

DOI: 10.15393/j2.art.2021.5783

УДК 547*913

Статья

Анализ содержания основных компонентов эфирного масла в хвое различных климатипов и подвидов сосны обыкновенной

Ребко Сергей Владимирович

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Белорусский государственный технологический университет (Республика Беларусь), rebko@belstu.by

Мельник Пётр Григорьевич

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана (Национальный исследовательский университет); старший научный сотрудник, Институт лесоведения РАН (Российская Федерация), melnik_petr@bk.ru

Ламоткин Сергей Александрович

кандидат химических наук, доцент, Белорусский государственный технологический университет (Республика Беларусь), lamoikin@belstu.by

Тупик Павел Валерьевич

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Белорусский государственный технологический университет (Республика Беларусь), tupik@belstu.by

Поплавская Лилия Францевна

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Белорусский государственный технологический университет (Республика Беларусь), poplavskaya@belstu.by

Носников Вадим Валерьевич

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Белорусский государственный технологический университет (Республика Беларусь), nosnikov@belstu.by

Получена: 16 июня 2021 / Принята: 3 сентября 2021 / Опубликовано: 21 сентября 2021

Аннотация: В хвое различных климатипов и подвидов сосны обыкновенной, произрастающих на территории Негорельского учебно-опытного лесхоза (Республика Беларусь), определено содержание основных компонентов эфирного масла. Установлен различный уровень содержания эфирного масла у исследуемых климатипов сосны обыкновенной по группам монотерпенов, сесквитерпенов

и кислородсодержащей составляющей, а также выявлены существенные различия по содержанию ряда компонентов внутри каждой из исследуемых групп. Полученные данные по составу эфирного масла и соотношению в нём ряда компонентов внутри различных групп среди климатипов, подвидов и разновидностей сосны обыкновенной (подвиды лапландская, сибирская, лесостепная, европейская, разновидности европейской западная и восточная) позволят в дальнейшем проводить отбор наиболее перспективных климатических экотипов для селекции на устойчивость к биотическим и абиотическим факторам среды с учётом показателей продуктивности древостоев, качества стволов, жизненного состояния деревьев в насаждении, их сохранности, роста и развития. Полученные сведения по содержанию компонентов эфирного масла в хвое климатипов и подвидов сосны обыкновенной позволяют расширить знания в области экологической устойчивости растений, особенно в условиях наметившегося изменения климата.

Ключевые слова: компонентный состав, экстрактивные вещества, монотерпены, сесквитерпены, дитерпены, географические лесные культуры, климатический экотип

DOI: 10.15393/j2.art.2021.5783

Article

Content analysis of essential oil main components in the needles of various provenances and subspecies of Scots pine

Siarhei Rabko

Ph. D. in agriculture, associate professor, Belarusian State Technological University (Republic of Belarus), rebko@belstu.by

Petr Melnik

Ph. D. in agriculture, associate professor, Bauman Moscow State Technical University; Senior Scientist, Institute of Forest Science, Russian Academy of Sciences (Russian Federation), melnik_petr@bk.ru

Siarhei Lamotkin

Ph. D. in chemistry, associate professor, Belarusian State Technological University (Republic of Belarus), lamotkin@belstu.by

Pavel Tupik

Ph. D. in agriculture, associate professor, Belarusian State Technological University (Republic of Belarus), tupik@belstu.by

Liliya Paplauskaya

Ph. D. in agriculture, associate professor, Belarusian State Technological University (Republic of Belarus), poplavskaya@belstu.by

Vadzim Nosnikau

Ph. D. in agriculture, associate professor, Belarusian State Technological University (Republic of Belarus), nosnikov@belstu.by

Received: 16.06.2021 / Accepted: 3 September 2021 / Published: 21 September 2021

Abstract: The content of the main components of essential oil has been determined in the needles of various provenances and subspecies of Scots pine growing on the territory of the Negoreloe forest experimental station (Republic of Belarus). A different level of essential oil content in the studied climatotypes of Scots pine was established according to the groups of monoterpenes, sesquiterpenes and an oxygen-containing component. Also significant differences in the content of a number of components within each of the studied groups were revealed. The authors obtained data on the composition of the

essential oil and the ratio of a number of components in it within various groups among climatotypes, subspecies and varieties of Scots pine (subspecies Lapland, Siberian, forest-steppe, European, European Western and Eastern varieties). These results will allow further selection of the most promising climatic ecotypes for breeding for resistance to biotic and abiotic environmental factors, taking into account the indicators of productivity of forest stands, the quality of trunks, vital state of trees in the plantation, their safety, growth and development. The obtained information on the content of essential oil components in the needles of climatotypes and subspecies of Scots pine makes it possible to broaden our knowledge on ecological sustainability of plants, especially under the conditions of the visible climate change.

Keywords: component composition, extractives, monoterpenes, sesquiterpenes, diterpenes, provenance, climatic ecotype

1. Введение

Комплексное и рациональное использование растительных ресурсов предполагает включение в процесс производства всей биомассы растения. В частности, одним из основных направлений химической переработки растительного сырья является получение экстрактивных веществ. Среди экстрактивных веществ принято выделять соединения, которые непосредственно принимают участие в росте растений, и соединения, не участвующие в росте и развитии [1]. Первичными метаболитами являются углеводы, аминокислоты, жирные кислоты, хлорофиллы, цитохромы, нуклеотиды, а также соединения, выступающие интермедиатами различных метаболических реакций. Кроме этого, растения содержат огромное количество веществ, которые не участвуют в основном обмене. Такие вещества принято называть вторичными метаболитами, или веществами вторичного происхождения. В отличие от первичных метаболитов, присутствующих во всех растительных клетках, вторичные метаболиты могут быть специфичны для одного или нескольких видов растений [2], [3]. К вторичным метаболитам относят преимущественно низкомолекулярные вещества, не входящие в состав растительной клетки, содержащиеся в межклеточном пространстве. Это чрезвычайно разнообразная по химическому составу группа веществ. По химической природе эти вещества представлены терпенами и их производными, смоляными кислотами, липидами, жирными кислотами, фитостеринами, полифенолами и танинами. Несмотря на отнесение данных соединений к вторичным метаболитам, это весьма условно, поскольку многие из этих веществ являются важнейшими физиологически активными соединениями, играющими первостепенную роль в процессах дыхания и фотосинтеза. К настоящему времени на предмет присутствия вторичных метаболитов исследовано около 20—30 тыс. видов растений, которые составляют всего лишь немногим более 10 % от всей флоры Земли [4].

