

УДК 630.187.1.+630.551.52

С. А. Ламоткин¹, Е. Д. Скаковский²,
Е. Г. Механикова¹, Е. В. Гиль¹, Л. И. Романюк¹

¹Белорусский государственный технологический университет

²Институт физико-органической химии Национальной академии наук Беларуси

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ТЕРПЕНОВЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ ЭФИРНОГО МАСЛА СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS* L.)

На территории естественных лесных массивов с 25 деревьев в течение года отобраны образцы древесной зелени сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). Отбор образцов древесной зелени с хвойных насаждений производился в экологически чистой зоне, что позволило исключить влияние техногенных факторов на результаты дальнейших исследований. Из всех отобранных образцов было выделено эфирное масло, содержание которого изменялось на протяжении года в пределах 2,1–2,6%. Измерены плотность и показатель преломления выделенных эфирных масел, проанализирована динамика изменения этих показателей. Методом спектроскопии ЯМР и газожидкостной хроматографии выполнен анализ динамики содержания пинена, карена, камфена, лимонена, борнилацетата, кариофиллена и кадинена, как основных соединений в эфирном масле в течение года. Детально проанализировано изменение группового состава масла. Даны рекомендации по практическим аспектам заготовки и использованию эфирного масла сосны обыкновенной.

Ключевые слова: сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), эфирное масло, сезонная динамика, состав, ЯМР-спектроскопия, хроматография.

S. A. Lamotkin¹, E. D. Skakovskiy², E. G. Mekhanikova¹, E. V. Gil¹, L. I. Romanyuk¹

¹Belarusian State Technological University

²Institute of Physical Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus

SEASON DYNAMICS TERPENE HYDROCARBONS OF SCOTS PINE ESSENTIAL OIL (*PINUS SYLVESTRIS* L.)

They are selected samples of *Pinus sylvestris* L. wood greens on the territory of natural large forests from 25 trees during the year. Content of toxic elements does not exceed admissible values and it is characteristic for environmentally safe areas. Sampling of wood greens from coniferous plants growing in the ecologically clean area, allowed to exclude influence of technical factors on the results of further researches. Essential oil was allocated from all selected samples, content of essential oil changed within the limits of 2.1–2.6% during the year. Density and the refractive index of allocated essential oils are measured, dynamics of change of these ratings is analysed. Analysis of dynamics of the content pinene, carene, camphene, limonene, bornyl acetate, caryophyllene and cadinene, as the main connections in essential oil was carried out by methods of the NMR spectroscopy and gasliquid chromatography during the year. Detailed analysis of group composition changes of oil is conducted. Recommendations of practical aspects of preparation and use of *Pinus sylvestris* L. essential oil are offered.

Key words: *Pinus sylvestris* L., essential oil, season dynamics, composition, NMR spectroscopy, chromatography.

Введение. Комплексное рациональное использование лесных ресурсов предусматривает переработку отходов древесины, которые образуются в процессе лесозаготовок и лесопиления [1]. Внимание специалистов привлекает изучение возможности использования всей биомассы дерева, в том числе и такой специфической ее части, как древесная зелень.

На лесосеках при сплошных рубках остается не менее 20% всей органической массы при рубках ухода от 80 до 100%. Кроме того, на деревообрабатывающих предприятиях древесные отходы составляют от 30 до 50%. Из общего количества экономически доступные отходы до сих пор используются крайне мало. Перера-

ботка древесной зелени, оставляемой только на лесосеках, позволит получить продукты, необходимые для народного хозяйства.

Изучению химического состава древесной зелени хвойных посвящено большое число работ. Одни классы соединений изучены широко, другие, напротив, меньше, а наличие некоторых компонентов только предполагается. К наиболее важному классу биологически активных веществ древесной зелени относятся эфирные масла [2, 3].

Перспективными направлениями работ в настоящее время являются поиск и выявление новых и перспективных эфирномасличных видов растений, оценка их природных ресурсов, определение содержания эфирного масла в сырье

и установление компонентного состава входящих веществ, поиск биологической активности и создание новых лечебных или профилактических препаратов.

Леса Республики Беларусь состоят на 59,8% из хвойных пород деревьев [4], при этом наиболее распространенным видом является сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.).

Эфирное масло растений рода *Pinus* обладает рядом ценных свойств, что позволяет использовать его при производстве широкого спектра продукции [5, 6]. В связи с этим изучению свойств, а также химического состава эфирного масла сосны под влиянием различных антропогенных и биоценологических факторов посвящено значительное количество работ [7, 8].

