

УДК 582.477, 615.28, 661.74

ФОРМИРОВАНИЕ СОСТАВА ЛЕТУЧЕЙ ФРАКЦИИ ДРЕВЕСНОЙ ЗЕЛЕНИ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В ГОДИЧНОМ ЦИКЛЕ

© *Н.В. Селиванова*, А.А. Красикова, М.А. Гусакова, К.Г. Боголицын*

*Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики
им. академика Н.П. Лаверова УрО РАН, пр. Никольский, 20, Архангельск,
163020, Россия, snatalia-arh@yandex.ru*

В работе изучена годовая динамика накопления и особенностей компонентного состава эфирного масла, выделенного из древесной зелени сосны обыкновенной северо-таежной зоны. Показано, что содержание эфирного масла в течение годового цикла изменяется от 1 до 2.2%, а его компонентный состав непостоянен и изменяется в зависимости от периода вегетации и возраста хвои. Методом газовой хромато-масс-спектрометрии показано, что основу эфирного масла составляют монотерпеновые углеводороды, количество которых достигает 60% в зависимости от сезона и возраста хвои. На долю кислородсодержащих производных и сесквитерпенов приходится 14.5–35.3% и 11.6–20.8% соответственно. Основными компонентами монотерпеновой фракции хвои сосны обыкновенной являются: α -пинен, β -пинен, Δ^3 -карен, β -феландрен. Наиболее представительным компонентом фракции сесквитерпеновых соединений является Δ -кадинен, содержание которого достигает 4.5–6.1%. Статистический анализ изменения содержания терпенов в зависимости от климатических параметров продемонстрировал, что уровень содержания компонентов терпеновой фракции является частью механизмов акклиматизации хвойных растений в субарктических и северотаежных регионах к действию внешних факторов. Для получения представительного образца эфирного масла, обогащенного монотерпеновыми соединениями, обладающего повышенной антибактериальной активностью, рекомендовано проводить сбор древесной зелени сосны обыкновенной в конце периода вегетации до наступления состояния покоя на участках с недостаточной освещенностью. Отмечено, что терпеновая фракция древесной зелени сосны, обладающая широким спектром фармакологических свойств, может выступать в качестве основы для создания фитопрепаратов для профилактики и лечения социально значимых заболеваний.

Ключевые слова: древесная зелень, сосна обыкновенная (*Pinus Sylvestris*), эфирное масло, хромато-масс-спектрометрия, терпеновые соединения.

Для цитирования: Селиванова Н.В., Красикова А.А., Гусакова М.А., Боголицын К.Г. Формирование состава летучей фракции древесной зелени сосны обыкновенной в годичном цикле // Химия растительного сырья. 2025. №4. С. 261–269. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20250415686>.

Введение

Природные соединения и биологически активные вещества являются важными компонентами большого числа лекарственных средств и приобретают все большее значение для развития фармакологии, косметологии и медицины, что объясняет стремительный рост количества разрабатываемых эффективных способов их извлечения из растительного сырья. Изучение химической природы растительных компонентов является основой разработки лекарственных средств и методов лечения различных заболеваний, а также способствует созданию на их основе фармакологических веществ и лекарственных форм для лечения и профилактики бактериальных и вирусных заболеваний. Исследования по антисептическому действию растительных экстрактов и препаратов ведутся в различных направлениях. Ввиду непрерывной адаптации болезнетворных бактерий и микроорганизмов к существующим лекарственным препаратам актуальной задачей в настоящее время является поиск альтернативных, принципиально новых антибактериальных средств. Одной из возможностей решения данной проблемы является использование новых биологически активных веществ природного происхождения, к которым относятся терпеновые соединения растительных объектов. Терпены обладают высокой биологической активностью и способны оказывать не только лекарственное, но и антибактериальное действие [1–4].

* Автор, с которым следует вести переписку.

Для создания лекарственных препаратов на основе растительных биологически активных веществ большое значение имеет доступность исходного сырья и его компонентов, проявляющих определенный вид активности. В качестве такого растительного сырья, обладающего большой доступностью, может выступать древесная зелень сосны обыкновенной (*Pinus Sylvestris*). Древесная зелень является ценным источником широкого спектра ценных веществ: витаминов (водо- и жирорастворимых), сахаров, фенольных соединений (флавоноидов, танинов), пигментов (каротиноидов, хлорофиллов), эфирных масел, жирных кислот, макро- и микроэлементов [5, 6], благодаря чему она находит применение в качестве сырья для получения многих товарных продуктов [7–9]. При этом основную часть определяемых компонентов эфирного масла сосны составляют монотерпены, что обуславливает его потребительские свойства, в частности антимикробную и антисептическую активность. В современной научной литературе имеются работы, демонстрирующие антимикробную и противирусную активность альдегидов монотерпенового ряда [4], что позволяет использовать природные терпеноиды эфирного масла сосны обыкновенной в качестве доступных перспективных объектов для синтеза новых лекарственных препаратов. Помимо этого, фракция терпеновых соединений обладает защитной функцией против воздействия различных биотических факторов и обеспечивает адаптацию растений к условиям произрастания. Варьирование как качественного, так и количественного состава фракции терпеновых соединений (эфирного масла) служит наиболее информативным и чувствительным индикатором состояния растения, отражающим малейшие изменения метаболизма ассимиляционного аппарата.