Многообразие вторичных метаболитов обуславливает и многообразие выполняемых ими функций. Но обобщая, можно сказать, что вторичные метаболиты выполняют в растениях прежде всего экологические функции. Они защищают растения от различных вредителей и патогенов, участвуют в размножении растения (обуславливая окраску и запах цветков, плодов), обеспечивают взаимодействие растений между собой и другими организмами в экосистеме. Кроме того, данный класс веществ способствует формированию устойчивости растений к неблагоприятным факторам [5], [6]. Практически все эти вещества также обладают биологической активностью, что делает их незаменимыми источниками сырья при производстве фармацевтической, пищевой, парфюмерной продукции [7—9]. Растительные вторичные соединения могут быть разделены на три группы на основе различных биосинтетических путей их происхождения: алкалоиды, фенольные соединения и терпеноиды [10—12].

Терпены являются углеводородами, образующимися из различного количества изопрена (C_5H_8). Без участия изопреноидов невозможны такие процессы, как рост и развитие растений и животных, поскольку многие гормоны растений (гиббереллины, абсцизовая кислота,

брасиностероиды) относятся к этому классу соединений. Однако бóльшая часть известных к настоящему времени изопреноидов относится к веществам специализированного (вторичного) обмена растений, которые участвуют в процессах сигнализации, защиты от фитопатогенов. Очевидно, основная роль изопреноидов, специфичных для определённых семейств, родов и видов растений (это, главным образом, моно-, сескви-, ди-, сестер- и тритерпеноиды), сводится к защите растений от различных неблагоприятных воздействий окружающей среды, в т. ч. от макро- и микровредителей. Например, смолистые вещества, каучук и гутта затягивают раны в коре и древесине растений, защищая их от вредителей. Смолы препятствуют поеданию растений животными. Эфирные масла способствуют также привлечению насекомых-опылителей. Многие компоненты эфирных масел и другие изопреноиды выполняют роль аллелопатических агентов. Следует отметить, что до сих пор остаётся загадкой причина образования у растений огромного количества разнообразных изопреноидов, функции многих из них остаются непонятными. Процесс осуществляется за счёт поглощения энергии солнечного света, которая преобразуется в энергию химических связей и сопровождается выделением свободного кислорода. Образовавшиеся при этом моносахариды превращаются в растениях в целлюлозу, гемицеллюлозу, крахмал, лигнин, жирные спирты, кислоты, их эфиры, жиры, аминокислоты, воски, витамины, эфирные масла, алкалоиды.

Также в литературных источниках приводятся сведения (о чём ниже будет подробно указано), что в зависимости от содержания компонентов эфирного масла обуславливается устойчивость растений к абиотическим и биотическим факторам среды.

В этой связи актуальным является определение содержания эфирных масел в хвое различных климатических экотипов сосны обыкновенной, произрастающих в географических лесных культурах.

Определению содержания компонентов эфирного масла сосны обыкновенной посвящены многочисленные статьи. В некоторых из работ [13] изучен состав монотерпеновой фракции эфирного масла, выделенного из хвои различных подвидов сосны обыкновенной в ареале их произрастания.

По данным российских учёных из Института леса им. В. Н. Сукачева [14], наиболее устойчивыми климатипами сосны обыкновенной являются те, у которых отмечается более высокое соотношение содержания α -пинена к 3-карену.

В работе финских исследователей [15] установлено, что у северных климатипов наблюдается более высокое содержание α -пинена в сравнении с 3-кареном и эти климатипы являются более устойчивыми на территории Финляндии. Различные специализированные терпеноидогенные структуры обнаружены не только в хвое, но и в первичной коре, во вторичной флоэме и древесине стебля, корнях и репродуктивных органах [16].

Определение содержания доли эфирного масла в различных частях дерева указывает на неодинаковую концентрацию в охвоенных побегах и стволе [17].

Исследование сезонной динамики выхода эфирного масла ели [18], сосны [19], [20] и пихты

[21] показывает, что отмечается два максимума в содержании масла в хвое: весенний — в мае и осенний — в сентябре.

При переходе к состоянию покоя деревьев в насаждении эфирное масло обогащается кислородсодержащими соединениями и сесквитерпенами и достигает максимума в декабре. Также специфика была отмечена в работе по исследованию сосновых лесов Украины [22].

2. Материалы и методы

Объектом исследования являются 17 климатипов сосны обыкновенной, произрастающих в географических культурах на территории Негорельского учебно-опытного лесхоза Минской области Беларуси. Географические культуры сосны обыкновенной заложены в 1959 г. В. Г. Мишневым и Е. Д. Манцевичем в содружестве с Центральной контрольной станцией лесных семян и Белорусской контрольной станцией лесных семян на площади 8,7 га. Семена были получены из 200 пунктов бывшего Советского Союза. Однако большая их часть была исключена из-за типологической неоднородности. В результате было отобрано 65 образцов семян из насаждений группы типов леса боры-зеленомошники, посев которых осуществлен в апреле 1958 г. в питомнике Негорельского УОЛХ. По механическому составу почва в питомнике представляет собой песок связный. Для получения одинаковой густоты стояния сеянцев в одной строке высевалось одинаковое количество жизнеспособных семян на 1 п. м. После посева гряды покрывались мхом. До середины июля всходы отенялись драночными щитами. За сеянцами проводился уход, заключающийся в трёхкратной прополке и рыхлении почвы.

Участок под географические культуры был отведён в квартале № 15, лесокультурная площадь представляла собой вырубку 1958 г., имеющую правильную конфигурацию, вытянутую с севера на юг. Осенью лесосека была раскорчёвана и выровнена бульдозером, затем вспахана на глубину 25 см. В апреле 1959 г. площадь повторно выравнивалась бульдозером и бороновалась дисковыми боронами в два следа.

Перед посадкой культур производилась окончательная планировка площади вручную с выборкой и сжиганием корней. Пространственное размещение культур произведено по принципу выделения крупных климатических районов. Эти районы располагаются на участке в направлении с севера на юг, а с запада на восток они группируются по признаку наибольшего географического различия. Каждая административная область представлена участком культур площадью 0,1 га. Эти участки ограничены со всех сторон 2-метровой дорогой и остолблены. С западной стороны к участку примыкает 4-метровая дорога. В работе [23] приведены сведения, что данный объект — географические лесные культуры — явился исходным материалом для получения впервые в Беларуси сорта сосны обыкновенной «Негорельская», отличающегося интенсивным ростом в высоту и устойчивостью к фузариозу.

