ – 0,35% и 1,64% в пересчете на абсолютно сухую массу (а.с.м.) хвои соответственно. Компоненты ЭМ относятся к вторичным метаболитам, которые биологически активны и изолированы от цитоплазмы синтезируемых их клеток путем компартиментации и/или химической модификации до относительно безвредных соединений [Фуксман, 2002]. Синтез терпеноидов осуществляется специализированными секреторными структурами [Васильев, 1977], у изученных видов – эпителиальными (терпеноидогенными) клетками смоляных ходов (рис. 1). Число смоляных ходов в хвое, как было показано ранее [Плюснина и др., 2024], у сосны скрученной значительно меньше, чем у сосны обыкновенной. На исследуемом участке их количество варьировало от 0 до 2 и от 5 до 11 соответственно. Возможно, в том числе по этой причине суммарный выход ЭМ у интродукта в 4,7 раза ниже, чем у аборигенной породы.

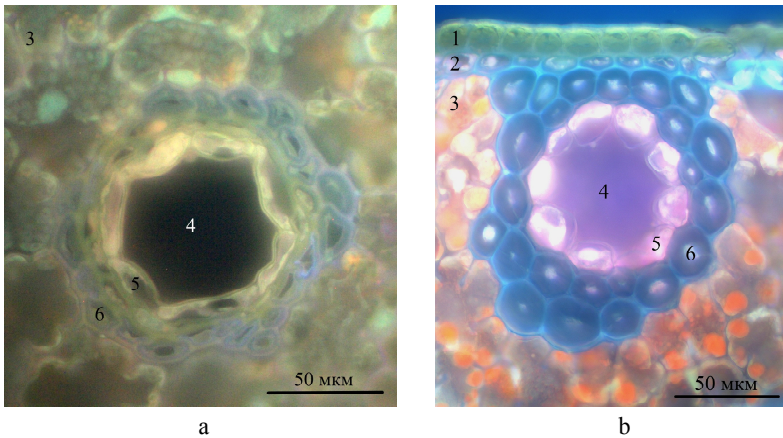


Рис. 1. Смоляные ходы на поперечном срезе хвои *Pinus contorta* (а) и *Pinus sylvestris* (b). 1 – эпидерма, 2 – гиподерма, 3 – мезофилл, 4 – канал смоляного хода, 5 – эпителий смоляного хода, 6 – сопутствующие клетки

Fig. 1. Resin ducts in a cross-section of the needles of *Pinus contorta* (a) and *Pinus sylvestris* (b). 1 – epidermis, 2 – hypodermis, 3 – mesophyll, 4 – resin canal, 5 – epithelium (terpenoidogenic cells), 6 – accompanying cells

Согласно литературным данным, выход ЭМ из хвои сосны скрученной разного происхождения варьирует от 0,383% – *P. contorta* subsp. *Murrayana*

[Ankney et al., 2021] – до 0,674% – *Pinus contorta* subsp. *contorta* [Ankney et al., 2022]; сосны обыкновенной – от 0,22-1,77% (из сухого сырья) [Чекушкина и др., 2008; Ustun et al., 2006] до 1,0-2,1% (из свежего сырья) [Ламоткин и др., 2021а; Rebko et al., 2021].

В составе эфирных масел у обоих изученных видов выявлен 41 компонент (табл. 1), что составляет 96,28% массы эфирного масла у сосны скрученной и 96,70% – у сосны обыкновенной. Хромато-масс-спектрометрический анализ эфирного масла выявил схожесть качественного состава компонентов исследуемых видов сосны, однако их количественное содержание достаточно сильно различается (табл. 1).

По выходу в ЭМ хвои обоих видов доминируют монотерпены – 83,4% у сосны скрученной и 76,3% у сосны обыкновенной. По числу выявленных компонентов также лидируют монотерпены (31,7%), далее следуют кислородсодержащие производные терпенов – монотерпеноиды (26,8%), сесквитерпены (14,6 %) и сесквитерпеноиды (14,6 %) (табл. 1).

Лидирующие позиции в составе ЭМ хвои сосны скрученной занимают в порядке убывания β -фелландрен (38,99%), β -пинен (28,56%), α -пинен (7,34%) и α -терпинеол (6,49%) (табл. 1). В меньших количествах представлены β -мирцен (2,15%), α -фелландрен (1,95%), α -терпинолен (1,71%). Содержание остальных компонентов – менее 1%.

Таблица 1

Состав эфирных масел хвои *Pinus contorta* и *Pinus sylvestris*

Composition of essential oils of *Pinus contorta* and *Pinus sylvestris* needles

№ п/п	ИУ	Компоненты	Содержание, %	
			<i>P. contorta</i>	<i>P. sylvestris</i>
1	924	Трициклен (Tricyclene)	0,10	1,00
2	935	α -пинен (α -Pinene)	7,34	53,46
3	946	Камфен (Camphene)	0,84	4,28
4	973	β -пинен (β -Pinene)	28,56	3,46
5	991	β -мирцен (β -Myrcene)	2,15	1,61
6	1002	α -фелландрен (α -Phellandrene)	1,95	<0,01
7	1006	3-карен (3-Carene)	<0,01	8,55
8	1013	α -терпинен (α -Terpinene)	0,93	<0,01
9	1025	Лимонен (Limonene)	-	1,45
10	1025	β -фелландрен (β -Phellandrene)	38,99	-

Продолжение табл. 1

№ п/п	ИУ	Компоненты	Содержание, %	
			<i>P. contorta</i>	<i>P. sylvestris</i>
11	1045	<i>транс-β</i> -Оцимен (<i>trans-β</i> -Ocimene)	0,26	0,94
12	1052	γ -терпинен (γ -Terpinene)	0,39	0,23
13	1079	α -терпинолен (α -Terpinolene)	1,71	1,31
14	1096	Линалоол (Linalool)	0,30	<0,01
15	1105	Фенхол (Fenchol)	0,31	0,05
16	1114	<i>транс-2</i> -ментенол (<i>trans-2</i> -Menthenol)	0,46	<0,01
17	1124	Нео-аллооцимен (Neo-allo-ocimene)	0,22	<0,01
18	1134	<i>cis-2</i> -ментенол (<i>cis-2</i> -Menthenol)	0,08	0,07
19	1159	Борнеол (Borneol)	0,37	0,08
20	1172	L-терпинен-4-ол (L-terpinen-4-ol)	0,54	0,20
21	1190	α -терпинеол (α -Terpineol)	6,49	1,21
22	1208	<i>транс</i> -пиперитол (<i>trans</i> -Piperitol)	0,09	<0,01
23	1259	2-ундеканон (2-Undecanone)	0,14	0,11
24	1269	Фелландрал (Phellandral)	0,02	<0,01
25	1277	6-ундецен-2-он (6-Undecen-2-one)	0,04	0,20
26	1282	Борнилацетат (Bornyl acetate)	0,55	2,18
27	1346	Терпинилацетат (Terpinyl acetate)	<0,01	0,15
28	1384	β -элемен (β -Elemen)	0,04	0,40
29	1406	Кариофиллен (Caryophyllene)	<0,01	0,66
30	1455	2-тридеканон (2-Tridecanone)	0,19	<0,01
31	1478	Эликсен (Elixene)	0,07	0,28
32	1486	α -мууролен (α -Muurolene)	0,25	1,01
33	1497	γ -кадинен (γ -Cadinene)	0,28	0,67
34	1507	β -кадинен (β -Cadinene)	0,65	2,77
35	1555	Спатуленол (Spathulenol)	0,11	0,24
36	1560	Глобулол (Globulol)	0,04	0,13
37	1566	Додекановая кислота (Dodecanoic acid)	0,04	<0,01
38	1602	Эпикубенол (Epicubenol)	0,04	0,16
39	1620	1,10-диэпикубенол (1,10-Diepicubenol)	0,11	0,36