Среди факторов, определяющих состав эфирного масла и содержание каждого из его компонентов, одно из ведущих мест занимают климатические условия, под длительным и относительно однотипным воздействием которых формируются механизмы синтеза определенного набора ферментов, способствующих продукции компонентов эфирного масла того или иного хемотипа [10]. К наиболее важным факторам абиотической природы относятся температура и влажность воздуха и почвы, освещенность, загрязнение воздуха, механические повреждения. Повышенные температуры и большая освещенность являются определяющими факторами для растения, так как, главным образом, от тепловой и световой энергии зависят продолжительность вегетации, накопление действующих веществ и масса самого растения. Количество осадков и влажность окружающей среды также накладывают определенный отпечаток на количество и состав действующих активных веществ растений.

Таким образом, представляет интерес определение связи «климат – состав эфирного масла» по основным климатическим параметрам, в частности, таким как температура воздуха, количество солнечных часов, относительная влажность воздуха, изменяющихся в разные периоды годичного цикла и, как следствие, оказывающих влияние на количественный и качественный состав терпеновой фракции. В связи с этим целью данной работы – изучение годовой динамики накопления и особенностей компонентного состава эфирного масла, выделенного из древесной зелени сосны обыкновенной северо-таежной зоны.

Экспериментальная часть

Отбор образцов древесной зелени сосны обыкновенной проводили в северной подзоне тайги Архангельской области ежемесячно с мая 2022 г. по апрель 2023 г. с одних и тех же модельных деревьев в пятикратной повторности [11]. Пробы, помещенные в zip-пакеты, транспортировались в сумке-холодильнике и до проведения анализов хранились в морозильной камере. Характеристика основных климатических показателей в период сбора образцов представлена в таблице 1.

Необходимо отметить, что для исследования годовой динамики выхода эфирного масла для анализа брали древесную зелень сосны, а для изучения качественного состава эфирного масла хвои разных возрастов отбирали с побегов отдельно хвою текущего, первого и второго года жизни.

Эфирное масло получали методом гидродистилляции, который основан на способности масел перегоняться с водяным паром [12, 13]. В колбу емкостью 500 см³ помещали 100–150 г измельченного сырья влажностью 48–50% и заливали его дистиллированной водой так, чтобы поверхность воды закрыла растительный материал. Колбу помещали в колбонагреватель, присоединяли насадку для сбора эфирного масла и обратный холодильник. Процесс гидродистилляции в стадии кипения продолжался не менее 5 ч. Объем масла в градуированной части приемника замеряли после окончания перегонки и охлаждения колбы до комнатной температуры.

Таблица 1. Метеорологические показатели в период отбора проб древесной зелени сосны

Месяц	Средняя температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Освещенность, ч
Май 2022	6.8	69	9.1
Июнь 2022	14.5	71	11.5
Июль 2022	19.4	76	11.6
Август 2022	17.5	73	8.1
Сентябрь 2022	7.9	82	5.2
Октябрь 2022	4.9	87	2.4
Декабрь 2022	-9.0	84	0.7
Февраль 2023	-7.7	87	1.4
Март 2023	-5.9	81	2.6
Апрель 2023	0.6	72	3.9

Расчет содержания эфирного масла производили на массу абсолютно сухого растительного материала. Вычисление результатов в массовых процентах проводили согласно формуле (1):

$$\omega = \frac{0.87 \cdot V}{m_c} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где V – объем выделившегося эфирного масла, см³; 0.87 – плотность эфирного масла г/см³; m_c – масса абсолютно сухой навески хвои, г.

Идентификацию индивидуальных соединений эфирного масла проводили методом хромато-масс-спектрометрии с использованием газового хромато-масс-спектрометра GC-MS QP-2010 Ultra (Shimadzu, Япония). Условия хроматографического анализа: колонка Rxi-5 Sil MS (длина колонки – 30 м, внутренний диаметр – 0.25 мм), изотермический режим при 50 °С в течение трех минут, затем программированный подъем температуры со скоростью 10 °С/мин до 320 °С, с выдержкой при конечной температуре 20 мин. Температура испарителя – 230 °С, температура ионизационной камеры – 230 °С, энергия ионизации – 70 эВ. Идентификацию соединений осуществляли по библиотекам масс-спектров NIST 2011 и Wiley 2010 со степенью достоверности выше 85%.