Для более удобного анализа содержания компонентов эфирного масла в хвое все исследуемые климатипы сосны обыкновенной в географических культурах распределены на подвиды (расы, разновидности) в соответствии с классификацией [24] (подвиды

лапландская, европейская, сибирская, степная, крючковатая) с некоторой модификацией. В нашем опыте не представлен подвид сосны крючковатой, произрастающей в Крыму и на Кавказе. Так как подвид сосна степная в географических культурах полностью выпал в 5-летнем возрасте (Кустанайский, Кокчетавский, Акмолинский, Павлодарский климатипы Казахстана), нами дополнительно введена лесостепная группа климатипов (Белгородский, Курский, Волгоградский, Хмельницкий, Полтавский, Ростовский климатипы). Также подвид сосна европейская подразделён нами на две разновидности — европейская западная (Вологодский, Эстонский, Латвийский, Витебский, Минский и Гродненский климатипы) и европейская восточная (Ульяновский и Башкирский климатипы).

2.1. Методика отбора древесной зелени

Древесную зелень деревьев климатипов сосны обыкновенной в географических культурах отбирали на 17 участках с 20—25 деревьев в каждом из них, выбранных методом рандомизации, в кроне которых срезали ветки равномерно с четырёх сторон. Древесную зелень отбирали в феврале. По литературным данным, в зимние месяцы выход эфирного масла достигает максимального значения и его состав стабилизируется [18].

2.2. Методика отбора среднего образца

От срезанных веток древесной зелени отделяли хвою без разделения её по возрасту и получали исходный образец изучаемого материала. Образование среднего образца из исходного осуществляли путём квартования. Исходный образец высыпали на гладкую поверхность и разравнивали в виде квадрата, а затем одновременно с двух противоположных сторон ссыпали на середину таким образом, чтобы получился валик. После этого захватывали хвою с концов валика и также ссыпали на середину. Снова разравнивали хвою по площади квадрата и снова ссыпали в середину. Перемешивание повторяли описанным образом три раза. После перемешивания исходный образец опять разравнивали тонким слоем и делили на четыре треугольника. Два противоположных треугольника хвои удаляли, а два оставшихся соединяли, перемешивали и вновь делили указанным способом до тех пор, пока масса одного треугольника не составит примерно пятикратную массу навески. Из одного треугольника брали навеску для химического анализа (выделение эфирного масла), а из противоположного — навески для определения влажности образца [25].

2.3. Методика выделения эфирного масла из хвои

Большинство компонентов эфирных масел имеют температуру кипения от 150 до 300 °С и выше, однако все вещества, входящие в их состав, перегоняются с водяным паром. Метод гидродистилляции основан на способности масел перегоняться с водяным паром и определении количества масла, которое выделилось из растительного образца [26]. В колбу

ёмкостью 500 см^3 помещали 150—250 г измельчённого до размеров 4—7 мм сырья с известной влажностью и заливали его дистиллированной водой так, чтобы поверхность воды закрыла растительный материал. Колбу помещали в колбонагреватель, далее присоединяли насадку для сбора эфирных масел и обратный холодильник. После начала закипания образующийся пар, увлекаемая с собой эфирное масло, поступал в холодильник, где конденсировался в жидкость, состоящую из воды и мелких капель эфирного масла. Сконденсированная смесь попадала в приёмник для сбора эфирного масла. Интенсивность кипения была подобрана таким образом, что из холодильника стекало 2—3 капли в секунду. В противном случае могло наступить «захлёбывание» холодильника и выброс. Вода как более тяжёлая жидкость оседала на дно приёмника и сливалась назад в колбу, а эфирное масло всплывало на поверхность, где медленно накапливалось. Процесс гидродистилляции в стадии кипения продолжался не менее 4 ч. За это время отгонялось около 80 % содержащегося в растении эфирного масла. После окончания процесса отгонки колбу охлаждали и разбирали прибор (рисунок).

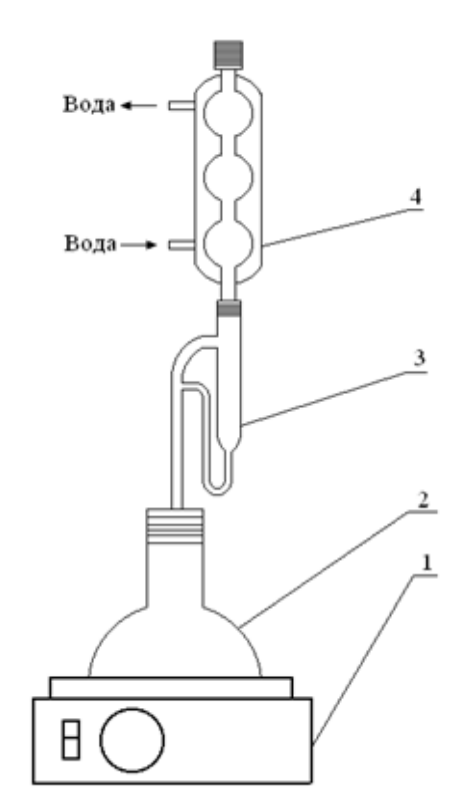


Рисунок. Установка для выделения эфирного масла: 1 — колбонагреватель, 2 — колба, 3 — ловушка-разделитель, 4 — холодильник

Figure. Installation for the extraction of essential oil: 1 — bulb heater, 2 — bulb, 3 — separator trap, 4 — condenser

Эфирное масло располагалось в сборнике в виде тонкого слоя (желтоватого цвета) над

поверхностью воды. Отбор эфирного масла осуществляли с использованием шприца с длинной иглой.

Эфирное масло аккуратно с помощью шприца переливали в заранее взвешенную, маленькую, плотно закрывающуюся бутылочку, подписывали название эфирного масла и дату извлечения.

Расчёт содержания эфирного масла в хвое производили на абсолютно сухую массу растительного материала. Вычисление результатов в массовых процентах проводили по формуле

$$C = \frac{m}{G} \cdot 100\% \quad (1)$$

где C — содержание эфирного масла, % (масс.);

m — масса эфирного масла после отгонки, г;

G — масса абсолютно сухой навески хвои, г.

Полученное эфирное масло сушили безводным сульфатом натрия и далее использовали для определения его физических, физико-химических показателей, а также для химического исследования.