Окончание табл. 1

№ п/п	ИУ	Компоненты	Содержание, %	
			<i>P. contorta</i>	<i>P. sylvestris</i>
40	1639	τ-кадинол (τ-Cadinol)	0,89	4,37
41	1653	α-кадинол (α-Cadinol)	0,74	4,26
42	2053	Склареол (Sclareol)	<0,01	0,85
Класс соединений			Содержание, %	
Монотерпеновые углеводороды (1-13, 17)			83,44	76,29
Кислородсодержащие монотерпеноиды (14-16, 18-22, 24, 26-27)			8,66	1,61
Сесквитерпеновые углеводороды (28-29, 31-34)			1,29	5,79
Кислородсодержащие сесквитерпеноиды (35-36, 38-41)			1,93	9,52
Кислородсодержащие дитерпеноиды (42)			<0,01	0,85
Кетоны (23, 25, 30)			0,92	2,64
Жирные кислоты (37)			0,04	<0,01
Всего			96,28	96,70

Такие компоненты, как β-фелландрен и β-пинен, также занимают доминирующие позиции в составе ЭМ хвои *P. contorta* subsp. *latifolia* из Альберты (Канада) (34,3% и 30,5% соответственно) [Pauly, Rudloff, 1971] и из Королевского ботанического сада Эдинбурга (Шотландия) (26,0% и 32,8% соответственно) [Ioannou et al., 2014]. В ЭМ хвои *P. contorta* subsp. *murrayana* [Ankney et al., 2021] из Орегона (США) эти же компоненты являются основными (37,2% и 17,0% соответственно). В хвое *P. contorta* subsp. *contorta* ЭМ также богато β-фелландреном (23,8%), однако на втором месте по содержанию стоит терпинен-4-ол (11%) [Ankney et al., 2022]. Отмечено, что терпинен-4-ол в значительно меньших количествах содержится в ЭМ хвои как у *P. contorta* subsp. *murrayana* (0,4-1,9%) [Ioannou et al., 2014; Ankney et al., 2021], так и у *P. contorta* subsp. *latifolia* – от следовых количеств до 0,5% [Pauly, Rudloff, 1971; Ioannou et al., 2014]. В нашем случае содержание этого компонента близко к варианту ЭМ хвои *P. contorta* subsp. *latifolia* из Альберты – 0,53%. Образцы олеорезина *P. contorta* subsp. *latifolia* из Альберты также содержали β-пинен и β-фелландрен [Pollack, Dancik, 1985]. В целом из имеющихся в литературе сведений по содержанию основных 4 компонентов эфирное масло хвои сосны скрученной, произрастающей в Сыктывкарском лесничестве Республики Коми, схоже с вариантом из природного ареала (Альберта, Канада) [Pauly, Rudloff, 1971].

Таким образом, согласно литературным и полученным нами данным, в пределах природного ареала и в условиях интродукции β -фелландрен является мажорным компонентом в ЭМ хвой сосны скрученной с концентрацией 19,9-47,0% [Pauly, Rudloff, 1971; Ioannou et al., 2014]. Для *P. contorta* subsp. *latifolia* β -пинен также является одним из основных компонентов, содержание которого варьирует от 17,0 до 32,8% [Pauly, Rudloff, 1971; Ioannou et al., 2014]. У других подвидов сосны скрученной содержание этого компонента может достаточно сильно меняться: для *P. contorta* subsp. *murrayana* – 3–17% [Ioannou et al., 2014; Ankney et al., 2021]; для *P. contorta* subsp. *contorta* – 0,5–4,7% [Ioannou et al., 2014; Ankney et al., 2022].

В составе эфирных масел хвой сосны обыкновенной 53,46% приходится на α -пинен, далее следуют 3-карен (8,55%), τ -кадинол (4,37%), камфен (4,28%) и α -кадинол (4,26%), β -пинен (3,46%), β -кадинен (2,77%), борнилацетат (2,18%), β -мирцен (1,61%), лимонен (1,45%), α -терпинолен (1,31%), α -терпинеол (1,21%), α -мууролен (1,01%) и трициклен (1%) (таблица). Содержание остальных компонентов – менее 1%.

Согласно [Чернодубов, Дерюжкин, 1990; Сотникова, Степень, 2001; Шпак и др., 2008; Ламоткин и др., 2021a, b; Чекушкина и др., 2008; Venskutonis et al., 2000; Ustun et al., 2006; Ioannou et al., 2014], α -пинен также является мажорным компонентом в ЭМ хвой сосны обыкновенной, его содержание варьирует от 14,8 до 69,9%. В исследованиях многих авторов, как и в нашей работе, вторым мажорным компонентом является 3-карен, содержание которого в ЭМ хвой сосны обыкновенной составляет 5,2-35,8% [Чернодубов, Дерюжкин, 1990; Сотникова, Степень, 2001; Шпак и др., 2008; Ефремов, Зыкова, 2013; Ламоткин и др., 2021a, b; Venskutonis et al., 2000; Judzentiene, Kupcinskiene, 2008]. В других работах, помимо α -пинена, в качестве мажорных компонентов ЭМ выявлены: β -пинен (3,69-17,09) и камфен (4,78-15,25%) [Ustun et al., 2006]; Δ -кадинен (18,58%), γ -кадинен (9,47%), Δ^3 -карен (9,34%), β -кариофиллен (6,61%) [Чекушкина и др., 2008].