Для оценки статистической значимости влияния основных климатических факторов на изменение содержания исследуемых метаболитов в течение вегетационного периода был проведен расчет коэффициента парной корреляции г-Пирсона, как одного из наиболее удобных и простых способов оценки прямолинейной связи между переменными, позволяющих определить, насколько пропорциональна изменчивость двух переменных.

Результаты и их обсуждение

Выделенное сосновое эфирное масло представляет собой подвижную жидкость светло-желтого цвета с древесно-хвойным запахом. Содержание его в течение годового цикла изменяется от 0.9 до 2.2% (рис. 1), что подтверждают ранее полученные данные [14, 15].

Как видно из рисунка 1, в начале вегетации (май-июнь) с появлением формирующейся хвои происходит некоторое увеличение содержания терпеновых соединений с дальнейшим снижением их содержания до 1% (июль), в том числе за счет интенсивного выделения в атмосферу. Кроме того, считается, что появление летнего минимума обусловлено расходом метаболитов на рост и развитие ассимиляционного аппарата. По завершении его формирования насыщенность маслом древесной зелени возрастает, достигая максимума в сентябре-октябре. Осенью наблюдается наибольшее содержание эфирного масла, выделяемого из древесной зелени (2.2%), что связано с участием терпеновых соединений в адаптации к низким температурам в период покоя [16–18]. К окончанию периода покоя содержание эфирного масла в древесной зелени сосны минимально.

Изменение климатических параметров, как в течение годового цикла, так и на протяжении нескольких лет, в различной степени влияет на содержание отдельных компонентов в составе эфирного масла хвои разных возрастов [19, 20]. Отмечено, что компонентный состав эфирного масла может изменяться также и в пределах лапки древесной зелени, так как лапка содержит хвоинки текущего, первого и второго года жизни (рис. 2). В этой связи интерес представляет исследование выхода, количественного и качественного состава эфирного масла отдельно отобранной хвои текущего, первого и второго года (рис. 2).

Методом гидродистилляции установлено, что выход эфирного масла из хвои текущего, первого и второго лет жизни в разные периоды годового цикла различен (табл. 2).

Отмечено, что максимальное количество масла содержится в хвое текущего года в начальный период вегетации (2.34%). Повышенное содержание эфирного масла в молодых хорошо развитых вегетативных органах объясняется активным протеканием в них метаболических процессов, обуславливающих высокую скорость биосинтеза терпеноидных и других фитоорганических соединений. В дальнейшем с увеличением возраста хвои происходят процессы перераспределения, испарения и накопления терпеновых соединений с наибольшим их содержанием в хвое второго года (2.18%). Снижение количества масла в древесной зелени спелых древостоев связывают с изменением условий их существования по сравнению с молодняками. Однако возрастные изменения компонентного состава масла охвоенных побегов выражаются преимущественно в незначительном варьировании соотношения некоторых соединений [21].

Для идентификации индивидуальных соединений, входящих в состав эфирного масла хвои текущего, 1-го и 2-го годов в зависимости от периода в годичном цикле, методом ГХ/МС исследован качественный состав полученного масла (табл. 3).

Как следует из таблицы 3, компонентный состав эфирного масла непостоянен и изменяется в зависимости от периода вегетации и возраста хвои. Во всех выделенных маслах доминируют моно- и сесквитерпеновые углеводороды и минимально содержание кислородсодержащих соединений. Установлено, что вклад монотерпеновых, кислородсодержащих и сесквитерпеновых компонентов различен.

Основу эфирного масла составляют монотерпеновые углеводороды – до 60% в зависимости от сезона и возраста хвои. На долю кислородсодержащих производных приходится 14.5–35.3%, сесквитерпенов – 11.6–20.8%. При этом особо отчетливо изменения компонентного состава в течение периода вегетации прослеживаются в монотерпеновой фракции. В хвое текущего года за период вегетации содержание монотерпенов увеличивается в 5 раз, достигая порядка 40–60% к окончанию периода вегетации. Основными компонентами монотерпеновой фракции хвои сосны обыкновенной являются: α -пинен, β -пинен, Δ^3 -карен, β -фелландрен, причем содержание α -пинена и Δ^3 -карена в начале вегетативного периода ниже, чем в конце вегетации.

Содержание кислородсодержащих терпенов (с преобладанием α -кадинола) возрастает в летний период, что указывает на увеличение доли окислительных процессов, протекающих в ассимиляционном аппарате сосны. Из фракции сесквитерпеновых соединений можно выделить Δ -кадинен, содержание которого наиболее значимо и достигает 4.5–6.1%.