Качественный и количественный анализ эфирного масла хвои сосны обыкновенной осуществляли методом газо-жидкостной хроматографии без предварительного фракционирования на хроматографе «Кристалл 5000.1». Для разделения компонентов использовали капиллярную колонку диаметром 0,25 мм и длиной 60 м с нанесённой фазой — 100 %-м диметилсилоксаном. В качестве газа-носителя использовался азот. Соотношение расходов воздух:азот:водород составляло 10:1:1. Расход азота через колонку составлял 20 мл/мин.

Условия хроматографического анализа следующие: изотермический режим при 70 °С в течение 20 мин, затем программированный подъём температуры со скоростью 2 °С/мин до 150 °С с выдержкой при конечной температуре 40 мин. Температура испарителя 250 °С. Анализируемая проба объёмом 0,2 мкл вводилась микрошприцем в дозатор-испаритель.

Идентификацию отдельных компонентов проводили с использованием эталонных соединений, а также на основании известных литературных данных по индексам удерживания отдельных соединений [27]. Количественное содержание компонентов рассчитывали методом внутренней нормализации по площадям пиков. Статистический анализ проводили в соответствии с методиками, изложенными в [28—30]. Для определения необходимого объёма выборки при выполнении исследований принимали допустимую величину погрешности Δx , равной 5 % от среднего значения показателя при доверительной вероятности $\alpha = 95$ %. После проведения опыта рассчитывали дисперсию S^2 и среднеквадратичное отклонение S . Далее находили отношение $\Delta x/S$ и по соответствующей таблице [31] определяли объём выборки. Результаты каждой серии параллельных опытов подвергали статистической обработке с целью нахождения грубых ошибок («промахов») с использованием критерия

Стьюдента [28]. В этом случае сомнительный результат исключали из выборки, а по оставшимся данным рассчитывали среднее арифметическое и оценку дисперсии воспроизводимости.

3. Результаты

Полученные данные физико-химических показателей эфирного масла сосны обыкновенной различного географического происхождения свидетельствуют о том, что среди исследуемых климатипов, сгруппированных в подвиды, наблюдаются различия по массовой доле эфирного масла в пересчёте на абсолютно сухую массу, относительной плотности и показателю преломления при $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (таблица 1).

Наибольший выход эфирного масла наблюдается у подвида сосна обыкновенная разновидности европейская западная — 1,9 %, несколько ниже данный показатель у подвида сосна лесостепная (1,7 %). Существенно ниже данный показатель оказался у сосны обыкновенной разновидности европейская восточная — 1,1 % и подвида сибирская — 1,0 %. Отмечается, что содержание эфирного масла на уровне 1 % характерно для сосен, произрастающих в экстремальных условиях урбанизированной среды [32].

Относительная плотность эфирного масла исследуемых подвидов сосны обыкновенной колеблется в незначительных пределах — от 0,8634 до 0,8639 г/см³ (минимум у Гродненского и Волгоградского климатипов — по 0,8628 г/см³ и максимум у Ленинградского, Вологодского, Латвийского, Хмельницкого, Башкирского и Томского климатипов — по 0,8639 г/см³). По показателю преломления варьирование находится в пределах от 1,4838 (подвиды лапландская и сибирская) до 1,4847 (сосна обыкновенная разновидность европейская западная).

Результаты определения содержания основных компонентов эфирного масла в хвое различных климатипов сосны обыкновенной представлены в таблице 2, групповой состав монотерпенов — в таблице 3, групповой состав сесквитерпенов — в таблице 4.

Следует отметить, что наименьшее содержание среди группы монотерпенов, сесквитерпенов и кислородсодержащей группы отмечено у последней, при этом доля борнилацетата в эфирном масле не превышает 3 % (от 0,9 % у разновидности европейской восточной до 2,9 % у лапландской сосны).

Установлено, что наибольшая доля идентифицированных компонентов эфирного масла оказалась в варианте сосны обыкновенной подвида лапландская — 77,1 %. У разновидности сосны обыкновенной европейской западной доля распознанных компонентов оказалась несколько ниже и составила 74,3 %, у лесостепного подвида — 69,3 %. Существенно ниже данный показатель оказался в вариантах сибирского подвида и разновидности европейской восточной — соответственно 61,5 % и 60,2 %.

Таблица 1. Изменение физико-химических показателей эфирного масла сосны обыкновенной различного географического происхождения

Table 1. Changes in the physicochemical parameters of Scots pine essential oil of various geographical origin

Наименование климатипа (подвида, разновидности) сосны обыкновенной	Физико-химические показатели эфирного масла климатипов сосны обыкновенной		
	массовая доля эфирного масла, в пересчёте на абсолютно сухую массу, %	относительная плотность, г/см ³	показатель преломления при $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$
Сосна обыкновенная подвид лапландская			
Ленинградский	1,7 ± 0,1	0,8639 ± 0,005	1,4841 ± 0,001
Архангельский	1,9 ± 0,1	0,8632 ± 0,005	1,4836 ± 0,001
По подвиду лапландская	1,8 ± 0,1	0,8635 ± 0,005	1,4838 ± 0,001
Сосна обыкновенная разновидность европейская западная			
Вологодский	1,4 ± 0,1	0,8639 ± 0,005	1,4840 ± 0,001
Эстонский	1,8 ± 0,1	0,8638 ± 0,005	1,4844 ± 0,001
Латвийский	1,9 ± 0,1	0,8639 ± 0,005	1,4850 ± 0,001
Витебский	2,0 ± 0,1	0,8632 ± 0,005	1,4849 ± 0,001
Минский	2,0 ± 0,1	0,8633 ± 0,005	1,4850 ± 0,001
Гродненский	2,1 ± 0,1	0,8628 ± 0,005	1,4849 ± 0,001
По разновидности европейская западная	1,9 ± 0,1	0,8635 ± 0,005	1,4847 ± 0,001
Сосна обыкновенная разновидность европейская восточная			
Ульяновский	1,0 ± 0,1	0,8638 ± 0,005	1,4840 ± 0,001
Башкирский	1,1 ± 0,1	0,8639 ± 0,005	1,4842 ± 0,001
По разновидности европейская восточная	1,1 ± 0,1	0,8639 ± 0,005	1,4841 ± 0,001
По подвиду европейская	1,7 ± 0,1	0,8636 ± 0,005	1,4846 ± 0,001
Сосна обыкновенная подвид лесостепная			
Белгородский	1,6 ± 0,1	0,8634 ± 0,005	1,4838 ± 0,001
Курский	1,8 ± 0,1	0,8633 ± 0,005	1,4840 ± 0,001
Волгоградский	1,6 ± 0,1	0,8628 ± 0,005	1,4846 ± 0,001
Хмельницкий	1,7 ± 0,1	0,8639 ± 0,005	1,4846 ± 0,001
Полтавский	1,8 ± 0,1	0,8635 ± 0,005	1,4840 ± 0,001
Ростовский	1,7 ± 0,1	0,8633 ± 0,005	1,4840 ± 0,001
По подвиду лесостепная	1,7 ± 0,1	0,8634 ± 0,005	1,4842 ± 0,001
Сосна обыкновенная подвид сибирская			
Томский	1,0 ± 0,1	0,8639 ± 0,005	1,4838 ± 0,001
По подвиду сибирская	1,0 ± 0,1	0,8639 ± 0,005	1,4838 ± 0,001