Таким образом, в силу обширных природных ареалов и хозяйственной ценности пород ЭМ обоих исследуемых видов сосен в целом активно изучались как в природных условиях, так и в условиях интродукции. Как было отмечено выше, на разных видах сосен была определена антифунгальная активность ЭМ и отдельных компонентов, входящих в их состав и имеющих разное происхождение [Krauze-Baranowska et al., 2002; Ho et al., 2011; Ljunggren et al., 2020]. Ранее было показано, что одной из причин лучшей приживаемости сосны скрученной в условиях интродукции является более высокая устойчивость к грибным болезням, таким как снежное шютте и сосновый вертун [Ролл-Хансен, Ролл-Хансен, 1998; Elfving et al., 2001]. Так,

сохранность 3-летних культур, заложенных в Сыктывкарском лесничестве, составила от 93 до 96% для сосны скрученной (в зависимости от происхождения) и 76% для сосны обыкновенной [Федорков, 2011]. Автор установил, что причиной более высокого отпада растений сосны обыкновенной по сравнению с сосной скрученной было «снежное шютте», вызываемое патогенным грибом *Phacidium infestans* L. Возможно, в числе прочих отличия в качественном и количественном составе ЭМ интродуцента и аборигенной породы являются причиной разной устойчивости саженцев к этому патогену. Однако судить об этом по полученным нами данным для 18-летних деревьев не представляется возможным, так как на состав ЭМ и выход отдельных компонентов влияют не только условия окружающей среды, но и возраст дерева и органов, в которых они синтезируются [Чернодубов, Дерюжкин, 1990]. На момент изучения нами в ЭМ хвои сосны скрученной и сосны обыкновенной суммарная доля компонентов, антифунгальная активность которых была описана в литературе [Ho et al., 2011; Rivas da Silva et al., 2012; Ljunggren et al., 2020;], таких как α -пинен, β -пинен, 1,10-диэпикубенол, τ -кадинол и α -кадинол, в хвое сосны обыкновенной была больше, чем в хвое сосны скрученной (табл. 1). Возможно, компоненты ЭМ сосны скрученной, антифунгальная активность которых еще не изучена, играют ключевую роль в устойчивости к *Phacidium infestans* L. Необходимо изучить ЭМ саженцев в период их наибольшей уязвимости для грибковых инфекций.

Заключение. Таким образом, выход ЭМ для исследованных образцов хвои сосны скрученной составил 0,35%, что в 4,7 раза меньше, чем у образцов сосны обыкновенной. Это связано в том числе с межвидовыми различиями в количестве формирующихся смоляных ходов. Среднемноголетнее их число у аборигенной породы на исследуемом участке в 6 раз больше, чем у интродуцента.

В эфирном масле хвои изученных видов сосен выявлено по 41 компоненту, 40 из них совпадают. Различия по составу заключены в одной позиции: у сосны скрученной присутствует β -фелландрен, у сосны обыкновенной – лимонен. У совпадающих 40 компонентов показаны значительные межвидовые отличия по содержанию. У обоих видов в ЭМ хвои доминирует монотерпеновая фракция углеводов. Для сосны скрученной ведущими компонентами являются β -фелландрен (38,99%) и β -пинен (28,56%), для сосны обыкновенной – α -пинен (53,46%) и 3-карен (8,55%). У сосны скрученной большая часть (83%) определенных компонентов ЭМ содержится в пределах до 1%, у сосны обыкновенной таких компонентов меньше – 71%.

Сведения о финансировании исследования. Исследование выполнено на оборудовании ЦКП «Хроматография» Института биологии Коми НЦ УрО РАН в рамках государственного задания Института биологии Коми НЦ УрО РАН по теме «Средообразующая роль и продуктивность лесных и болотных экосистем Европейского Северо-Востока России» (номер государственной регистрации 125020501547-8).

Благодарности. Авторы выражают искреннюю благодарность за вестороннюю помощь и поддержку д.б.н. Алексею Леонардовичу Федоркову.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

Васильев А.Е. Функциональная морфология секреторных клеток растений. Л.: Наука, 1977. 208 с.

Государственная фармакопея СССР. XI изд. Т. 1. М.: Медицина, 1987. 335 с.

Государственный доклад «О состоянии окружающей среды Республики Коми в 2024 году». Сыктывкар: Минприроды Республики Коми, 2025. 178 с.

Ефремов А.А., Зыкова И.Д. Компонентный состав эфирных масел хвойных растений Сибири. Красноярск: СФУ, 2013. 132 с.

Ламоткин С.А., Ахрамович Т.И., Сакович А.В. Состав и свойства эфирного масла сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L., произрастающей в одинаковых экологических и почвенно-климатических условиях Республики Беларусь // Труды БГТУ. Сер. 2: Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2021а. №2 (247). С. 86–93.

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, биотехнологии, геоэкология. 2021б. №2 (247). С. 94–99.

Леса Республики Коми. М.: Дизайн. Информация. Картография, 1999. 332 с.

Пастухова Н.О., Горкин А.И., Лебедева О.П. Сравнительный анализ смолопродуктивности сосны в разных лесорастительных условиях // ИВУЗ. Лесной журнал. 2018. №2. С. 49–57. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.49.

Плюснина С.Н., Федорков А.Л., Гуляев Р.Г. Структура хвои сосны скрученной *Pinus contorta* Dougl. и сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L. в экспериментальных культурах // Лесной вестник. 2024. Т. 28, №1. С. 46–55.

Правдин Л.Ф. Сосна обыкновенная. Изменчивость, внутривидовая систематика и селекция. М.: Наука, 1964. 191 с.

Пристова Т.А., Федорков А.Л. Элементный состав *Pinus contorta* Dougl. и *Pinus sylvestris* L. в экспериментальных культурах Сыктывкарского лесничества Республики Коми // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2023. Вып. 245. С. 55–70. DOI: 10.21266/2079-4304.2023.245.55-70.

Пристова Т.А., Федорков А.Л., Новаковский А.Б. Надземная фитомасса древостоя в экспериментальных культурах сосны скрученной в Сыктывкарском лесничестве Республики Коми // ИВУЗ. Лесной журнал. 2023. №6. С. 31–43. DOI: 10.37482/0536-1036-2023-6-31-43.

Решетников В.Н., Шутова А.Г., Спиридович Е.В. Биологическая активность эфирных масел растений в связи с составом и оптической активностью компонентов // Докл. Нац. акад. Наук Беларуси. 2015. Т. 59, №1. С. 74–79.

Ролл-Хансен Ф., Ролл-Хансен Х. Болезни лесных деревьев. СПб.: СПбЛТА, 1998. 120 с.

Савельева Е.Е., Ефремов А.А. Антиоксидантная активность эфирных масел некоторых дикорастущих древесных растений Сибири // Вестник КрасГАУ. 2017. №2. С. 141-147.

Сотникова О.В., Степень Р.А. Эфирные масла сосны как индикатор загрязнения среды // Химия растительного сырья. 2001. №3. С. 79–84.

Ткачёв А.В. Исследование летучих веществ растений. Новосибирск: Офсет, 2008. 969 с.

Федорков А.Л. Сезонная изменчивость роста побегов сосны скрученной и сосны обыкновенной в экспериментальных культурах // Вестник Института биологии. 2011. №3. С. 26–28.

Флейшер В.Л., Черная Н.В. Модифицированная канифоль: получение, свойства и применение. Минск: БГТУ, 2019. 305 с.

Фуксман И.Л. Влияние природных и антропогенных факторов на метаболизм веществ вторичного происхождения у древесных растений. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2002. 164 с.