Следует отметить, что потребительские и сырьевые свойства эфирных масел существенно изменяются в течение года. Динамика изменения содержания терпеновых углеводов в эфирном масле хвойных пород деревьев наиболее детально изучена на примере рода *Abies* [9, 10], произрастающих в Сибирском регионе. Изучению эфирного масла рода *Pinus* посвящено значительно меньшее количество работ [11, 12], при этом вопросы сезонной динамики накопления основных компонентов применительно к территории Республики Беларусь рассмотрены недостаточно.

Цель настоящей работы – анализ динамики изменения состава терпеновых углеводов эфирных масел хвои сосны обыкновенной на протяжении календарного года в условиях Республики Беларусь.

Методика эксперимента. Объектами исследования служили 25–40-летние деревья сосны обыкновенной, произрастающие на территории естественных лесных массивов. Образцы хвои отбирали в декабре с 25 деревьев, что позволяет получить результаты на 95%-ном доверительном уровне [9].

Поскольку многие лесные массивы Республики Беларусь расположены на территориях с высоким уровнем загрязнений промышленными поллютантами, начальным этапом отбора проб являлась проверка однородности хвои путем измерения мощности дозы γ -излучения радионуклидов с помощью дозиметра РКСБ-104. Отобранные образцы считались однородными по содержанию в них γ -излучающих радионуклидов, если результаты измерений различались не более чем на 50% [13].

Степень загрязненности образцов радионуклидами определяли по величине удельной активности Cs^{137} и Sr^{90} . Содержание Cs^{137} в образцах хвои контролировалось по стандартной методике на радиометре РУГ-91М, а удельную активность изотопов Sr^{90} определяли на радиометре РУБ-91 [14].

Кроме того, во всех образцах хвои было определено содержание токсичных элементов Pb, Cd, Zn, Cu, Co, Ni, Mn, Cr методом атомно-абсорбционного анализа [15]. Минерализацию образцов хвои выполняли на приборе микро-волновой подготовки МС-6 по методике, описанной в инструкции к прибору. Содержание серы определяли методом нефелометрии по стандартной методике [16].

Измерения содержания металлов, серы и компонентов эфирного масла проводили в трехкратной повторности. Статистический анализ выполняли в соответствии с методиками, изложенными в [17]. Результаты трех независимых измерений представлены как среднее арифметическое значение. Относительная ошибка определения, усредненная по трем измерениям, не превышала 5%.

Отобранную хвою отделяли от стволиков, измельчали до размера 3–5 мм, составляли навеску от 200 до 250 г и из нее методом гидродистилляции в течение 6 ч отгоняли эфирное масло, а количественный выход определяли вольюметрически. Выход эфирного масла из навески сырья был рассчитан с учетом влажности на абсолютно сухую массу.

Важными физико-химическими характеристиками любого эфирного масла являются показатель преломления и плотность. Величину этих показателей оценивали согласно ГОСТ 14618.10–78 [18].

Качественный и количественный анализ проводился совместно методами ЯМР-спектроскопии и хроматографии [19]; совместное использование этих методов показало их высокую согласованность в пределах относительной ошибки измерения.

Хроматографический анализ выполняли на хроматографе Кристалл 5000.1 с использованием кварцевой капиллярной колонки длиной 60 м с нанесенной фазой – 100%-ным диметилсилоксаном. Условия хроматографирования: изотермический режим при 70°C в течение 20 мин, затем программированный подъем температуры со скоростью 2°C/мин до 150°C с выдержкой при конечной температуре 40 мин. Температура испарителя 250°C. Идентификацию отдельных компонентов осуществляли с использованием эталонных соединений, а также на основании известных литературных данных по индексам удерживания [20].

Для анализа эфирные масла (0,1 мл) растворяли в 0,4 мл CDCl_3 . Запись спектров ЯМР проводилась на спектрометрах BS-587 А, BS-567 А (Чехия) и AVANCE-500 (Германия) с рабочими частотами для ядер ^1H – 80, 100 и 500 МГц соответственно и для ядер ^{13}C – 20, 25 и 125 МГц соответственно. Запись выполняли при темпе-

ратуре 293 К, в качестве внутреннего стандарта в ^1H спектрах использовали сигнал CHCl_3 ($\delta = 7,27$ м.д.), ^{13}C – сигнал растворителя ($\delta = 77,7$ м.д.). Для записи ^1H ЯМР-спектров использовали 30-градусный импульс с релаксационной задержкой (RD) 5 с между импульсами, что обеспечивает количественное накопление сигналов. Анализ спектров показал, что практически все соединения легко идентифицируются по протонным спектрам в области частот 3,8–7,3 м.д., причем сигналы разных соединений не накладываются, что облегчает анализ.