Таблица 2. Содержание основных компонентов в эфирном масле различных климатипов сосны обыкновенной в 61-летних географических лесных культурах

Table 2. The content of the main components in the essential oil of various climatypes of Scots pine growing in 61-year-old provenances

Наименование климатипа (подвида, разновидности) сосны обыкновенной	Основные компоненты эфирного масла, %										
	α -пинен	камфен	3-карен	лимонен	терпинолен	кариофиллен	α -мууролен	γ -кадинен	δ -кадинен	борнилацетат	итого
Сосна обыкновенная подвида лапландская											
Ленинградский	30,2	3,6	17,2	2,4	3,0	1,8	4,6	2,4	6,4	2,2	74,0
Архангельский	43,3	3,2	5,9	0,9	0,6	5,0	4,5	5,1	8,1	3,7	80,2
По подвиду лапландская	36,8	3,4	11,6	1,7	1,8	3,4	4,5	3,8	7,2	2,9	77,1
Сосна обыкновенная разновидность европейская западная											
Вологодский	39,0	5,1	13,7	2,0	1,5	6,0	3,0	1,3	3,1	0,8	75,6
Эстонский	31,2	2,8	13,5	1,5	1,6	3,0	4,1	4,6	7,9	1,5	71,6
Латвийский	17,1	2,8	24,2	1,1	2,6	6,2	6,5	3,2	7,3	1,9	72,8
Витебский	18,0	2,6	23,2	2,1	2,1	6,7	5,5	4,7	8,2	1,8	75,0
Минский	20,6	3,2	24,0	2,1	2,6	7,3	4,3	4,2	6,9	1,2	76,4
Гродненский	17,9	3,5	24,1	2,4	4,0	5,2	4,4	3,6	7,4	2,0	74,5
По разновидности европейская западная	24,0	3,3	20,5	1,9	2,4	5,7	4,6	3,6	6,8	1,5	74,3
Сосна обыкновенная разновидность европейская восточная											
Ульяновский	20,3	1,9	8,8	2,5	1,5	3,7	8,2	5,7	5,9	0,8	59,3
Башкирский	16,8	2,2	9,3	3,0	1,1	6,8	5,4	4,8	10,7	1,0	61,1
По разновидности европейская восточная	18,6	2,1	9,1	2,8	1,3	5,3	6,8	5,3	8,3	0,9	60,2
По подвиду европейская	22,6	3,0	17,6	2,1	2,1	5,6	5,2	4,0	7,2	1,4	70,8
Сосна обыкновенная подвида лесостепная											
Белгородский	21,9	1,8	8,2	1,1	1,3	5,3	5,1	7,0	12,6	1,3	65,7
Курский	21,2	1,9	9,3	1,4	1,3	4,5	3,1	7,1	13,1	0,8	63,8
Волгоградский	25,5	3,8	16,9	1,2	2,5	13,4	2,0	1,9	5,0	2,3	74,4
Хмельницкий	15,2	2,3	13,7	1,7	1,9	8,8	9,7	6,9	10,9	1,7	72,7
Полтавский	16,9	1,5	4,8	1,1	0,7	6,6	7,6	8,1	17,4	1,5	66,1
Ростовский	27,0	2,4	14,5	2,4	2,1	5,7	3,7	4,9	9,1	1,6	73,2
По подвиду лесостепная	21,3	2,3	11,2	1,5	1,6	7,4	5,2	6,0	11,4	1,5	69,3
Сосна обыкновенная подвида сибирская											
Томский	21,0	2,5	8,7	2,2	1,5	3,6	5,0	5,9	9,6	1,5	61,5
По подвиду сибирская	21,0	2,5	8,7	2,2	1,5	3,6	5,0	5,9	9,6	1,5	61,5

Таблица 3. Состав монотерпенов эфирного масла у различных подвидов сосны обыкновенной в 61-летних географических лесных культурах

Table 3. Composition of essential oil monoterpenes in various subspecies of Scots pine in 61-year-old provenances

Наименование климатипа (подвида, разновидности) сосны обыкновенной	Географические координаты		Группа эфирного масла — монотерпены, %					
	северная широта	восточная долгота	α -пинен	камфен	3-карен	лимонен	терпинолен	итого
Сосна обыкновенная подвид лапландская								
Ленинградский	61	34	45,8	5,5	26,1	3,7	4,5	66,0
Архангельский	62	43	74,0	5,4	10,1	1,5	1,0	58,5
По подвиду лапландская	61—62	34—43	59,9	5,5	18,1	2,6	2,8	62,3
Сосна обыкновенная разновидность европейская западная								
Вологодский	59	40	53,4	7,0	18,8	2,7	2,1	73,1
Эстонский	58	27	51,6	4,6	22,3	2,5	2,7	60,4
Латвийский	57	22	30,9	5,1	43,6	1,9	4,6	55,5
Витебский	55	29	31,1	4,5	40,0	3,6	3,6	58,0
Минский	54	27	33,0	5,1	38,4	3,3	4,2	62,5
Гродненский	53	24	29,5	5,7	39,7	4,0	6,5	60,8
По разновидности европейская западная	53—59	22—40	38,3	5,3	33,8	3,0	4,0	61,7
Сосна обыкновенная разновидность европейская восточная								
Ульяновский	54	48	46,3	4,4	20,1	5,6	3,4	43,8
Башкирский	54	58	37,7	5,0	21,0	6,7	2,4	44,5
По разновидности европейская восточная	54	48—58	42,0	4,7	20,6	6,2	2,9	44,2
По подвиду европейская	53—59	22—58	39,2	5,2	30,5	3,8	3,7	57,3
Сосна обыкновенная подвид лесостепная								
Белгородский	51	38	57,4	4,8	21,6	2,8	3,3	38,1
Курский	51	34	52,3	4,7	22,9	3,5	3,1	40,6
Волгоградский	51	42	42,5	6,3	28,1	2,0	4,2	60,0
Хмельницкий	50	27	36,1	5,4	32,4	4,0	4,4	42,2
Полтавский	49	33	60,4	5,2	17,1	3,9	2,5	27,9
Ростовский	47	40	48,5	4,4	26,0	4,3	3,8	55,6
По подвиду лесостепная	47—51	27—40	49,5	5,1	24,7	3,4	3,6	44,1
Сосна обыкновенная подвид сибирская								
Томский	57	85	47,6	5,7	19,7	4,9	3,3	44,1
По подвиду сибирская	57	85	47,6	5,7	19,7	4,9	3,3	44,1