Хелдт Г.-В. Биохимия растений. М.: БИНОМ, 2011. 471 с.

Чекушикина Н.В., Невзорова Т.В., Ефремов А.А. Фракционный состав эфирного масла сосны обыкновенной // Химия растительного сырья. 2008. №2. С. 87–90.

Чернодубов А.И., Дерюжкин Р.И. Эфирные масла сосны: состав, получение, использование. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1990. 112 с.

Шпак С.И., Ламоткин С.А. Химический состав терпеноидов сосны обыкновенной, произрастающей на территории Беларуси // Труды БГТУ. Сер. IV: Химия и технология органических веществ. 2007. №4. С. 272–277.

Шпак С.И., Ламоткин С.А., Ламоткин А.И., Скаковский Е.Д., Гайдукевич О.А., Котов А.А. Изменчивость состава эфирных масел в роду *Pinus* // Труды БГТУ. Сер. IV: Химия и технология органических веществ. 2008. №4. С. 292–296.

Штрахов С.Н., Данилов Д.А., Зайцев Д.А. Особенности смоловыделения в древостоях сосны (*Pinus sylvestris* L.) разного состава и товарной структуры в черничном типе леса // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2025. Вып. 252. С. 170–187. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.252.170-187.

Элайс Т.С. Североамериканские деревья: определитель / отв. ред. И.Ю. Коропачинский. Новосибирск: Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, 2014. 959 с.

Adams R. Identification of Essential Oil Components by Gas Chromatography / Quadrupole Mass Spectroscopy. Carol Stream: Allured Publishing, 2007. 804 p.

Adams J., Gibson K.E., Martin E.M., Giselle A., Ricke S.E., Noaa F., Carrier D.J. Characterization and Variation of Essential Oil from *Pinus taeda* and Antimicrobial Effects against Antibiotic-Resistant and -Susceptible *Staphylococcus aureus* // Forest Products Journal. 2014. Vol. 64, no. 5-6. P. 161–165. DOI: 10.13073/FPJ-D-14-00018.

Ancuceanu R., Anghel A.I., Hovanet M.V., Ciobanu A.-M., Lascu B.E., Dinu M. Antioxidant Activity of Essential Oils from Pinaceae Species // Antioxidants. 2024. Vol. 13, iss. 3. Art. no. 286. DOI: 10.3390/antiox13030286.

Ankney E., Satyal P., Setzer W.N. Chemical compositions and enantiomeric distributions of leaf essential oils of three conifers from Oregon // American Journal of Essential Oils and Natural Products. 2021. Vol. 9, iss. 2. P. 7–14.

Ankney E., Swo K., Satyal P., Setzer W.N. Essential Oil Compositions of *Pinus* Species (*P. contorta* subsp. *contorta*, *P. ponderosa* var. *ponderosa*, and *P. flexilis*); Enantiomeric Distribution of Terpenoids in *Pinus* Species // Molecules. 2022. Vol. 27. Art. no. 5658. DOI: 10.3390/molecules27175658.

Elfyng B., Ericsson T., Rosvall O. The introduction of lodgepole pine for wood production in Sweden – a review // Forest Ecology and Management. 2001. Vol. 141. P. 15–29. DOI: 10.1016/S0378-1127(00)00485-0.

Fedorkov A., Gutiy L. Performance of lodgepole pine and Scots pine in field trials located in north-west Russia // Silva Fennica. 2017. Vol. 51, no. 1. Art. no. 1692. DOI: 10.14214/sf.1692.

Hjouji K., Atemni I., Mehdaoui I., Ainane A., Berrada S., Rais Z., Mustapha T., Tarik A. Essential oil of Aleppo Pine needles: antioxidant and antibacterial activities // Pharmacology online. 2021. Vol. 2. P. 556-565.

Ho C.L., Liao P.C., Wang E.I., Su Y.C. Composition and antifungal activities of the leaf essential oil of *Neolitsea parvigemma* from Taiwan // Nat. Prod. Commun. 2011. Vol. 6, iss. 9. P. 1357-1360.

Ioannou E., Koutsaviti A., Tzakou O., Roussis V. The genus *Pinus*: a comparative study on the needle essential oil composition of 46 pine species // Phytochemistry Reviews. 2014. Vol. 13, iss. 4. DOI: 10.1007/s11101-014-9338-4.

Jackson R.B., Wilson T.M., Packer C., Bowerbank C.R., Carlson R.E. Essential oil from naturally exuded *Pinus contorta* var. *latifolia* (Pinaceae) resin // J. Essent. Oil Plant Comp. 2025. Vol. 3, iss. 1. P. 37–44. DOI: 10.58985/jeopc.2025.v03i01.64.

Judzentiene A., Kupcinskiene E. Chemical composition on essential oils from needles of *Pinus sylvestris* L. grown in northern Lithuania // Journal of Essential Oil Research. 2008. Vol. 20, no. 1. P. 26–29. DOI: 10.1080/10412905.2008.9699413.

Judzentiene A., Stikliene A., Kupcinskiene E. Changes in the Essential Oil Composition in the Needles of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Under Anthropogenic Stress // The Scientific World Journal. 2007. Vol. 7(S1). P. 141–150. DOI: 10.1100/tsw.2007.36.

Krauze-Baranowska M., Mardarowicz M., Wiwart M., Poblocka L., Dynowska M. Antifungal Activity of the Essential Oils from Some Species of the Genus *Pinus* // Zeitschrift für Naturforschung. 2002. Vol. 57, no. 5-6. P. 478–482. DOI: 10.1515/znc-2002-5-613.

Kurose K., Okamura D., Yatagai M. Composition of the essential oils from the leaves of nine *Pinus* species and the cones of three of *Pinus* species // Flavour Fragr. J. 2007. Vol. 22. P. 10–20. DOI: 10.1002/ffj.1609.

Kurti F., Giorgi A., Beretta G., Mustafa B., Gelmini F., Testa C., Angioletti S., Giupponi L., Zilio E., Pentimalli D., Hajdari A. Chemical composition, antioxidant and antimicrobial activities of essential oils of different *Pinus* species from Kosovo // Journal of Essential Oil Research. 2019. Vol. 3, no. 4. P. 263–275. DOI: 10.1080/10412905.2019.1584591.

Labokas J., Ložienė K., Jurevičiūtė R. Preconditions for industrial use of foliage as felling by-product of Scots pine for essential oil production // Industrial Crops and Products. 2017. Vol. 109. P. 542–547. DOI: 10.1016/j.indcrop.2017.09.011.

Ljunggren J., Bylund D., Jonsson B.G., Edman M., Hedenstrom E. Antifungal efficiency of individual compounds and evaluation of non-linear effects by recombining fractionated turpentine // Microchemical Journal. 2020. Vol. 153. Art. no. 104325. DOI: 10.1016/j.microc.2019.104325.

