

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭКСТРАКЦИИ ЭФИРНЫХ МАСЕЛ ИЗ ХВОИ И КОРЫ СОСНЫ

Р.Г. Сафин¹, К.В. Валеев^{1✉}, Н.Ф. Тимербаев¹,
В.И. Петров¹, К.Х. Гильфанов²

¹ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (КНИТУ), Россия, 420015, Республика Татарстан, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 68

²ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» (КГЭУ), Россия, 420066, Республика Татарстан, г. Казань Красносельская ул., д. 51

kirval116@mail.ru

Представлено описание процесса экстракции эфирных масел из хвои и коры сосны. Приведена принципиальная схема экспериментальной установки извлечения эфирного масла. Представлена методика проведения экспериментальных исследований и процесса извлечения эфирных масел. Получены зависимости концентрации эфирного масла в экстракте из хвои и коры сосны при различной температуре, представлена кинетика изменения плотности эфирного масла в процессе экстракции, выявлена зависимость концентрации эфирного масла в экстракте от приведенного расхода пара, установлено время выхода эфирного масла в процессе экстракции на рабочую температуру по высоте слоя. Определена скорость выделения эфирных масел при различной температуре, а также время выхода процесса экстракции на рабочую температуру. Выявлено, что выделение максимального количества эфирного масла достигается при температуре пара 120 °С, продолжительности процесса 150 минут, расходе пара для выхода на рабочую температуру — 650 м³/ч. Установлено максимальное извлечение эфирных масел из хвои — 0,9 %, из коры — 2,5 %. Степень извлечения эфирных масел паровой экстракцией составляет: из хвои 82 %, а из коры 86 %.

Ключевые слова: экстракция, хвоя, кора, сосна, эфирные масла

Ссылка для цитирования: Сафин Р.Г., Валеев К.В., Тимербаев Н.Ф., Петров В.И., Гильфанов К.Х. Исследование процесса экстракции эфирных масел из хвои и коры сосны // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2025. Т. 29. № 4. С. 126–138. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-4-126-138

Молодые и густые хвойные леса, произрастающие на территории Республики Татарстан, Республики Марий Эл и в Кировской области в последние годы пострадали от лесных пожаров и нашествий насекомых. Для того чтобы восстановить эти леса до экологически устойчивого состояния, осуществляется вырубка большого количества маломерных деревьев. Экономическая ценность деревьев со стволами малого диаметра как пиломатериала не компенсирует капитальные и эксплуатационные затраты на их обработку. В связи с этим образуются большие объемы древесины и порубочных остатков, в частности от сосны [1–3]. Помимо целлюлозы сосна содержит в хвое, коре и стволе сложные органические соединения, используемые деревом для роста, размножения и защиты, в частности эфирные масла, смолы (канифоль, жирные кислоты и сложные эфиры жирных кислот) и терпены, которые можно получить из отходов лесозаготовок [4].

Процессы экстракции эфирных масел из хвои и коры сосны относятся к важной области исследований в химии, биохимии, фармацевтике, пищевой и медицинской промышленности. Эфирные масла представляют собой обширный и разнородный класс органических веществ, в составе которых преобладают живые клетки хвои и коры [5, 6].

Продукты извлечения из сосны обладают лечебными свойствами и применяются, в частности, при бронхолегочных заболеваниях [7]. На основе различных видов сосны были разработаны новые лекарственные средства, которые могут стать достойной альтернативой нестероидным противовоспалительным препаратам [8]. Канифоль, получаемая в результате перегонки хвойной смолы, широко используется в промышленности для производства клея, типографских красок и лаков [9].