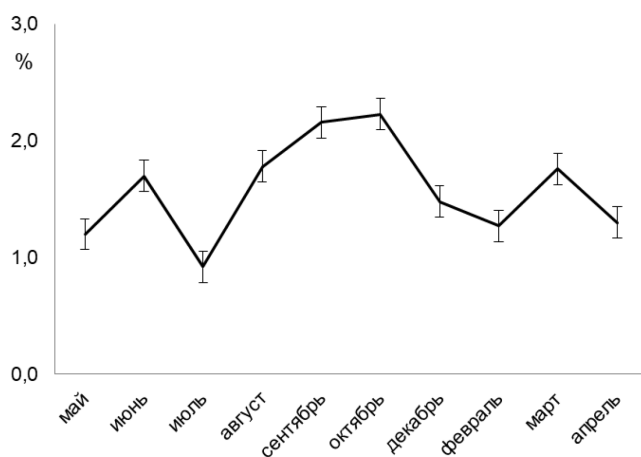


Рис. 1. Изменение содержания эфирного масла в древесной зелени сосны обыкновенной в годичном цикле, %



Рис. 2. Древесная зелень лапки сосны обыкновенной: 1 – хвоя текущего года; 2 – хвоя первого года; 3 – хвоя второго года; 4 – одревесневший побег

Таблица 2. Выход эфирного масла из хвои сосны в зависимости от периода вегетации и возраста хвои (% от массы абс. сухого сырья)

Образец	Начало вегетации	Конец вегетации
Хвоя текущего года	2.34	1.58
Хвоя первого года	1.83	1.98
Хвоя второго года	1.77	2.18

Таблица 3. Групповой состав и содержание основных терпенов эфирного масла сосны обыкновенной в начале и конце периода вегетации (относительная доля в экстракте, %)

Соединение	Время удержания, мин	Хвоя текущего года		Хвоя 1 года		Хвоя 2 года	
		Начало вегетации	Конец вегетации	Начало вегетации	Конец вегетации	Начало вегетации	Конец вегетации
Монотерпены							
Трициклен	7.567	—	0.43	0.50	0.50	0.56	0.51
α -пинен	7.806	2.02	16.01	13.98	18.75	15.61	22.00
Камфен	8.141	—	2.09	2.16	2.33	2.18	2.46
Сабинен	8.602	—	0.38	—	0.39	—	0.39
β -пинен	8.708	—	2.42	2.1	3.71	2.08	4.47
β -мирцен	8.911	—	1.40	2.44	1.6	3.00	1.52
Δ^3 -карен	9.325	3.86	13.08	11.06	13.88	11.94	13.20
2-карен	9.483	—	—	0.14	—	0.19	—
Борнилен	9.709	—	2.72	—	3.69	—	9.87
β -феландрен	9.741	—	3.46	3.58	4.81	3.56	4.75
Лимонен	9.956	4.25	—	—	—	—	—
β -оцимен	9.995	—	0.54	0.63	0.68	0.40	0.56
γ -терпинен	10.241	—	—	0.28	—	0.28	0.19
α -терпинолен	10.749	—	0.83	1.63	1.19	1.65	1.16
Сумма		10.13	43.36	38.56	51.53	41.45	61.08
Сесквитерпены							
β -элемен	15.616	1.51	1.70	1.77	1.43	1.74	1.18
Лонгифолен	15.990	2.53	—	0.24	—	0.36	—
Кариофиллен	16.118	1.27	2.85	3.51	2.78	3.07	1.85
α -гумулен	16.611	—	0.68	0.72	0.61	0.60	0.40
α -аморфен	16.785	0.59	—	0.35	—	0.53	—
γ -мууролен	16.822	—	2.09	—	1.89	—	1.85
Гермакрен Д	16.946	1.57	2.02	3.97	1.75	3.85	1.49
Δ -гуайен	17.073	—	0.51	—	0.53	—	—
Гермакрен В	17.140	—	3.73	—	3.59	—	—
Δ -кадинен	17.391	1.45	6.12	5.24	5.76	5.18	4.56
Изолиден	17.400	—	—	0.19	—	0.46	—
Каламенен	17.449	0.76	0.42	—	—	—	—
α -мууролен	17.651	1.96	0.30	3.24	0.23	2.80	2.23
α -цедрен	18.835	—	0.39	—	0.31	—	—
Сумма		11.64	20.81	19.23	18.88	18.59	13.56
Кислородсодержащие производные терпенов							
цимол	9.610	—	0.33	0.33	0.22	0.30	0.26
терпинен-4-ол	12.411	0.72	0.25	0.48	—	0.25	—
цимен-7-ол	12.623	5.99	0.15	—	—	—	—
α -терпинеол	12.705	1.38	—	1.48	—	0.30	—
вербенон	12.851	2.48	—	—	—	—	0.78
карвон	13.411	—	—	—	—	—	0.56
борнилацетат	14.031	2.70	2.99	1.48	2.63	0.95	2.46
α -терпенилацетат	15.856	2.00	—	0.39	—	0.34	0.24
гермакрен Д-4-ол	17.195	—	—	0.30	—	0.47	—
спатуленол	18.224	2.11	1.36	1.60	1.18	1.44	1.51
β -кариофиллен оксид	18.311	9.04	—	0.42	—	0.49	0.42
α -мууролол	19.010	1.21	—	0.22	—	—	—
α -кадинол	19.175	7.68	16.58	11.14	12.15	10.09	8.43
Δ -кадинол	19.350	—	—	0,76	—	0.69	—
Сумма		35.31	14.58	18.78	16.15	15.32	14.66
Дитерпеноиды	24.150	9.91	13.93	16.04	13.41	15.89	13.19

Полученные нами данные по составу эфирного масла, выделенного из хвои сосны, хорошо согласуются с данными работы [22], где приведены результаты анализа состава эфирного масла *Pinus sylvestris*, наиболее распространенной на европейской территории.