Результаты и их обсуждение. Хорошо известно, что содержание эфирного масла и его химический состав напрямую зависят от степени загрязненности территории произрастания промышленными поллютантами [21]. Основными токсикантами, воздействующими на хвойные растения и накапливающимися в них, являются соединения серы, в основном диоксид серы, и тяжелые металлы, в частности свинец [22]. Измеренное содержание серы ((905 ± 10) мг/кг а.с.д.) и свинца ($(0,12 \pm 0,01)$ мг/кг а.с.д.) незначительно изменяется в течение года.

Содержание Cd, Co, Cu, Ni, Zn, Mn, Cr достаточно низкое и скорее всего не оказывает влияния на состав масла. Сезонные изменения содержания этих токсичных элементов в хвое были незначительными и находились в пределах ошибки измерений. Также следует отметить низкий уровень γ -излучения ($0,09$ мкЗ/ч) и содержания Sr^{90} и Cs^{137} в исследованных образцах древесной зелени на уровне 12 и 9 Бк/кг соответственно. Как показано ранее, такие данные по содержанию серы, свинца и ряда других элементов в хвое в течение года позволяют утверждать, что изучаемые сосновые насаждения расположены в районе с минимальным уровнем загрязнения промышленными поллютантами [23].

В первую очередь при оценке перспективности сырья древесной зелени для промышленного использования, получения биологически

активных веществ необходимо было оценить выход эфирного масла и его интегральные характеристики (табл. 1).

Выделенное сосновое масло представляло собой жидкость светло-желтого цвета с древесно-хвойным запахом и жгучим вкусом, плотностью $0,8628\text{--}0,8639$ г/см 3 .

Следует отметить, что наибольшее содержание эфирного масла наблюдается зимой, а также в весенние месяцы. Высокое содержание эфирного масла в апреле и мае обусловлено интенсивным протеканием процессов биосинтеза в хвое.

В зимние месяцы в результате остановки всех обменных процессов внутри древесины идет процесс накопления терпеноидов. Низкие температуры в зимние месяцы также способствуют сохранению терпеноидов внутри хвои. В летние месяцы средняя концентрация летучих веществ (эфирного масла) в сосновом лесу составляет $1,5\text{--}2,5$ мг/м 3 [24], что свидетельствует об их интенсивном выделении в атмосферу, вследствие чего снижается (около 15%) содержание эфирного масла в образцах.

Некоторые различия в величинах показателя преломления связаны с внутренними изменениями химического состава терпеноидов в течение года, что хорошо коррелирует с данными работ [25, 26]. При этом отличия в выходе масла и его характеристиках подтверждают тот факт, что состав и свойства эфирного масла изменяются под влиянием не только биотических факторов, техногенного воздействия, но и в рамках одного рода.

Поскольку детальный анализ компонентного состава эфирного масла сосны методом спектроскопии ЯМР и газожидкостной хроматографии проводился ранее [27], на основании спектра ЯМР ^{13}C были выбраны основные компоненты с высоким содержанием на протяжении года (рис. 1). В табл. 2 представлена динамика накопления данных компонентов эфирного масла сосны, а также изменения фракционного состава.

Таблица 1

Изменение физико-химических показателей эфирного масла сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в течение года

Месяц	Выход масла, % а.с.д.	Плотность, г/см 3	Показатель преломления при 20°C
Январь	2,6	0,8633	1,4850
Февраль	2,5	0,8628	1,4849
Март	2,5	0,8632	1,4844
Апрель	2,4	0,8639	1,4850
Май	2,2	0,8638	1,4844
Июнь	2,1	0,8639	1,4841
Июль	2,1	0,8639	1,4841
Август	2,1	0,8635	1,4846
Сентябрь	2,3	0,8634	1,4846
Октябрь	2,5	0,8633	1,4850
Ноябрь	2,4	0,8634	1,4852
Декабрь	2,6	0,8633	1,4852