Таблица 4. Состав сесквитерпенов эфирного масла у различных подвигов сосны обыкновенной в 61-летних географических лесных культурах

Table 4. Composition of essential oil sesquiterpenes in various subspecies of Scots pine in 61-year-old provenances

Наименование климатипа (подвида, разновидности) сосны обыкновенной	Географические координаты		Группа эфирного масла — сесквитерпены, %				
	северная широта	восточная долгота	кариофиллен	α -мууролен	γ -кадинен	δ -кадинен	итого
Сосна обыкновенная подвид лапландская							
Ленинградский	61	34	5,9	15,6	8,2	21,6	29,8
Архангельский	62	43	13,6	12,3	13,9	22,1	36,6
По подвиду лапландская	61—62	34—43	9,8	13,9	11,1	21,9	33,2
Сосна обыкновенная разновидность европейская западная							
Вологодский	59	40	24,2	12,2	5,1	12,6	24,7
Эстонский	58	27	8,5	11,8	13,3	22,6	34,8
Латвийский	57	22	15,2	15,9	7,9	18,1	40,6
Витебский	55	29	17,7	14,5	12,5	21,6	37,9
Минский	54	27	21,5	12,7	12,3	20,1	34,1
Гродненский	53	24	14,6	12,4	10,1	20,8	35,4
По разновидности европейская западная	53—59	22—40	17,0	13,3	10,2	19,3	34,6
Сосна обыкновенная разновидность европейская восточная							
Ульяновский	54	48	6,9	15,2	10,6	10,8	54,2
Башкирский	54	58	12,8	10,2	9,0	20,2	53,1
По разновидности европейская восточная	54	48—58	9,9	12,7	9,8	15,5	53,7
По подвиду европейская	53—59	22—58	15,2	13,1	10,1	18,4	39,4
Сосна обыкновенная подвид лесостепная							
Белгородский	51	38	9,0	8,6	11,9	21,4	59,1
Курский	51	34	8,0	5,5	12,5	23,1	56,8
Волгоградский	51	42	37,4	5,6	5,3	13,9	35,8
Хмельницкий	50	27	16,1	17,7	12,5	19,9	54,8
Полтавский	49	33	9,5	10,9	11,7	25,1	69,4
Ростовский	47	40	13,9	9,0	12,1	22,3	40,7
По подвиду лесостепная	47—51	27—40	15,7	9,6	11,0	21,0	52,8
Сосна обыкновенная подвид сибирская							
Томский	57	85	8,4	11,6	13,7	22,1	43,4
По подвиду сибирская	57	85	8,4	11,6	13,7	22,1	43,4

По содержанию α -пинена — компонента монотерпенов — наибольшей долей отличается подвид лапландской сосны — 36,8 %, в остальных вариантах подвидов и разновидностей данный показатель находится на уровне 21,0—24,0 %.

По содержанию 3-карена наблюдается обратная зависимость — меньше всего данного компонента у сибирской, лесостепной и лапландской сосны — соответственно 8,7 %, 11,2 % и 11,6 %, максимум наблюдается у европейской западной разновидности — 20,5 %.

У лапландской сосны соотношение данных компонентов достигает более чем 3:1, на уровне 2—3:1 данное соотношение достигается у сибирской сосны и европейской восточной разновидности, несколько ниже соотношение 2:1 отмечено у лесостепного подвида и европейской западной разновидности.

Более подробный анализ компонентного состава монотерпенов представлен в таблице 3. Долевое участие монотерпенов в общем количестве эфирных масел составляет от 44,1 % (подвиды сибирская и лесостепная) до 62,3 % (подвид лапландская). При этом у лапландского подвида свыше половины (59,9 %) в данной группе занимает α -пинен, а 3-карена в 3 раза меньше (18,1 %). У сибирского подвида данное соотношение составляет 2,4:1 (47,6 % против 19,7 %), у лесостепного подвида — 2,0:1 (49,5 % против 24,7 %).

Сесквитерпены также широко представлены в составе хвои сосны обыкновенной различного географического происхождения. Следует отметить, что в хвое сосны европейской восточной разновидности их содержание превышает долю монотерпенов (53,7 % против 44,2 %), у лесостепного подвида также отмечено превышение сесквитерпенов (52,8 % против 44,1 %) над монотерпенами. У сибирского подвида сосны обыкновенной данное соотношение практически находится на одном уровне (43,4 % против 44,1 %). В остальных вариантах наблюдается заметное превышение монотерпенов над сесквитерпенами (62,3 % против 33,2 % у лапландской сосны, 61,7 % против 34,6 % у разновидности европейской западной). В целом по европейскому подвиду содержание монотерпенов превышает аналогичный показатель сесквитерпенов (57,3 % против 39,4 %).

Важным также является отмеченный факт того, что у различных подвидов и разновидностей сосны обыкновенной в групповом составе сесквитерпенов наблюдается превышение одного компонента в составе — δ -кадинена (от 15,5 % у разновидности сосны обыкновенной европейской восточной до 22,1 % у сибирского подвида).

4. Заключение

В результате проделанной работы выявлен неоднородный по содержанию состав основных компонентов эфирного масла из группы монотерпенов, сесквитерпенов и кислородсодержащей группы среди различных подвидов и климатипов сосны обыкновенной, произрастающих в географических лесных культурах на территории Негорельского учебно-опытного лесхоза (Минская область, Республика Беларусь). Полученные данные по составу эфирного масла и соотношению в нём ряда компонентов внутри или из различных групп позволят в дальнейшем произвести отбор наиболее

перспективных климатических экотипов для селекции на устойчивость к биотическим и абиотическим факторам среды с учётом показателей продуктивности древостоев климатипа, качества стволов деревьев, оценки жизненного состояния насаждений, их сохранности и экологической устойчивости.