Как было отмечено выше, компонентный состав эфирного масла является результатом действия климатических условий на растения, обеспечивая, по всей вероятности, наилучшую их адаптацию к текущим условиям произрастания. Как правило, на соотношение компонентов в эфирном масле в большей степени оказывают влияние температурно-влажностные условия. Для статистической оценки данных зависимостей был проведен расчет коэффициента парной корреляции Пирсона (табл. 4).

Согласно данным метеорологических показателей, в период отбора проб древесной зелени сосны (табл. 1) отмечена явная зависимость содержания терпенов от климатических параметров. Для фракции эфирного масла наблюдается заметная ($r=0.5-0.7$) обратная зависимость от освещенности и умеренная ($r=0.3-0.5$) прямая корреляционная зависимость от влажности в период вегетации, что свидетельствует о том, что недостаток освещенности и избыток влаги усиливают биосинтез компонентов терпеновой фракции, очевидно, выполняющих защитные функции.

Таблица 4. Значения коэффициента корреляции Пирсона между содержанием эфирного масла (ЭМ) и температурой (t), относительной влажностью воздуха (h), освещенностью (i)

Зависимости	Период вегетации	Период покоя
ЭМ vs t	-0.3502	0.5806
ЭМ vs h	0.4822	0.4238
ЭМ vs i	-0.7158	0.0504

Отмечено, что в период покоя освещенность утрачивает свое влияние на накопление компонентов эфирного масла, и на первый план выходит преобладающее заметное прямое влияние температуры, причем влажность сохраняет умеренное прямое влияние на протяжении всего годичного цикла. Влияние изменения освещенности зимой и в период вегетации на количественный и качественный состав фракции терпеновых соединений сочетается с механизмами работы фотосистем II и I. Согласно этим механизмам, в зимний период не прекращаются протекающие в хвое химические процессы, а происходит переключение между фотосистемами, и при пониженной освещенности зимой работает фотосистема I, а не фотосистема II [23]. Так, рассчитанные нами с помощью корреляционного анализа данных математические коэффициенты косвенно подтверждают снижение интенсивности действия фотосистемы II и вовлечения фотосистемы I в процессы фотосинтеза зимой. Выявленные закономерности свидетельствуют о явно выраженных механизмах адаптации растительных объектов, произрастающих в меняющихся условиях бореальной зоны.

Таким образом, отмечено, что уровень содержания компонентов терпеновой фракции является частью механизмов акклиматизации хвойных растений в субарктических и северотаежных регионах к действию внешних факторов. Проведенные исследования количественного и качественного состава терпеновой фракции растительных объектов с последующей оценкой их потенциала для фитохимии и медицины могут выступать в качестве основы для создания фармакологических форм для профилактики и лечения социально значимых заболеваний. Проведенная в дальнейшем оценка чувствительности микроорганизмов различных таксономических групп к действию компонентов терпенового комплекса позволит определить спектр его антимикробного действия, фармакологические свойства и, как следствие, перспективность его промышленного использования в композиции фитопрепаратов, обеспечивающих здоровьесбережение населения.

Выводы

Таким образом, на основании проведенных расчетов корреляционных зависимостей содержания эфирного масла от климатических условий в годичном цикле можно сделать вывод, что недостаток освещенности и избыток влаги в период вегетации усиливают биосинтез компонентов терпеновой фракции; в период покоя освещенность утрачивает свое влияние на накопление терпенов, и на первый план выходит преобладающее влияние температуры. Исходя из полученных зависимостей с практической точки зрения для получения представительного образца эфирного масла, обогащенного монотерпеновыми соединениями и, как результат, обладающего повышенной антибактериальной активностью, можно рекомендовать проводить сбор древесной зелени сосны обыкновенной в конце периода вегетации до наступления состояния покоя на участках с недостаточной освещенностью.

Финансирование

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН № 122011700252-1 «Физико-химические основы селективных методов выделения, характеристики и применение биологически активных комплексов растительных объектов высоких широт для решения задач экологического контроля и здоровьесбережения» с использованием оборудования ЦКП КТ РФ-Арктика (ФИЦКИА УрО РАН).