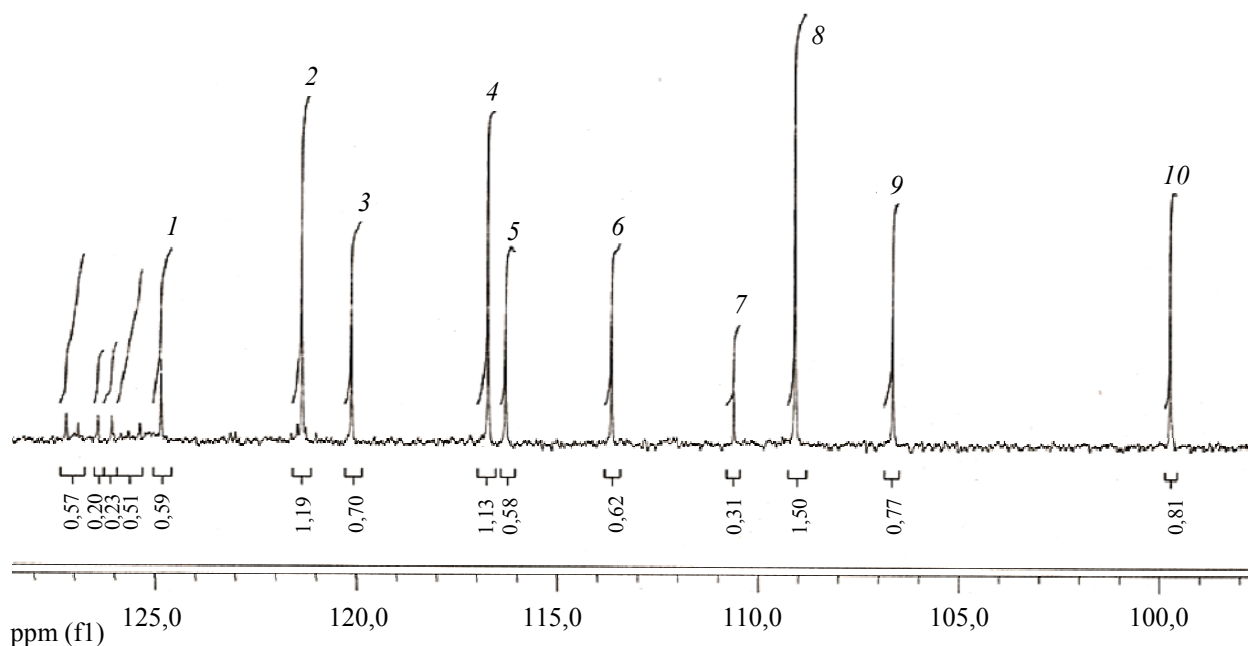


Рис. 1. Фрагмент спектра ЯМР ^{13}C эфирного масла сосны обыкновенной:
1, 6 – β -кариофиллен; 2, 8 – лимонен; 3 – Δ^3 -карен; 4 – α -пинен; 5 – мирцен;
7 – β -фелландрен; 9 – β -пинен; 10 – камфен

Таблица 2

**Изменение группового состава и содержания основных терпенов эфирного масла
сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в течение года**

Компонент	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
α -Пинен	19,9	20,1	20,2	15,4	10,7	9,7	10,3	11,1	11,3	16,6	19,0	18,9
Камфен	2,7	3,7	3,3	2,7	2,1	2,5	2,5	1,9	1,7	2,2	2,5	2,0
Δ^3 -Карен	24,8	25,1	17,1	9,7	7,4	10,6	10,2	8,4	11,9	19,3	21,5	25,4
Лимонен	1,5	1,5	2,0	1,7	1,1	1,1	0,8	0,4	0,9	1,4	1,6	1,9
Борнилацетат	1,1	1,1	6,4	4,6	4,0	4,2	4,6	5,2	3,2	2,8	2,2	1,1
β -Кариофиллен	5,2	4,6	4,1	5,5	8,3	5,2	3,8	4,5	4,1	5,2	6,6	6,5
δ -Кадинен	11,4	9,9	13,3	15,1	19,9	8,1	9,2	21,6	19,3	16,6	14,3	12,1
Неидентифицированные компоненты	10,3	10,6	12,9	9,9	8,6	9,1	8,4	9,4	11,5	10,4	10,3	10,0
Монотерпеноиды	60,0	58,2	53,9	43,1	28,8	37,3	36,2	36,5	36,8	49,1	58,2	57,9
Кислородсодержащие терпеноиды	2,3	1,9	2,8	3,1	4,6	4,9	3,5	3,6	3,9	2,9	2,2	2,4
Сесквитерпеноиды	27,4	29,3	30,4	43,9	58,0	48,7	51,9	50,5	47,8	37,6	29,3	29,7

Как правило, при рассмотрении составов эфирных масел принято выделять фракции моно-, сесквитерпеновых и кислородсодержащих углеводородов. Такое разделение обусловлено, прежде всего, различными путями биосинтеза и выполняемыми ими функциями. Как видно, во всех выделенных маслах доминируют моно- и сесквитерпеновые углеводороды и минимально содержание кислородсодержащих соединений. Полученные нами данные по составу эфирного масла, выделенного из хвои сосен, хорошо согласуются с результатами работы [28], где приведены

результаты анализа состава эфирного масла *Pinus sylvestris*, наиболее распространенной на европейской территории.

Как видно, содержание кислородсодержащих терпенов возрастает в летний период, что указывает на увеличение доли окислительных процессов, протекающих в ассимиляционном аппарате сосны. При этом в данной фракции в течение года преобладает борнилацетат, который является конечным продуктом окисления ряда терпенов для всех эфирных масел хвойных пород растений.