Marjanović-Balaban Ž., Cvjetković V.G., Kapović-Solomun M., Stanojević L., Stanojević J., Kalaba V. Quality testing of industrially produced essential oil of white pine (*Pinus sylvestris* L.) from the Republic of Srpska // J. Eng. Process. Manag. 2020. Vol. 12, iss. 2. P. 36–43. DOI: 10.7251/jepm2002036b.

Markowska-Szczupak A., Wesolowska A., Borowski T., Soloduha D., Paszkiewicz O., Kordas M., Rakoczy R. Effect of pine essential oil and rotating magnetic field on antimicrobial performance // Scientific Reports. 2022. Vol. 12. Art. no. 9712. DOI: 10.1038/s41598-022-13908-5.

Pauly G., Rudloff E. Chemosystematic studies in the genus *Pinus*: the leaf oil of *Pinus contorta* var. *latifolia* // Canadian Journal of Botany. 1971. Vol. 49, no. 7. P. 1201–1210. DOI: 10.1139/b71-168.

Pollack J.C., Dancik B.P. Monoterpene and morphological variation and hybridization of *Pinus contorta* and *P. banksiana* in Alberta // Can. J. Bot. 1985. Vol. 63, iss. 2. P. 201–210. DOI:10.1139/b85-023.

Rebko S., Poplavskaya L., Lamotkin S., Kimeichuk I., Khryk V., Yukhnovskiy V. Content of the main components of essential oil in the needles of Scots pine growing in geographic cultures // Ukrainian Journal of Forest and Wood Science. 2021. No. 12. P. 58–70. DOI: 10.31548/forest2021.02.006.

Rivas da Silva A.C., Lopes P.M., Barros de Azevedo M.M., Machado Costa D.C., Sales Alviano C., Sales Alviano D. Biological Activities of α -Pinene and β -Pinene Enantiomers // *Molecules*. 2012. Vol. 17, no. 6. P. 6305–6316. DOI: 10.3390/molecules17066305.

Rudloff E., Lapp M.S. Chemosystematic studies in the genus *Pinus*. VI. General survey of the leaf oil terpene composition of lodgepole pine // *Canadian Journal of Forest Research*. 1987. Vol. 17, no. 9. P. 1013–1025. DOI: 10.1139/x87-157.

Silori G.K., Kushwaha N., Kumar V. Essential Oils from Pines: Chemistry and Applications // *Essential Oil Research*. Springer, Cham, 2019. P. 275–297. DOI: 10.1007/978-3-030-16546-8_10.

Venskutonis P.R., Vyskupaityte K., Plausinaitis R. Composition of essential oils of *Pinus sylvestris* L. from different locations of Lithuania // *J. Essent. Oil. Res.* 2000. Vol. 12, iss. 5. P. 559–565. DOI: 10.1080/10412905.2000.9712159.

Ustun O., Sezik E., Kurkcuoglu M., Baser K.H.C. Study of the essential oil composition of *Pinus sylvestris* from Turkey // *Chem. Nat. Compd.* 2006. Vol. 42. P. 26–31. DOI: 10.1007/s10600-006-0029-2.

Xie Q., Liu Z., Li Z. Chemical composition and antioxidant activity of essential oil of six *Pinus* taxa native to China // *Molecules*. 2015. Vol. 20. P. 9380–9392. DOI: 10.3390/molecules20059380.

Yang X., Zhao H.T., Wang J., Meng Q., Zhang H., Yao L., Zhang Y.C., Dong A.J., Ma Y., Wang Z.Y., Xu D.C., Ding Y. Chemical composition and antioxidant activity of essential oil of pine cones of *Pinus armandii* from the Southwest region of China // *Journal of Medicinal Plants Research*. 2010. Vol. 4, iss. 16. P. 1668–1672. DOI: 10.5897/JMPR10.217.

Yener H.O., Saygideger S.D., Sarikurcu C., Yumrutas Ö. Evaluation of Antioxidant Activities of Essential Oils and Methanol Extracts of *Pinus* Species // *Journal of Essential Oil Bearing Plants*. 2014. Vol. 17, no. 2. P. 295–302. DOI: 10.1080/0972060X.2014.895164.

Zeng W.-C., Zhang Z., Gao H., Jia L.-R., He Q. Chemical Composition, Antioxidant, and Antimicrobial Activities of Essential Oil from Pine Needle (*Cedrus deodara*) // *Journal of Food Science*. 2012. Vol. 77. P. C824–C829. DOI: 10.1111/j.1750-3841.2012.02767.x.

References

Adams R. Identification of Essential Oil Components by Gas Chromatography / Quadrupole Mass Spectroscopy. Carol Stream: Allured Publishing, 2007. 804 p.

Adams J., Gibson K.E., Martin E.M., Giselle A., Ricke S.E., Noaa F., Carrier D.J. Characterization and Variation of Essential Oil from *Pinus taeda* and Antimicrobial Effects against Antibiotic-Resistant and -Susceptible *Staphylococcus aureus*. *Forest Products Journal*, 2014, vol. 64, no. 5-6, pp. 161–165. DOI: 10.13073/FPJ-D-14-00018.

Ancuseanu R., Anghel A.I., Hovanet M.V., Ciobanu A.-M., Lascu B.E., Dinu M. Antioxidant Activity of Essential Oils from Pinaceae Species. *Antioxidants*, 2024, vol. 13, iss. 3, art. no. 286. DOI: 10.3390/antiox13030286.

Ankney E., Satyal P., Setzer W.N. Chemical compositions and enantiomeric distributions of leaf essential oils of three conifers from Oregon. *American Journal of Essential Oils and Natural Products*, 2021, vol. 9, iss. 2, pp. 7–14.

Ankney E., Swo, K., Satyal P., Setzer W.N. Essential Oil Compositions of *Pinus* Species (*P. contorta* subsp. *contorta*, *P. ponderosa* var. *ponderosa*, and *P. flexilis*); Enantiomeric Distribution of Terpenoids in *Pinus* Species. *Molecules*, 2022, vol. 27, art. no. 5658. DOI: 10.3390/molecules271175658.

Chekushkina N.V., Nevzorova T.V., Efremov A.A. Fractional composition of Scots pine essential oil. *Khimiya rastitel'nogo syrya*, 2008, no. 2, pp. 87–90. (In Russ.)

Chernodubov A.I., Deryuzhkin R.I. Essential oils of pine: composition, production, use. Voronezh: VSU, 1990. 112 p. (In Russ.)

Efremov A.A., Zykova I.D. Component composition of essential oils of coniferous plants of Siberia. Krasnoyarsk: SFU, 2013. 132 p. (In Russ.)

Elais T.S. North American trees: a guide / ed. by I.Yu. Koropachinskiy. Novosibirsk: Central Siberian Botanical Garden SB RAS, 2014. 959 p. (In Russ.)

Elfving B., Ericsson T., Rosvall O. The introduction of lodgepole pine for wood production in Sweden – a review. *Forest Ecology and Management*, 2001, vol. 141, pp. 15–29. DOI: 10.1016/S0378-1127(00)00485-0.