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. Flores C., Alarcón J., Becerra J., Bittner M., Hoeneisen M., Silva M. Extractable compounds of native trees: chemical and biological study I: Bark of *Prumnopitys andina* (Podocarpaceae) and *Austrocedrus chilensis* (Cupressaceae) // Bol. Soc. Chil. Quím. 2001. Vol. 46 (1). 61. <https://doi.org/10.4067/S0366-16442001000100010>.
2. Carlos A., Cristina Th., Tania Yá., Souza-Brito Alba R.M., ViCtor B., DéBora De P., Anderson F.L., Guillermo Sch.-H., Jaime A.R. Gastroprotective activity of ferruginol in mice and rats: effects on gastric secretion, endogenous prostaglandins and non-protein sulfhydryls // J. of Pharmacy and Pharmacology. 2008. Vol. 60, no. 2. Pp. 245–251. <https://doi.org/10.1211/jpp.60.2.0014>.
3. Chao K.P., Hua K.F., Hsu H.Y., Su Y.C., Chang S.T. Anti-inflammatory activity of sugiol, a diterpene isolated from *Calocedrus formosana* bark // Planta Med. 2005. Vol. 71(4). Pp. 300–305. <https://doi.org/10.1055/s-2005-864094>.
4. Яровая О.И., Салахутдинов Н.Ф. Моно- и сесквитерпены в качестве стартовой платформы для создания противовирусных средств // Успехи химии. 2021. Т. 90, №4. С. 488–510. <https://doi.org/10.1070/RCR4969>.
5. Ушанова В.М., Ушанов С.В., Репях С.М. Состав и переработка древесной зелени и коры пихты сибирской. Красноярск, 2008. 257 с.
6. Журавлева Л.Н., Девятловская А.Н., Рубчевская Л.П. Древесная зелень сосны обыкновенной – перспективный источник биологически активных веществ // Вестник КрасГАУ. 2008. №3. С. 166–169.
7. Ягодин В.И. Основы химии и технологии переработки древесной зелени. Л., 1981. 224 с.
8. Патент №2677686 (РФ). Лекарственное средство, фармацевтическая композиция, способ лечения урогенитальных заболеваний организма человека, вызванных микроорганизмами вида *Ureaplasma urealyticum* / В.С. Султанов, Л.Б. Куляшова, Т.В. Никитина. 2019.
9. Репях С.М., Рубчевская Л.П. Химия и технология переработки древесной зелени. Красноярск, 1994. 320 с.
10. Vickers C.E., Gershenzon J., Lerdau M.T., Loreto F. A unified mechanism of action for volatile isoprenoids in plant abiotic stress // Nat. Chem. Biol. 2009. Vol. 5(5). Pp. 283–291. <https://doi.org/10.1038/nchembio.158>.
11. Helmisari H.S. Spatial and age-related variation in nutrient concentration of *Pinus sylvestris* needles // Silva Fennica. 1992. Vol. 26 (3). Pp. 145–153.
12. Ткачев А.В. Исследование летучих веществ растений. Новосибирск, 2008. 969 с.
13. Ребко С.В., Мельник П.Г., Ламоткин С.А., Тупик П.В., Поплавская Л.Ф., Носников В.В. Анализ содержания основных компонентов эфирного масла в хвое различных климатипов и подвидов сосны обыкновенной // Resources and Technology. 2021. Т. 18, №3. С. 17–36. <https://doi.org/10.15393/j2.art.2021.5783>.
14. Селиванова Н.В., Красикова А.А., Гусакова М.А., Боголицын К.Г., Ивахнов А.Д. Состав и антимикробная активность эфирного масла и сверхкритических экстрактов древесной зелени *Pinus Sylvestris* // Сверхкритические флюиды: теория и практика. 2020. Т. 15, №2. С. 42–58. <https://doi.org/10.34984/SCFTP.2020.15.2.004>.
15. Елисеева И.С., Селиванова Н.В., Пустынная М.А., Боголицын К.Г., Красикова А.А., Гусакова М.А. Особенности компонентного состава сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и можжевельника обыкновенного (*Juniperus communis* L.) // Физикохимия растительных полимеров. Архангельск, 2021. С. 74–77.
16. Судачкова Н.Е., Гирс Г.И., Прокушкин С.Г. Физиология сосны обыкновенной. Новосибирск, 1990. 248 с.
17. Селиванова Н.В., Самсонова Н.А., Гусакова М.А., Боголицын К.Г. Состав экстрактивных веществ древесной зелени можжевельника обыкновенного (*Juniperus communis* L.) приарктических территорий // Лесной журнал. 2019. №6. С. 241–254. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2019-6-241>.
18. Ламоткин С.А., Скаковский Е.Д., Механикова Е.Г., Гиль Е.В., Романюк Л.И. Сезонная динамика терпеновых углеводородов эфирного масла сосны обыкновенной (*Pinus Sylvestris* L.) // Труды БГТУ. 2019. №1. С. 17–24.
19. Пахарькова Н.В., Радогуз М.С., Голубев С.В. Особенности содержания эфирного масла в хвое пихты сибирской первого и второго года // Химия растительного сырья. 2012. №1. С. 101–104.
20. Герлинг Н.В., Тарасов С.И., Пунегов В.В., Груздев И.В. Оценка годовой динамики выхода эфирного масла хвои *abies sibirica* в среднетаежной подзоне Республики Коми // Растительные ресурсы. 2019. Т. 55, №2. С. 268–278. <https://doi.org/10.1134/S0033994619020043>.