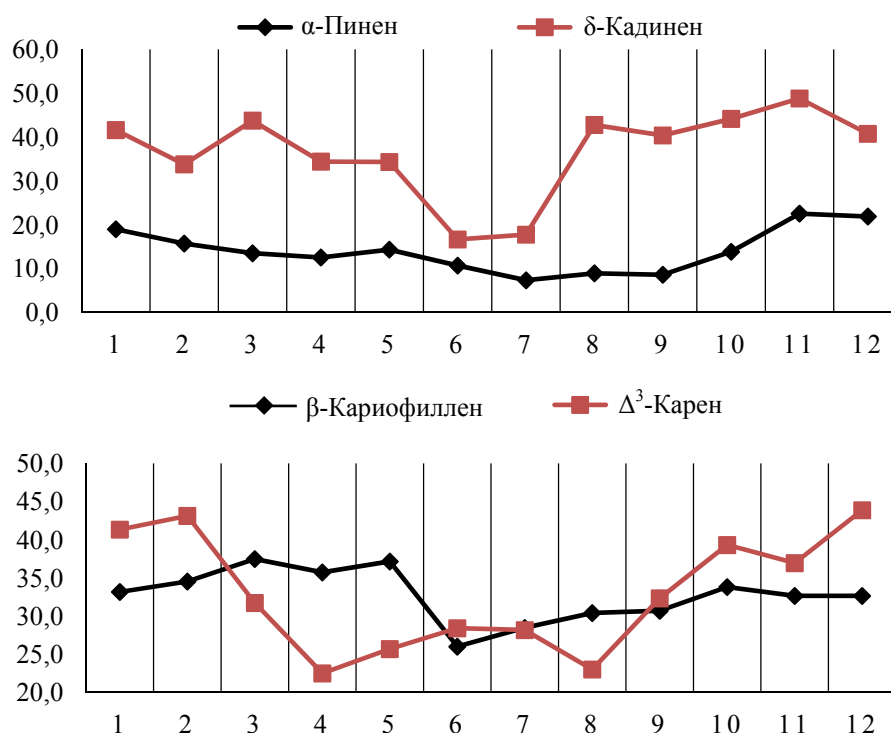


Рис. 2. Изменение содержания основных компонентов эфирного масла в группах в течение года

Высокое содержание сесквитерпеноидов в летний период объясняется тем, что данный класс соединений не обладает такой летучестью как монотерпены и поэтому накапливается в процессе биосинтеза.

Динамика содержания α -пинена и Δ^3 -карена показывает, что с началом вегетативного периода содержание этих компонентов резко снижается. При этом изменения в рамках фракционного состава указывают на то, что Δ^3 -карен проявляет более высокую реакционную способность (рис. 2). Полученные закономерности хорошо согласуются с общей схемой биосинтеза терпенов [29], согласно которой α -пинен и Δ^3 -карен являются промежуточными соединениями в цепи биосинтеза.

Изменения в содержании β -кариофиллена и особенно δ -кадинена в летний период связаны скорее всего с активным участием этих соединений в процессах биосинтеза более сложных соединений.

Содержание камфена в течение года изменялось незначительно. Содержание лимонена невысокое на протяжении всего года. При этом данное соединение активно расходуется в период вегетации, что хорошо согласуется с

представлением об активном участии этого компонента в многочисленных цепочках биосинтеза терпенов [30].

Итак, анализ данных табл. 1 и 2 позволяет заключить, что состав эфирного масла существенно меняется в течение года. С точки зрения использования эфирного масла в промышленности его заготовку следует проводить с учетом данных по выходу и составу индивидуальных компонентов.

Заключение. Таким образом, были отобраны образцы древесной зелени сосны обыкновенной в течение года. На основании анализа содержания токсичных и радиоактивных элементов установлено, что хвойные насаждения произрастают в экологически чистой зоне, что позволило исключить влияние техногенных факторов на результаты дальнейших исследований. Из всех отобранных образцов было выделено эфирное масло и измерены его интегральные характеристики. Методом спектроскопии ЯМР и газожидкостной хроматографии проведен анализ динамики содержания основных соединений в эфирном масле в течение года и предложены рекомендации по практическим аспектам его заготовки и использованию.

Литература

1. Томчук Р. И., Томчук Г. Н. Древесная зелень и ее использование в народном хозяйстве. М.: Лесная пром-сть, 1973. 360 с.
2. Левин Э. Д., Репях С. М. Переработка древесной зелени. М.: Лесная пром-сть, 1984. 120 с.