Благодарности

Исследование выполнено в рамках задания 1.36 «Реакция различных климатипов сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на изменение климатических условий и отбор наиболее перспективных для селекции на устойчивость» ГПНИ «Природопользование и экология», подпрограмма «Природные ресурсы и экологическая безопасность» (ГБ 19–079, 2019—2020 гг.).

Список литературы

1. Биохимия растений / Л. А. Красильникова, О. А. Авксентьева, В. В. Жмурко, Ю. А. Садовниченко. Ростов н/Д.: Феникс; Харьков: Торсинг, 2004. 224 с.
2. Кретович В. Л. Биохимия растений. М.: Высш. шк., 1986. 503 с.
3. Crozier A., Clifford M., Ashihara H. Plant secondary metabolites: occurrence, structure and role in the human diet. Oxford: Blackwell Publishing Ltd, 2006. 372 p.
4. Хелдт Г. В. Биохимия растений: пер. с англ. М.: БИНОМ; Лаборатория знаний, 2011. 471 с.
5. Бабкин В. А. Экстрактивные вещества древесины лиственницы: химический состав, биологическая активность, перспективы практического использования // Инноватика и экспертиза. 2017. № 2 (20). С. 210—223.
6. Induced chemical defenses in conifers: biochemical and molecular approaches to studying their function / A. Schmidt, G. Zeneli, A. M. Nietala, C. G. Fossdal, P. Krokene, E. Christiansen, J. Gershenzon // In: Romeo JT (ed.) Chemical ecology and phytochemistry of forest ecosystems, Recent advances in phytochemistry. Amsterdam: Elsevier, 2005. Vol. 39. P. 1—28.
7. Бабкин В. А. Биомасса лиственницы: от химического состава до инновационных продуктов. Новосибирск: СО РАН, 2011. 236 с.
8. Племенков В. В., Тевс О. А. Медико-биологические свойства и перспективы терпеноидов (изопреноидов) // Химия растительного сырья. 2014. № 4. С. 5—20.
9. Пономарева Е. И., Молохова Е. И., Холов А. К. Применение эфирных масел в фармации // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 4. С. 37—45.
10. Племенков В. В. Введение в химию природных соединений. Казань, 2001. 376 с.
11. Ловкова М. Я. Биосинтез и метаболизм алкалоидов в растениях. М.: Наука, 1981. 169 с.
12. Бриттон Г. Биохимия природных пигментов. М.: Мир, 1986. 422 с.
13. Максимов В. М. Популяционная структура *Pinus sylvestris* (Pinaceae) по составу монотерпенов в Среднерусской лесостепи: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.03.01. Воронеж, 2004. 48 с.
14. Кузьмин С. Р. Хвоя и древесина у сосны обыкновенной с разной степенью устойчивости к грибным патогенам // Сохранение лесных генетических ресурсов: Материалы 6-й Междунар. конференции-совещания. Кокшетау: Мир печати, 2019. С. 131—132.
15. Comparing the Variation of Needle and Wood Terpenoids in Scots Pine Provenances / A.-M. Manninen, S. Tarhanen, M. Vuorinen, P. Kainulainen // Journal of Chemical Ecology. 2002. Vol. 28. P. 211—228. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1013579222600>.
16. Васильев А. Е. Функциональная морфология секреторных клеток растений. Л., 1977. 208 с.

17. Степень Р. А. Экологическая и ресурсная значимость летучих терпеноидов сосняков Средней Сибири // Химия растительного сырья. 1999. № 2. С. 125—129.
18. Есякова О. А., Степень Р. А. Индикация загрязнения атмосферы Красноярска по морфометрическим и химическим показателям хвои ели сибирской // Химия растительного сырья. 2008. № 1. С. 143—148.
19. Степень Р. А. Состав эфирного масла и летучих терпеноидов побегов *Pinus silvestris* L. в Средней Сибири // Растительные ресурсы. 1995. Вып. 4. С. 63—70.
20. Петренко Е. С. Изменчивость числа смоляных каналов в хвое сосны обыкновенной // Лесоведение. 1967. № 6. С. 76—83.
21. Лобанов В. В., Степень Р. А. Влияние биоценологических факторов на содержание и состав пихтового масла // Хвойные бореальные зоны. 2004. Вып. 2. С. 148—156.
22. Полтавченко Ю. А., Рудаков Г. А. Эволюция биосинтеза монотерпеновых в семействе сосновых // Растительные ресурсы. 1973. Т. 9, вып. 4. С. 481—493.
23. Крук Н. К., Носников В. В., Ребко С. В. Современное состояние, проблемы и перспективы воспроизводства лесов в Беларуси // Відтворення лісів та лісова меліорація в Україні: витоки, сучасний стан, виклики сьогодення та перспективи в умовах антропогену. Київ: Кондор, 2019. С. 417—446.
24. Правдин Л. Ф. Сосна обыкновенная: Изменчивость, внутривидовая систематика и селекция. М.: Наука, 1964. 192 с.
25. Дерума В. Я. Основные принципы отбора и подготовки образцов древесной зелени для изучения её химического состава // Изучение химического состава древесной зелени. Методические основы. Рига: Зинатне, 1983. С. 22—26.
26. Плешков Б. П. Практикум по биохимии растений. М.: Агропромиздат, 1985. 255 с.
27. Хроматография. Практическое приложение метода. Ч. 1: Пер. с англ. / Под ред. Э. Хефтман. М.: Мир, 1986. 336 с.
28. Остакин А. И. Применение методов в ЭВМ. Планирование и обработка результатов эксперимента. Минск: Выш. шк., 1989. 218 с.
29. Пен Р. З. Статистические методы моделирования и оптимизации процессов целлюлозно-бумажного производства. Красноярск: Красноярский гос. ун-т, 1982. 192 с.
30. Колесников В. Л. Математические основы компьютерного моделирования химико-технологических систем: Учебное пособие для студентов вузов. Минск: БГТУ, 2003. 312 с.
31. Пен Р. З., Менчер Э. М. Статистические методы в целлюлозно-бумажном производстве. М.: Лесная пром-сть, 1973. 120 с.
32. Сезонная динамика терпеноидов эфирного масла *Picea glauca* в городских условиях / С. А. Ламоткин, Е. В. Гиль, Л. И. Романюк, Е. Д. Скаковский // Растительные ресурсы. 2019. Т. 55, № 2. С. 259—267.