21. Осмоловская Н.А., Паршикова В.Н., Степень Р.А. Влияние биоценологических и технологических факторов на выход и состав кедрового эфирного масла // *Химия растительного сырья*. 2001. №4. С. 97–102.
22. Степень Р.А. Экологическая и ресурсная значимость летучих терпенов сосняков средней Сибири // *Химия растительного сырья*. 1999. №2. С. 125–129.
23. Bag P., Chukhutsina V., Zhang Z., Paul S., Ivanov A.G., Shutova T., Croce R., Holzwarth A.R., Jansson S. Direct energy transfer from photosystem II to photosystem I confers winter sustainability in Scots Pine // *Nature Communications*. 2020. Vol. 11(1). Pp. 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-20137-9>.

Поступила в редакцию 9 августа 2024 г.

После переработки 24 октября 2024 г.

Принята к публикации 30 сентября 2025 г.

*Selivanova N.V.**, *Krasikova A.A.*, *Gusakova M.A.*, *Bogolitsyn K.G.* FORMATION OF THE COMPOSITION OF THE VOLATILE FRACTION OF TREE GREENERY OF SCOTS PINE IN THE ANNUAL CYCLE

N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, ave. Nikolskiy, 20, Arkhangelsk, 163012, Russia, snatalia-arh@yandex.ru

The annual dynamics of accumulation and features of the chemical composition of essential oil extracted from the tree greenery of the common pine grown in the North taiga zone was studied in the paper. It was shown that the essential oil content varies from 1 to 2.4% during the annual cycle. The chemical composition of the essential oil is not constant and varies depending on the growing season and the age of the needles. The main part of the essential oil is made up of monoterpene hydrocarbons – up to 60%, depending on the season and the age of the needles. Oxygen-containing derivatives account for 14.4–35.2%, sesquiterpenes – 11.6–27.8%. The main components of the monoterpene fraction of pine needles are: α -pinene, β -pinene, Δ^3 -carene, β -phellandrene. Δ -cadinene should be noted among the sesquiterpene compounds; its content is most significant and reaches 4.5–6.1%. To obtain a representative sample of essential oil enriched with monoterpene compounds with high antibacterial activity, it is recommended to collect tree greenery of scots pine at the end of the growing season before the dormant period on the territories with insufficient illumination.

Keywords: tree greenery, scots pine, essential oil, chromato-mass spectrometry, terpene compounds.

For citing: Selivanova N.V., Krasikova A.A., Gusakova M.A., Bogolitsyn K.G. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2025, no. 4, pp. 261–269. (in Russ.). <https://doi.org/10.14258/jcprm.20250415686>.

References

1. Flores C., Alarcón J., Becerra J., Bittner M., Hoeneisen M., Silva M. *Bol. Soc. Chil. Quím.*, 2001, vol. 46 (1), 61. <https://doi.org/10.4067/S0366-16442001000100010>.
2. Carlos A., Cristina Th., Tania Yá., Souza-Brito Alba R.M., ViCtor B., DéBora De P., Anderson F.L., Guillermo Sch.-H., Jaime A.R. *J. of Pharmacy and Pharmacology*, 2008, vol. 60, no. 2, pp. 245–251. <https://doi.org/10.1211/jpp.60.2.0014>.
3. Chao K.P., Hua K.F., Hsu H.Y., Su Y.C., Chang S.T. *Planta Med.*, 2005, vol. 71(4), pp. 300–305. <https://doi.org/10.1055/s-2005-864094>.
4. Yarovaya O.I., Salakhutdinov N.F. *Uspekhi khimii*, 2021, vol. 90, no. 4, pp. 488–510. <https://doi.org/10.1070/RCR4969>. (in Russ.).
5. Ushanova V.M., Ushanov S.V., Repyakh S.M. *Sostav i pererabotka drevesnoy zeleni i kory pikhty sibirskoy*. [Composition and processing of wood greenery and bark of Siberian fir]. Krasnoyarsk, 2008, 257 p. (in Russ.).
6. Zhuravleva L.N., Devyatlovskaya A.N., Rubchevskaya L.P. *Vestnik KrasGAU*, 2008, no. 3, pp. 166–169. (in Russ.).
7. Yagodin V.I. *Osnovy khimii i tekhnologii pererabotki drevesnoy zeleni*. [Fundamentals of Chemistry and Technology of Processing Wood Greens]. Leningrad, 1981, 224 p. (in Russ.).
8. Patent 2677686 (RU). 2019. (in Russ.).
9. Repyakh S.M., Rubchevskaya L.P. *Khimiya i tekhnologiya pererabotki drevesnoy zeleni*. [Chemistry and technology of processing wood greenery]. Krasnoyarsk, 1994, 320 p. (in Russ.).
10. Vickers C.E., Gershenzon J., Lerdau M.T., Loreto F. *Nat. Chem. Biol.*, 2009, vol. 5(5), pp. 283–291. <https://doi.org/10.1038/nchembio.158>.
11. Helmisari H.S. *Silva Fennica*, 1992, vol. 26 (3), pp. 145–153.