3. Ткаченко К. Г. Эфиромасличные растения и эфирные масла: достижения и перспективы, современные тенденции изучения и применения // Вестник Удмуртского университета. 2011. № 1. С. 88–100.
4. Мележ В. С. Охрана окружающей среды в Беларуси. Минск: М-во статистики и анализа Респ. Беларусь, 2007. 206 с.
5. Lawless J. Complete illustrated guide to aromatherapy. A practical approach to the use of essential oils for health and well-being. London: Element, 2002. 224 p.
6. Гуринович Л. К., Пучкова Т. В. Эфирные масла: химия, технология, анализ и применение. М.: Школа Косметических Химиков, 2005. 190 с.
7. Осмоловская Н. А., Паршикова В. Н., Степень Р. А. Влияние биоценотических и технологических факторов на выход и состав кедрового эфирного масла // Химия растительного сырья. 2001. № 4. С. 97–102.
8. Фуксман И. Ю. Влияние природных и антропогенных факторов на метаболизм веществ вторичного происхождения у древесных растений: автореф. дис. ... д-ра биол. наук / Ин-т леса Корельского научного центра РАН. СПб., 1999. 42 с.
9. Лобанов В. В., Степень Р. А. Влияние биоценотических факторов на содержание и состав пихтового масла // Хвойные бореальные зоны. 2004. Вып. 2. С. 148–155.
10. Черняева Г. Н., Бараков Т. В. Сезонная динамика эфирного масла пихты сибирской // Химия природных соединений. 1983. № 6. С. 718–721.
11. Бардышев И. И., Ударов Б. Г. Изменение химического состава эфирных масел индивидуальных сосен во время вегетационного периода // Докл. АН БССР. 1978. Т. 22, № 10. С. 947–950.
12. Степень Р. А. Состав эфирного масла и летучих терпеноидов побегов *Pinus sylvestris* L. в Средней Сибири // Растительные ресурсы. 1995. Вып. 4. С. 63–70.
13. Радиационный контроль. Отбор проб пищевых продуктов. Общие требования: СТБ 1053-2015. Введ. 07.10.2015. Минск: Госстандарт, 2015. 8 с.
14. Лобач Д. И., Тимошенко А. И., Штомпель В. П. Методические и информационные материалы для проведения практикума по дозиметрии. Минск: Гидрометеиздат, 1999. 79 с.
15. Чудинов Э. Г. Атомно-эмиссионный анализ с индукционной плазмой // Итоги науки и техники. Сер. Аналитическая химия. 1990. Т. 2. С. 3–251.
16. Ринькис Г. Я. Методы анализа почв и растений. Рига: Зинатне, 1987. 196 с.
17. Остакин А. И. Применение методов в ЭВМ. Планирование и обработка результатов эксперимента. Минск: Выш. шк., 1989. 218 с.
18. Масла эфирные, вещества душистые и полупродукты их синтеза. Методы определения плотности и показателя преломления: ГОСТ 14618.10–78. Введ. 17.12.1992. Минск: Госстандарт, 1992. 8 с.
19. Шпак С. И., Ламоткин С. А. Химический состав терпеноидов сосны обыкновенной, произрастающей на территории Белоруссии // Труды БГТУ. Сер. IV, Химия и технология орган. в-в. 2007. Вып. XV. С. 272–278.
20. Comparison of terpen composition in Engelmann spruce (*Picea Engelmann*) using hydrodistillation, SPME and PLE / M. Mardarowicz [et al.] // A journal of biosciences. 2004. P. 641–648.
21. Сотникова О. В. Эфирные масла как индикаторы загрязнения среды // Химия растительного сырья. 2001. № 1. С. 79–84.
22. Сарнацкий В. В. Ельники: формирование, повышение продуктивности и устойчивости в условиях Беларуси. Минск: Тэхналогія, 2009. 334 с.
23. Shpak S. I., Lamotkin S. A., Lamotkin A. I. Chemical composition of *Pinus sylvestris* essential oil from contaminated areas // Chemistry of Natural Compounds. 2007. Vol. 43, no. 1. P. 55–58.
24. Рогов В. А. Использование летучих терпеноидов сосновых лесов в оздоровлении воздушной среды замкнутых объемов помещений // Химия растительного сырья. 2000. № 2. С. 67–72.
25. Ефремов А. А., Струкова Е. Г. Компонентный состав эфирного масла лапки хвойных Сибирского региона по данным хромато-масс-спектрометрии // Журнал Сибирского федерального университета. 2009. № 2. С. 335–350.
26. Чернушкина Н. В., Невзорова Т. В. Фракционный состав эфирного масла сосны обыкновенной // Химия растительного сырья. 2008. № 2. С. 87–90.
27. Применение спектроскопии ЯМР для анализа состава эфирного масла хвои сосны / Е. Д. Скаковский [и др.] // Журнал прикладной спектроскопии. 2006. Т. 73, № 2. С. 246–249.
28. Степень Р. А. Экологическая и ресурсная значимость летучих терпенов сосняков средней Сибири // Химия растительного сырья. 1999. № 2. С. 125–129.