Fedorkov A.L. Seasonal variability of shoot growth of lodgepole pine and Scots pine in experimental cultures. *Bulletin of the Institute of Biology*, 2011, no. 3, pp. 26–28. (In Russ.)

Fedorkov A., Gutiy L. Performance of lodgepole pine and Scots pine in field trials located in north-west Russia. *Silva Fennica*, 2017, vol. 51, no. 1, art. no. 1692. DOI: 10.14214/sf.1692.

Fleisher V.L., Chernaya N.V. Modified rosin: production, properties and application. Minsk: BSTU, 2019. 305 p. (In Russ.)

Forests of the Komi Republic. Moscow: Design. Information. Cartography, 1999. 332 p. (In Russ.)

Fuksman I.L. Influence of natural and anthropogenic factors on the metabolism of secondary substances in woody plants. Petrozavodsk: Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences, 2002. 164 p. (In Russ.)

Heldt G.-V. Plant biochemistry. Moscow: BINOM, 2011. 471 p. (In Russ.)

Hjouji K., Atemni I., Mehdaoui I., Ainane A., Berrada S., Rais Z., Mustapha T., Tarik A. Essential oil of Aleppo Pine needles: antioxidant and antibacterial activities. *Pharmacology online*, 2021, vol. 2, pp. 556-565.

Ho C.L., Liao P.C., Wang E.I., Su Y.C. Composition and antifungal activities of the leaf essential oil of *Neolitsea parvigemma* from Taiwan. *Nat. Prod. Commun.*, 2011, vol. 6, iss. 9, pp. 1357-1360.

Ioannou E., Koutsaviti A., Tzakou O., Roussis V. The genus *Pinus*: a comparative study on the needle essential oil composition of 46 pine species *Phytochemistry Reviews*, 2014, vol. 13, iss. 4. DOI: 10.1007/s11101-014-9338-4.

Jackson R.B., Wilson T.M., Packer C., Bowerbank C.R., Carlson R.E. Essential oil from naturally exuded *Pinus contorta* var. *latifolia* (Pinaceae) resin. *J. Essent. Oil Plant Comp.*, 2025, vol. 3, iss. 1, pp. 37–44. DOI: 10.58985/jeopc.2025.v03i01.64.

Judzentiene A., Kupcinskiene E. Chemical composition on essential oils from needles of *Pinus sylvestris* L. grown in northern Lithuania. *Journal of Essential Oil Research*, 2008, vol. 20, no. 1, pp. 26–29. DOI: 10.1080/10412905.2008.9699413.

Judzentiene A., Stikliene A., Kupcinskiene E. Changes in the Essential Oil Composition in the Needles of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Under Anthropogenic Stress. *The Scientific World Journal*, 2007, vol. 7(S1), pp. 141–150. DOI: 10.1100/tsw.2007.36.

Krauze-Baranowska M., Mardarowicz M., Wiwart M., Poblocka L., Dynowska M. Antifungal Activity of the Essential Oils from Some Species of the Genus *Pinus*. *Zeitschrift für Naturforschung*, 2002, vol. 57, no. 5-6, pp. 478–482. DOI: 10.1515/znc-2002-5-613.

Kurose K., Okamura D., Yatagai M. Composition of the essential oils from the leaves of nine *Pinus* species and the cones of three of *Pinus* species. *Flavour Fragr. J.*, 2007, vol. 22, pp. 10–20. DOI: 10.1002/ffj.1609.

Kurti F., Giorgi A., Beretta G., Mustafa B., Gelmini F., Testa C., Angioletti S., Giupponi L., Zilio E., Pentimalli D., Hajdari A. Chemical composition, antioxidant and antimicrobial activities of essential oils of different *Pinus* species from Kosovo. *Journal of Essential Oil Research*, 2019, vol. 3, no. 4, pp. 263–275. DOI: 10.1080/10412905.2019.1584591.

Labokas J., Ložienė K., Jurevičiūtė R. Preconditions for industrial use of foliage as felling by-product of Scots pine for essential oil production. *Industrial Crops and Products*, 2017, vol. 109, pp. 542–547. DOI: 10.1016/j.indcrop.2017.09.011.

Lamotkin S.A., Akhramovich T.I., Sakovich A.V. Composition and properties of essential oil of Scots pine *Pinus sylvestris* L., growing in the same ecological and soil-climatic conditions of the Republic of Belarus. *Proceedings of BSTU. Ser. 2: Chemical technologies, biotechnology, geoecology*, 2021a, no. 2 (247), pp. 86–93. (In Russ.)

Lamotkin S.A., Akhramovich T.I., Sakovich A.V., Budkovskaya D.A. Study of the composition and antimicrobial activity of essential oils of a number of coniferous tree species. *Proceedings of BSTU. Ser. 2: Chemical technologies, biotechnology, geoecology*, 2021b, no. 2 (247), pp. 94–99. (In Russ.)

Ljunggren J., Bylund D., Jonsson B.G., Edman M., Hedenstrom E. Antifungal efficiency of individual compounds and evaluation of non-linear effects by recombining fractionated turpentine. *Microchemical Journal*, 2020, vol. 153, art. no. 104325. DOI: 10.1016/j.microc.2019.104325.

Marjanović-Balaban Ž., Cvjetković V.G., Kapović-Solomon M., Stanojević L., Stanojević J., Kalaba V. Quality testing of industrially produced essential oil of white

pine (*Pinus sylvestris* L.) from the Republic of Srpska. *J. Eng. Process. Manag.*, 2020, vol. 12, iss. 2), pp. 36–43. DOI: 10.7251/jepm2002036b.

Markowska-Szczupak A., Wesolowska A., Borowski T., Soloduha D., Paszkiewicz O., Kordas M., Rakoczy R. Effect of pine essential oil and rotating magnetic field on antimicrobial performance. *Scientific Reports*, 2022, vol. 12, art. no. 9712. DOI: 10.1038/s41598-022-13908-5.

Pastukhova N.O., Gorkin A.I., Lebedeva O.P. Comparative analysis of resin productivity of pine in different forest growing conditions. *Russian Forestry Journal*, 2018, no. 2, pp. 49–57. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.49. (In Russ.)

Pauly G., Rudloff E. Chemosystematic studies in the genus *Pinus*: the leaf oil of *Pinus contorta* var. *latifolia*. *Canadian Journal of Botany*, 1971, vol. 49, no. 7, pp. 1201–1210. DOI: 10.1139/b71-168.

Plyusnina S.N., Fedorkov A.L., Gulyaev R.G. Needle structure of lodgepole pine *Pinus contorta* Dougl. and Scots pine *Pinus sylvestris* L. in experimental cultures. *Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 1, pp. 46–55. (In Russ.)

Pollack J.C., Dancik B.P. Monoterpene and morphological variation and hybridization of *Pinus contorta* and *P. banksiana* in Alberta. *Can. J. Bot.*, 1985, vol. 63, iss. 2, pp. 201–210. DOI: 10.1139/b85-023.