Эфирное масло представляет собой ароматическую, маслянистую, жидкость, получаемую из таких различных частей растений, как листья, семена, плоды, почки, цветы, древесина, кора и корни [10]. Они плохо растворяются в воде, но

растворимы в спиртах, органических растворителях, жирах и других гидрофобных соединениях. Эфирные масла составляют лишь небольшую часть общей массы растительного сырья (от 1 до 5,5 %), в зависимости от подвида [11]. Они могут содержать от 20 до 60 соединений разного состава, которые в конечном итоге образуют очень сложную смесь. Как правило, два или три компонента растительного сырья вносят основной вклад (20...70 %), с точки зрения концентрации, в конкретном виде эфирного масла [12].

Эфирные масла, полученные из хвои сосны представляют собой прозрачную жидкость от светло-янтарного до зелено-желтого цвета с запахом хвои [13]. В основном его получают путем отгонки паром. Важными компонентами в эфирном масле являются камфен (до 50 %) и борнилацетат (от 0,9 % до 1,5 %), отвечающие за ароматизирующие свойства и применяемые в производстве камфоры, душистых веществ и оптических клеев [14]. Эфирные масла хвои сосны благодаря антисептическим, дезинфицирующим, восстанавливающим, противовоспалительным, общестимулирующим, мочегонным, потогонным и другими свойствами широко используются в бактерицидных, фунгицидных и медицинских целях [15], а также применяются в качестве консервантов для пищевых продуктов [16]. Некоторые ключевые ингредиенты эфирных масел используются в парфюмерии и косметике. Сельское хозяйство и фармацевтическое производство — основные потребители эфирных масел.

Эфирные масла, получаемые из коры сосны, немного отличаются от масел, полученных из хвои, прежде всего содержанием большого количества азулена (до 3,22 %) [17], используемого в качестве сырьевой субстанции при создании лекарственных препаратов в парфюмерной и косметической промышленности. В эфирном масле из коры и веток (без хвои) присутствуют лимонен (до 36,2 % общей массы эфирного масла) и β -фелландрен (до 18,8 % общей массы эфирного масла) [18], оказывающие противовоспалительное, антибактериальное, обезболивающее, седативное и противогрибковое действие, нормализующие работу пищеварительной системы и обладающие тонизирующим и общеукрепляющими свойствами [19].

Спрос на эфирные масла непрерывно растет, поскольку потребители становятся более внимательными к ингредиентам в средствах личной гигиены и ищут альтернативу, безопасную и полезную, а также осуществляют поиск натуральных продуктов, для снятия стресса и релаксации [20]. По прогнозам [21], объем ми-

рового рынка эфирных масел к 2031 г. достигнет 23,4 млрд дол. США, при среднегодовом темпе роста 9,6 % в прогнозируемый период с 2024 по 2031 гг. Это обуславливает необходимость совершенствования существующих способов и технологий экстракции биологически активных веществ из хвои и коры сосны [22]. Существует множество способов извлечения соснового масла:

- паровая дистилляция;
- экстракция в аппарате Сокслета с последующим выпариванием растворителей;
- ректификация и фракционирование экстрактов растворителем;
- мацерация и прессование;
- экстракция сверхкритической жидкостью;
- экстракция в СВЧ-поле;
- ультразвуковая экстракция.

Методы экстракции эфирных масел значительно усовершенствовались. Количественный выход экстракта оценивают с помощью таких современных методов, как газовая хроматография с масс-спектрометрией (ГХ-МС) и высокоэффективная жидкостная хроматография [23, 24].

Г.Ф. Кашенко [25] исследовал влияние фракционного состава древесной зелени на выход и качество эфирных масел. Исследователем были получены водорастворимые вещества из древесной зелени сосны. Выход эфирных масел составил 23,6 кг из 1 т сырья, а водорастворимых веществ — 120 кг.

Г.С. Тутыгиным [26] представлена технология непрерывной переработки хвои. Измельченная древесная зелень непрерывно поступает в винтовой экстрактор непрерывного действия, туда же поступает нагретый до 85...90 °С экстрагент (вода) в режиме противотока в течение 2–3 ч. После процесса экстракции проводится фильтрация полученной мисцеллы. Отфильтрованную смесь упаривают до пастообразного состояния.