29. Племенков В. В. Химия изопrenoидов. Барнаул: Изд-во Алма-Атинского университета, 2007. 322 с.
30. Пономарев Д. А., Федорова Э. И. Основы химии терпенов. Сыктывкар: СЛИ, 2014. 56 с.

References

1. Tomchuk R. I., Tomchuk G. N. *Drevesnaya zelen' i ee ispol'zovaniye v narodnom khozyaystve* [Green wood and its use in the national economy]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1973. 360 p.
2. Levin E. D., Repyakh S. M. *Pererabotka drevesnoy zeleni* [Green wood processing]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1984. 120 p.
3. Tkachenko K. G. Essential oil plants and essential oils: achievements and prospects, modern tendencies of study and application. *Vestnik Udmurtskogo universiteta* [Bulletin of Udmurt University], 2011, no. 1, pp. 88–100 (In Russian).
4. Melezh V. S. *Okhrana okruzhayushchey sredy v Belarusi* [Environmental protection in Belarus]. Minsk, Ministerstvo statistiki i analiza Respubliki Belarus' Publ., 2007. 206 p.
5. Lawless J. Complete illustrated guide to aromatherapy. A practical approach to the use of essential oils for health and well-being. London, Element, 2002. 224 p.
6. Gurinovich L. K., Puchkova T. V. *Efirnyye masla: khimiya, tekhnologiya, analiz i primeneniye* [Essential oils: chemistry, technology, analysis and application]. Moscow, Shkola Kosmeticheskikh Khimikov Publ., 2005. 190 p.
7. Osmolovskaya N. A., Parshikova V. N., Stepen' R. A. Effect of biocenotic and technological factors on the yield and composition of cedar essential oil. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of plant raw materials], 2001, no. 4, pp. 97–102 (In Russian).
8. Fuksman I. Yu. *Vliyaniye prirodnikh i antropogennykh faktorov na metabolism veshchestv vtorichnogo proiskhozhdeniya u drevesnykh rasteniy. Avtoref. dis. d-ra biol. nauk* [The influence of natural and anthropogenic factors on the metabolism of substances of secondary origin in woody plants. Abstract of thesis doct. of biol. sci.]. St. Petersburg, 1999. 42 p.
9. Lobanov V. V., Stepen' R. A. The influence of biocenotic factors on the content and composition of fir oil. *Khvoynyye boreal'nyye zony* [Coniferous boreal zones], 2004, issue 2, pp. 148–155 (In Russian).
10. Chernyaeva G. N., Barakov T. V. Seasonal dynamics of essential oil of Siberian fir. *Khimiya prirodnikh soedineniy* [Chemistry of Natural Compounds], 1983, no. 6, pp. 718–721 (In Russian).
11. Bardyshev I. I., Udarov B. G. Changes in the chemical composition of the essential oils of individual pines during the vegetative period. *Doklady AN BSSR* [Reports of the Academy of sciences of the USSR], 1978, vol. 22, no. 10, pp. 947–950 (In Russian).
12. Stepen' R. A. The composition of essential oils and volatile terpenoids shoots *Pinus sylvestris* L. in Central Siberia. *Rastitel'nyye resursy* [Plant resources], 1995, issue 4, pp. 63–70 (In Russian).
13. STB 1053-98. Radiation control. Sampling food. General requirements. Minsk, Gosstandart Publ., 2015. 8 p. (In Russian).
14. Lobach D. I., Timoshchenko A. I., Shtompel' V. P. *Metodicheskiye i informatsionnyye materialy dlya provedeniya praktikuma po dozimetrii* [Methodical and informational materials for the workshop on dosimetry]. Minsk, Gidrometeoizdat Publ., 1999. 79 p.
15. Chudinov E. G. Atomic emission analysis with induction plasma. *Itogi nauki i tekhniki. Ser. Analiticheskaya khimiya* [Results of science and technology. Ser. Analytical chemistry], 1990, vol. 2, pp. 3–251 (In Russian).
16. Rin'kis G. Ya. *Metody analiza pochv i rasteniy* [Methods of soil and plant analysis]. Riga, Zinatne Publ., 1987. 196 p.
17. Ostakin A. I. *Primeneniye metodov v EVM. Planirovaniye i obrabotka rezul'tatov eksperimenta* [Application of methods in a computer. Planning and processing the results of the experiment]. Minsk, Vysheyschaya shkola Publ., 1989. 218 p.
18. GOST 14618.10-78. Essential oils, fragrant substances and intermediates of their synthesis. Methods for determining the density and refractive index. Minsk, Gosstandart Publ., 1992. 8 p. (In Russian).
19. Shpak S. I., Lamotkin S. A. The chemical composition of terpenoids of Scots pine, which grows on the territory of Belarus. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series IV, Chemistry and technology of organic substances, 2007, issue XV, pp. 272–278 (In Russian).
20. Mardarowicz M., Wianowska D., Dawidowicz A. L., Sawicki R. Comparison of terpen composition in Engelmann spruce (*Picea Engelmann*) using hydrodistillation, SPME and PLE. *A journal of biosciences*, 2004, pp. 641–648.
21. Sotnikova O. V. Essential oils as indicators of environmental pollution. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of plant materials], 2001, no. 1, pp. 79–84 (In Russian).