* Corresponding author.

12. Tkachev A.V. *Issledovaniye letuchikh veshchestv rasteniy*. [Study of plant volatiles]. Novosibirsk, 2008, 969 p. (in Russ.).
13. Rebko S.V., Mel'nik P.G., Lamotkin S.A., Tupik P.V., Poplavskaya L.F., Nosnikov V.V. *Resources and Technology*, 2021, vol. 18, no. 3, pp. 17–36. <https://doi.org/10.15393/j2.art.2021.5783>. (in Russ.).
14. Selivanova N.V., Krasikova A.A., Gusakova M.A., Bogolitsyn K.G., Ivakhnov A.D. *Sverkhkriticheskiye flyuidy: teoriya i praktika*, 2020, vol. 15, no. 2, pp. 42–58. <https://doi.org/10.34984/SCFTP.2020.15.2.004>. (in Russ.).
15. Yelisseyeva I.S., Selivanova N.V., Pustynnaya M.A., Bogolitsyn K.G., Krasikova A.A., Gusakova M.A. *Fizikokhimiya rastitel'nykh polimerov*. [Physicochemistry of plant polymers]. Arkhangel'sk, 2021, pp. 74–77. (in Russ.).
16. Sudachkova N.Ye., Girs G.I., Prokushkin S.G. *Fiziologiya sosny obyknovennoy*. [Physiology of Scots pine]. Novosibirsk, 1990, 248 p. (in Russ.).
17. Selivanova N.V., Samsonova N.A., Gusakova M.A., Bogolitsyn K.G. *Lesnoy zhurnal*, 2019, no. 6, pp. 241–254. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2019-6-241>. (in Russ.).
18. Lamotkin S.A., Skakovskiy Ye.D., Mekhanikova Ye.G., Gil' Ye.V., Romanyuk L.I. *Trudy BGTU*, 2019, no. 1, pp. 17–24. (in Russ.).
19. Pakhar'kova N.V., Radoguz M.S., Golubev S.V. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2012, no. 1, pp. 101–104. (in Russ.).
20. Gerling N.V., Tarasov S.I., Punegov V.V., Gruzdev I.V. *Rastitel'nyye resursy*, 2019, vol. 55, no. 2, pp. 268–278. <https://doi.org/10.1134/S0033994619020043>. (in Russ.).
21. Osmolovskaya N.A., Parshikova V.N., Stepen' R.A. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2001, no. 4, pp. 97–102. (in Russ.).
22. Stepen' R.A. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 1999, no. 2, pp. 125–129. (in Russ.).
23. Bag P., Chukhutsina V., Zhang Z., Paul S., Ivanov A.G., Shutova T., Croce R., Holzwarth A.R., Jansson S. *Nature Communications*, 2020, vol. 11(1), pp. 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-20137-9>.

Received August 9, 2024

Revised October 24, 2024

Accepted September 30, 2025

Сведения об авторах

Селиванова Наталья Владимировна – кандидат химических наук, старший научный сотрудник лаборатории химии растительных биополимеров, snatalia-arh@yandex.ru

Красикова Анна Алексеевна – кандидат химических наук, старший научный сотрудник лаборатории химии растительных биополимеров, ann.krasikova@gmail.com

Гусакова Мария Аркадьевна – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории химии растительных биополимеров, заведующая лабораторией химии растительных биополимеров, mariya_gusakova@mail.ru

Боголицын Константин Григорьевич – доктор химических наук, главный научный сотрудник лаборатории химии растительных биополимеров, k.bogolitsin@narfu.ru

Information about authors

Selivanova Natalia Vladimirovna – Candidate of Chemical Sciences, Senior Researcher at the Laboratory of Chemistry of Plant Biopolymers, snatalia-arh@yandex.ru

Krasikova Anna Alekseevna – Candidate of Chemical Sciences, Senior Researcher at the Laboratory of Chemistry of Plant Biopolymers, ann.krasikova@gmail.com

Gusakova Maria Arkadyevna – Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher of the Laboratory of Chemistry of Plant Biopolymers, Head of the Laboratory of Chemistry of Plant Biopolymers, mariya_gusakova@mail.ru

Bogolitsyn Konstantin Grigorievich – Doctor of Chemical Sciences, Chief Researcher of the Laboratory of Chemistry of Plant Biopolymers, k.bogolitsin@narfu.ru