Pravdin L.F. Scots pine. Variability, intraspecific taxonomy and selection. Moscow: Nauka, 1964. 191 p. (In Russ.)

Pristova T.A., Fedorkov A.L. Elemental composition of *Pinus contorta* Dougl. and *Pinus sylvestris* L. in experimental cultures of the Syktyvkar forestry of the Komi Republic. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj lesotehneskoj akademii*, 2023, iss. 245, pp. 55–70. DOI: 10.21266/2079-4304.2023.245.55-70. (In Russ.)

Pristova T.A., Fedorkov A.L., Novakovskiy A.B. Aboveground phytomass of tree stands in experimental plantation of lodgepole pine in the Syktyvkar district of the Komi Republic. *Russian Forestry Journal*, 2023, no. 6, pp. 31–43. DOI: 10.37482/0536-1036-2023-6-31-43. (In Russ.)

Rebko S., Poplavskaya L., Lamotkin S., Kimeichuk I., Khryk V., Yukhnovskiy V. Content of the main components of essential oil in the needles of Scots pine growing in geographic cultures. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, 2021, no. 12, pp. 58–70. DOI: 10.31548/forest2021.02.006.

Reshetnikov V.N., Shutova A.G., Spiridovich E.V. Biological activity of essential oils of plants in connection with the composition and optical activity of components. *Reports of the National Academy of Sciences of Belarus*, 2015, vol. 59, no. 1, pp. 74–79. (In Russ.)

Rivas da Silva A.C., Lopes P.M., Barros de Azevedo M.M., Machado Costa D.C., Sales Alviano C., Sales Alviano D. Biological Activities of α -Pinene and β -Pinene Enantiomers. *Molecules*, 2012, vol. 17, no. 6, pp. 6305–6316. DOI: 10.3390/molecules17066305.

Roll-Hansen F., Roll-Hansen H. Diseases of forest trees. St. Petersburg: SPbLTA, 1998. 120 p. (In Russ.)

Rudloff E., Lapp M.S. Chemosystematic studies in the genus *Pinus*. VI. General survey of the leaf oil terpene composition of lodgepole pine. *Canadian Journal of Forest Research*, 1987, vol. 17, no. 9, pp. 1013–1025. DOI: 10.1139/x87-157.

Savelyeva E.E., Efremov A.A. Antioxidant activity of essential oils of some wild woody plants of Siberia. *Bulletin of KrasSAU*, 2017, no. 2, pp. 141–147. (In Russ.)

Shpak S.I., Lamotkin S.A. Chemical composition of terpenoids of Scots pine growing in Belarus. *Proceedings of BSTU. Ser. IV: Chemistry and technology of organic substances*, 2007, no. 4, pp. 272–277. (In Russ.)

Shpak S.I., Lamotkin S.A., Lamotkin A.I., Skakovsky E.D., Gaidukevich O.A., Kotov A.A. Variability of the composition of essential oils in the genus *Pinus*. *Proceedings of BSTU. Ser. IV: Chemistry and technology of organic substances*, 2008, no. 4, pp. 292–296. (In Russ.)

Shtrakhov S.N., Danilov D.A., Zaitsev D.A. Features of resin secretion in pine (*Pinus sylvestris* L.) stands of different composition and commodity structure in the blueberry type of forest. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii*, 2025, iss. 252, pp. 170–187. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.252.170-187. (In Russ.)

Silori G.K., Kushwaha N., Kumar V. Essential Oils from Pines: Chemistry and Applications. *Essential Oil Research*. Springer, Cham., 2019, pp. 275–297. DOI: 10.1007/978-3-030-16546-8_10.

Sotnikova O.V., Stepen R.A. Essential oils of pine as an indicator of environmental pollution. *Khimiya rastitel'noy syrya*, 2001, no. 3, pp. 79–84. (In Russ.)

State Pharmacopoeia of the USSR. XI ed. Vol. 1. Moscow: Medicine, 1987. 335 p. (In Russ.)

State report “On the state of the environment of the Komi Republic in 2024”. Syktyvkar: Ministry of Natural Resources of the Komi Republic, 2025. 178 p. (In Russ.)

Tkachev A.V. Study of plant volatile substances. Novosibirsk: Offset, 2008. 969 p. (In Russ.)

Ustun O., Sezik E., Kurkcuoglu M., Baser K.H.C. Study of the essential oil composition of *Pinus sylvestris* from Turkey. *Chem. Nat. Compd.*, 2006, vol. 42, pp. 26–31. DOI: 10.1007/s10600-006-0029-2.

Vasilyev A.E. Functional morphology of secretory cells of plants. Leningrad: Nauka, 1977. 208 p. (In Russ.)

Venskutonis P.R., Vyskupaityte K., Plausinaitis R. Composition of essential oils of *Pinus sylvestris* L. from different locations of Lithuania. *J. Essent. Oil Res.*, 2000, vol. 12, iss. 5, pp. 559–565. DOI: 10.1080/10412905.2000.9712159.

Xie Q., Liu Z., Li Z. Chemical composition and antioxidant activity of essential oil of six *Pinus* taxa native to China. *Molecules*, 2015, vol. 20, pp. 9380–9392. DOI: 10.3390/molecules20059380.

Yang X., Zhao H.T., Wang J., Meng Q., Zhang H., Yao L., Zhang Y.C., Dong A.J., Ma Y., Wang Z.Y., Xu D.C., Ding Y. Chemical composition and antioxidant activity of essential oil of pine cones of *Pinus armandii* from the Southwest region of China.

Journal of Medicinal Plants Research, 2010, vol. 4, iss. 16, pp. 1668-1672. DOI: 10.5897/JMPR10.217.

Yener H.O., Saygideger S.D., Sarikurkcu C., Yumrutas Ö. Evaluation of Antioxidant Activities of Essential Oils and Methanol Extracts of *Pinus* Species. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 2014, vol. 17, no. 2, pp. 295–302. DOI: 10.1080/0972060X.2014.895164.

Zeng W.-C., Zhang Z., Gao H., Jia L.-R., He Q., Chemical Composition, Antioxidant, and Antimicrobial Activities of Essential Oil from Pine Needle (*Cedrus deodara*). *Journal of Food Science*, 2012. vol. 77, pp. C824-C829. DOI: 10.1111/j.1750-3841.2012.02767.x.