22. Sarnatskiy V. V. *El'niki: formirovaniye, povysheniye produktivnosti i ustoychivosti v usloviyakh Belarusi* [Fir-trees: formation, increase of productivity and stability in the conditions of Belarus]. Minsk, Tekhnologiya Publ., 2009. 334 p.
23. Shpak S. I., Lamotkin S. A., Lamotkin A. I. Chemical composition of *Pinus sylvestris* essential oil from contaminated areas. *Chemistry of Natural Compounds*, 2007, vol. 43, no. 1, pp. 55–58.
24. Rogov V. A. The use of volatile terpenoids of pine forests in the improvement of the air environment of closed volumes of premises. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of plant raw materials], 2000, no. 2, pp. 67–72 (In Russian).
25. Efremov A. A., Strukova E. G. Component composition of the essential oil of the coniferous paws of the Siberian region according to chromatography-mass spectrometry. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta* [Journal of the Siberian Federal University], 2009, no. 2, pp. 335–350 (In Russian).
26. Chernushkina N. V., Nevzorova T. V. Fractional composition of the essential oil of Scots pine. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of plant raw materials], 2008, no. 2, pp. 87–90 (In Russian).
27. Skakovskiy E. D., Lamotkin S. A., Shpak S. I., Tychinskaya L. Yu., Gaydukevich O. A., Lamotkin A. I. Application of NMR spectroscopy for analyzing the composition of the essential oil of pine needles. *Zhurnal prikladnoy spektroskopii* [J. Applied spectroscopy], 2006, vol. 73, no. 2, pp. 246–249 (In Russian).
28. Stepen' R. A. Ecological and resource significance of volatile terpenes of pine forests of middle Siberia. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of plant raw materials], 1999, no. 2, pp. 125–129 (In Russian).
29. Plemenkov V. V. *Khimiya izoprenoidov* [Chemistry of isoprenoids]. Barnaul, Izdatel'stvo Alma-Atinskogo universiteta Publ., 2007. 322 p.
30. Ponomarev D. A., Fedorova E. I. *Osnovy khimii terpenov* [Fundamentals of chemistry terpenes]. Syktyvkar, SLI Publ., 2014. 56 p.

Информация об авторах

Ламоткин Сергей Александрович – кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры физико-химических методов сертификации продукции. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: jossby@rambler.ru

Скаковский Евгений Доминикович – кандидат химических наук, заведующий лабораторией физико-химических методов исследования. Институт физико-органической химии Национальной академии наук Беларуси (220072, г. Минск, ул. Сурганова, 13, Республика Беларусь). E-mail: sed@ifoch.bas-net.by

Механикова Екатерина Геннадьевна – студентка. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: jossby@rambler.ru

Гиль Елизавета Валерьевна – инженер кафедры физико-химических методов сертификации продукции. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: hillisa@bk.ru

Романюк Лилия Игоревна – инженер кафедры физико-химических методов сертификации продукции. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: jossby@rambler.ru

Information about the authors

Lamotkin Sergey Aleksandrovich – PhD (Chemistry), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Physical-Chemical Methods for Products Certification. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: jossby@rambler.ru

Skakovskiy Evgeniy Dominikovich – PhD (Chemistry), Head of the Laboratory of Physical-Chemical Methods of Research. Institute of Physical Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (13, Sarganova str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: sed@ifoch.bas-net.by

Mekhanikova Ekaterina Gennad'yevna – student. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: jossby@rambler.ru

Gil' Elizaveta Valer'yevna – engineer, the Department of Physical-Chemical Methods for Products Certification. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: hillisa@bk.ru

Romanyuk Liliya Igorevna – engineer, the Department of Physical-Chemical Methods for Products Certification. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: jossby@rambler.ru

Поступила 01.11.2018