References

1. Krasil'nikova L. A., Avksent'eva O. A., Zhmurko V. V., Sadovnichenko Yu. A. *Biochemistry of plants*. Rostov-on-Don: Feniks Publ.; Kharkiv, Torsing Publ., 2004. 224 p. (In Russ.)
2. Kretovich V. L. *Plant biochemistry: textbook*. Moscow, 1986. 503 p. (In Russ.)
3. Crozier A., Clifford M., Ashihara H. *Plant secondary metabolites: occurrence, structure and role in the human diet*. Oxford, Blackwell Publishing Ltd, 2006. 372 p.
4. Kheldt G. V. *Plant biochemistry*. Moscow, BINOM, 2011. 471 p. (In Russ.)
5. Babkin V. A. Extractives of larch wood: chemical composition, biological activity, prospects for practical use. *Innovation and Expertise*, 2017, no. 2 (20), pp. 210—223. (In Russ.)
6. Schmidt A., Zeneli G., Hietala A. M., Fossdal C. G., Krokene P., Christiansen E., Gershenzon J. Induced chemical defenses in conifers: biochemical and molecular approaches to studying their

- function. In: Romeo JT (ed.) *Chemical ecology and phytochemistry of forest ecosystems, Recent advances in phytochemistry*. Amsterdam: Elsevier, 2005, vol. 39, pp. 1—28.
7. Babkin V. A. *Larch biomass: from chemical composition to innovative products*: monograph. Novosibirsk, Izdatelstvo SO RAN, 2011, 236 p. (In Russ.)
 8. Plemenkov V. V., Tevs O. A. Medical and biological properties and prospects terpenoids (isoprenoids). *Chemistry of vegetable raw materials*, 2014, no. 4, pp. 5—20. (In Russ.)
 9. Ponomareva E. I., Molokhova E. I., Kholov A. K. The usage of essential oils in pharmacy. *Modern problems of science and education*, 2015, no. 4, pp. 37—45. (In Russ.)
 10. Plemenkov V. V. *Introduction to the Chemistry of Natural Compounds*. Kazan, 2001. 376 p. (In Russ.)
 11. Lovkova M. Ya. *Biosynthesis and Metabolism of Alkaloids in Plants*. Moscow, Nauka, 1981. 169 p. (In Russ.)
 12. Britton G. *Biochemistry of natural pigments*. Moscow, Mir Publ., 1986. 422 p. (In Russ.)
 13. Maksimov V. M. *Population structure of Pinus sylvestris (Pinaceae) according to the composition of monoterpenes in the Central Russian forest-steppe*: autoabstract of dr. agr. diss.: 06.03.01. Voronezh, 2004. 48 p. (In Russ.)
 14. Kuzmin S. R. Scots pine needles and wood with varying degrees of resistance to fungal pathogens. *Conservation of forest genetic resources*: Proceedings of the 6th International conference-meeting. Kokshetau: The World of Printing, 2019, pp. 131—132. (In Russ.)
 15. Manninen A.-M., Tarhanen S., Vuorinen M., Kainulainen P. Comparing the Variation of Needle and Wood Terpenoids in Scots Pine Provenances. *Journal of Chemical Ecology*, 2002, vol. 28, pp. 211—228. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1013579222600>.
 16. Vasilyev A. E. *Functional morphology of plant secretory cells*. Leningrad, 1977. 208 p.
 17. Stepen' R. A. Ecological and resource significance of volatile terpenes of pine forests of middle Siberia. *Chemistry of plant raw materials*, 1999, no. 2, pp. 125—129. (In Russ.)
 18. Esyakova O. A., Stepen' R. A. Indication of air pollution in Krasnoyarsk by morphometric and chemical parameters of Siberian spruce needles. *Chemistry of plant raw materials*, 2008, no. 1, pp. 143—148. (In Russ.)
 19. Stepen' R. A. The composition of essential oils and volatile terpenoids shoots *Pinus sylvestris* L. in Central Siberia. *Plant resources*, 1995, no. 4, pp. 63—70. (In Russ.)
 20. Petrenko E. S. Variability of the number of resin channels in the needles of Scots pine. *Journal of Forest Science*. 1967, no. 6, pp. 76—83. (In Russ.)
 21. Lobanov V. V., Stepen' R. A. Influence of biocenotic factors on the content and composition of fir oil. *Coniferous boreal zones*, 2004. no. 2, pp. 148—156. (In Russ.)
 22. Poltavchenko Yu. A., Rudakov G. A. Evolution of biosynthesis of monoterpene in the pine family. *Plant resources*, 1973, vol. 9, no. 4, pp. 481—493. (In Russ.)
 23. Kruk N. K., Nosnikau V. V., Rabko S. V. The current state, problems and prospects of forest reproduction in Belarus. *Forest reproduction and forest reclamation in Ukraine: origins, current state, current challenges and prospects in the anthropocene*. Kyiv, Condor, 2019, pp. 417—446. (In Russ.)
 24. Pravdin L. F. *Scots Pine. Variability, Intraspecific Systematics and Breeding*. Moscow, Nauka Publ., 1964. 192 p. (In Russ.)
 25. Deruma V. Ya. Basic principles of selection and preparation of samples of woody greenery for studying its chemical composition. *Study of the chemical composition of woody greenery. Methodological foundations*. Riga, Zinatne, 1983, pp. 22—26. (In Russ.)
 26. Pleshkov B. P. *Workshop on plant biochemistry*. Moscow, Agropromizdat, 1985. 255 p. (In Russ.)
 27. *Chromatography. Practical application of the method*. Part 1. Translation from English / Edited by E. Heftman. Moscow, Mir, 1986. 336 p. (In Russ.)

28. Ostakin A. I. *Application of methods in a computer. Planning and processing the results of the experiment.* Minsk, Vysheyshaya shkola Publ., 1989. 218 p. (In Russ.)
29. Pen R. Z. *Statistical methods for modeling and optimization of pulp and paper production processes.* Krasnoyarsk, KGU Publ., 1982. 192 p. (In Russ.)
30. Kolesnikov V. L. *Mathematical fundamentals of computer modeling of chemical-technological systems.* Minsk, BGTU Publ., 2003. 312 p. (In Russ.)
31. Pen R. Z., Mencher E. M. *Statistical methods in pulp and paper production.* Moscow: Lesnaya prom-st, 1973. 120 p. (In Russ.)
32. Lamotkin S. A., Hil E. V., Romanyuk L. I., Skakovskiy E.D. Seasonal Dynamics of Terpenoids in Essential Oil of Urban Grown *Picea glauca*. *Plant resources*, 2019, vol. 55, no. 2, pp. 259—267. (In Russ.)

© Ребко С. В., Мельник П. Г., Ламоткин С. А., Тупик П. В., Поплавская Л. Ф., Носников В. В., 2021