Материал поступил в редакцию 30.07.2025

Плюснина С.Н., Пристова Т.А., Груздев И.В., Пунегов В.В. Компонентный состав эфирных масел хвои *Pinus contorta* Dougl. и *Pinus sylvestris* L. в экспериментальных культурах Сыктывкарского лесничества Республики Коми // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2026. Вып. 258. С. 436–456. DOI: 10.21266/2079-4304.2026.258.436-456

Изучен компонентный состав эфирных масел хвои интродуцированного вида сосны скрученной *Pinus contorta* Dougl. и местного – сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L. в экспериментальных культурах Сыктывкарского лесничества Республики Коми (61°39' с.ш. 50°41' в.д.). Эфирное масло выделяли методом гидродистилляции из смешанных образцов свежей хвои разного возраста. Выход эфирного масла составил 0,35% и 1,64% в пересчете на абсолютно сухую массу хвои у сосны скрученной и сосны обыкновенной соответственно. Хромато-масс-спектрометрический анализ позволил выявить 41 компонент в эфирном масле хвои для каждого вида. В составе доминирует монотерпеновая фракция, что характерно для многих видов сосен и хвойных растений в целом. Качественный состав между видами отличается по одному компоненту: в хвое сосны скрученной не выявлен лимонен, сосны обыкновенной – β-фелландрен. В количественном содержании совпадающих компонентов интродуцента и аборигенной породы наблюдаются значительные различия. В эфирном масле хвои сосны скрученной мажорными компонентами являются β-фелландрен (38,99%), β-пинен (28,56%), α-пинен (7,34%) и α-терпинеол (6,49%). В меньших количествах представлены β-мирцен (2,15%), α-фелландрен (1,95%), α-терпинолен (1,71%). Содержание остальных компонентов – менее 1%. Превосходство β-фелландрена и β-пинена над другими компонентами характерно и для эфирного масла хвои сосны скрученной из естественных ареалов. В составе эфирных масел хвои сосны обыкновенной 53,46% приходится на α-пинен, далее следуют 3-карен (8,55%), τ-кадинол (4,37%), камфен (4,28%) и α-кадинол (4,26%), β-пинен (3,46%), β-кадинен (2,77%), борнилацетат (2,18%), β-мирцен (1,61%), лимонен (1,45%), α-терпинолен (1,31%), α-терпинеол (1,21%), α-мууролен (1,01%) и трициклен (1%). Содержание

остальных компонентов – менее 1%. Высокое содержание α -пинена типично для сосны обыкновенной на европейской части ареала.

Ключевые слова: экспериментальные культуры, *Pinus contorta* Dougl., *Pinus sylvestris* L., эфирное масло.

Plusnina S.N., Pristova T.A., Gruzdev I.V., Punegov V.V. Component composition of essential oils of needles of *Pinus contorta* Dougl. and *Pinus sylvestris* L. in experimental cultures of Syktyvkar forest district of the Komi Republic. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhniceskoj Akademii*, 2026, iss. 258, pp. 436–456 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2026.258.436-456

The component composition of essential oils of the introduced species of lodgepole pine *Pinus contorta* Dougl. and the local Scots pine *Pinus sylvestris* L. needles was studied in experimental cultures of the Syktyvkar forestry of the Komi Republic (61°39' N 50°41' E). The essential oil was isolated by hydrodistillation from mixed samples of fresh needles of different ages. The yield of essential oil was 0,35% and 1,64% based on the absolutely dry weight of needles in lodgepole pine and Scots pine, respectively. Chromatographic mass spectrometric analysis revealed 41 components in the essential oil of needles for each species. The monoterpene fraction dominates in the composition, which is typical for many pine species and conifers in general. The composition of essential oils between species differs by one component: limonene was not detected in lodgepole pine needles, while β -phellandrene was not detected in Scots pine needles. Significant differences are observed in the yield of matching components of the introduced and native species. The major components in the essential oil of lodgepole pine needles are β -phellandrene (38,99%), β -pinene (28,56%), α -pinene (7,34%) and α -terpineol (6,49%). β -myrcene (2,15%), α -phellandrene (1,95%) and α -terpinolene (1,71%) are present in smaller quantities. The content of other components is less than 1%. The superiority of β -phellandrene and β -pinene over other components is also characteristic of the essential oil of lodgepole pine needles from natural area. In the composition of essential oils of Scots pine needles, 53,46% is α -pinene, followed by 3-carene (8,55%), τ -cadinol (4,37%), camphene (4,28%) and α -cadinol (4,26%), β -pinene (3,46%), β -cadinene (2,77%), bornyl acetate (2,18%), β -myrcene (1,61%), limonene (1,45%), α -terpinolene (1,31%), α -terpineol (1,21%), α -muurolene (1,01%) and tricyclene (1%). The content of other components is less than 1%. High content of α -pinene is typical for Scots pine in the European part of its range.

Key words: experimental cultures, *Pinus contorta* Dougl., *Pinus sylvestris* L., essential oil.

ПЛУСНИНА Светлана Николаевна – научный сотрудник Института биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН, кандидат биологических наук. SPIN-код: 9625-4735. ORCID: 0000-0003-0639-2079.

167982, ул. Коммунистическая, д. 28, г. Сыктывкар, Россия. E-mail: pljusnina@ib.komisc.ru

PLYUSNINA Svetlana N. – PhD (Biological), Researcher, Institute of Biology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the RAS. SPIN-code: 9625-4735. ORCID: 0000-0003-0639-2079.

167982. Kommunisticheskaya str. 28. Sykuyvkar. Russia. E-mail: pljusnina@ib.komisc.ru

ПРИСТОВА Татьяна Александровна – научный сотрудник Института биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН, кандидат биологических наук. SPIN-код: 5445-4008. ORCID: 0000-0002-8266-8113.

167982, ул. Коммунистическая, д. 28, г. Сыктывкар, Россия. E-mail: pristova@ib.komisc.ru

PRISTOVA Tatiana A. – PhD (Biological), Researcher, Institute of Biology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the RAS. SPIN-code: 5445-4008. ORCID: 0000-0002-8266-8113.

167982. Kommunisticheskaya str. 28. Sykuyvkar. Russia. E-mail: pristova@ib.komisc.ru

ГРУЗДЕВ Иван Владимирович – ведущий научный сотрудник Института биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН, доктор химических наук. SPIN-код: 4844-2218. ORCID: 0000-0002-6693-3925.

167982, ул. Коммунистическая, д. 28, г. Сыктывкар, Россия. E-mail: gruzdev@ib.komisc.ru

GRUZDEV Ivan V. – DSc (Chemical), Leading Researcher, Institute of Biology of Komi Science Center of the Ural Branch of the RAS. SPIN-code: 4844-2218. ORCID: 0000-0002-6693-3925.

167982. Kommunisticheskaya str. 28. Sykuyvkar. Russia. E-mail: gruzdev@ib.komisc.ru

ПУНЕГОВ Василий Витальевич – старший научный сотрудник Института биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН, кандидат химических наук. SPIN-код: 8053-1931. ORCID: 0000-0001-5493-179X.

167982, ул. Коммунистическая, д. 28, г. Сыктывкар, Россия. E-mail: punegov@ib.komisc.ru

PUNEGOV Vasily V. – PhD (Chemical), Senior Researcher, Institute of Biology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the RAS. SPIN-code: 8053-1931. ORCID: 0000-0001-5493-179X.

167982. Kommunisticheskaya str. 28. Syktyvkar. Russia. E-mail: punegov@ib.komisc.ru