Работа В.С. Федоровой и Т.В. Рязановой [27] посвящена созданию новой технологии в целях снижения антропогенного воздействия на окружающую среду. Особый интерес исследователей представляют экстрактивные вещества коры — фенольные соединения танинной природы, которые используются в качестве дубильных веществ в кожевенном производстве. Из коры выделяют вещества с антибактериальной активностью для фармацевтического и нутрицевтического применения. В качестве экстрагирующего агента используют водно-щелочные растворы, в частности моноэтаноламин. Полученные экстракты отличаются высокой чистотой.

Marjanović-Balaban [28], предложил метод гидродистилляции в условиях промышленного производства. Исследователь методом паровой дистилляции получил эфирные масла *Abies alba* из свежей хвои сосны, собранной на территории Черногории. Состав эфирных масел определялся с помощью ГХ-МС. Основными компонентами были β -пинен (32,8 %), α -пинен (17,3 %), камфен (16,7 %), борнилацетат (9,0 %), лимонен (6,1 %) и β -фелландрен (4,9 %).

В.И. Рошин [29] предложил способ переработки древесной зелени хвойных пород. В качестве сырья использовались хвоя сосны, ели, пихты, кедра. В качестве экстрагента использовали органические растворители — бензин, гексан, петролейный эфир, ацетон. Все исследования проводились в аппарате Сокслета. Для каждого вида сырья используются свои технические параметры:

- для хвои сосны в качестве экстрагента использовался бензин, температура экстракции 70...76 °C, время экстракции 3,5 ч;
- для хвои ели — петролейный эфир, температура — 40...70 °C, время — 4 ч;
- для хвои пихты — гексан, температура — 68 °C, время — 5 ч;
- для хвои кедра — ацетон, температура — 56 °C, время — 2 ч.

После экстракции каждый экстракт фильтруют, охлаждают, омывают 20...40 %-м раствором щелочи, сепарируют хлорофиллиновыми кислотами, смесями жирных и смоляных кислот, воском. Из рафинированной хвои всех пород выделяют стерины, полипенолы и концентрат алифатических углеводов.

Также В.И. Рошин [30] предложил способ переработки древесной зелени пихты. Способ включает в себя переработку зелени пихты методом экстрагирования жидким диоксидом углерода при давлении выше 500 кПа, отстаивание экстракта в течение 24 ч при температуре 24 °C, сепарацию осадка, промывку осадка малополярным растворителем, отгонку растворителя и выделение кристаллов мальтола при атмосферном давлении. Степень чистоты мальтолы достигает 98...99,9 %.

В работе А.Е. Воронина [31] описан способ комплексной переработки древесной зелени. Способ включает в себя измельчение сырья при естественной влажности до размеров 3...5 мм, обработку растительного сырья перегретым паром 160...165 °C, сепарацию на легкую и тяжелую фракции сконденсировавшегося экстракта, упаривание тяжелой фракции при температуре 145...150 °C. При этом рафинированное растительное сырье отжимается и досушивается до влажности 10...15 %, измельчается и фасуется.

Способ комплексной переработки древесной зелени (осины, ивы и пихты), разработанный Н.Ф. Тимербаевым [32], включает в себя измельчение древесной зелени в состоянии естественной влажности, загрузку материала в колонный экстрактор с тарелками, предварительный прогрев сырья, экстракцию биологически активных веществ в течение 6...8 ч при температуре 20...40 °C водным раствором этанола (40...70 %). Рафинирование зелени предусматривает удаление паром остатка экстракта, отжим сырья и сушку до влагосодержания 10...15 %. Выпаривание экстракта осуществляется в две стадии. На первой стадии происходит сгущение экстракта за счет выпаривания этанола понижением давления эжекторным насосом. На второй стадии проводится вакуумная сушка в вакуумной шнековой сушилке до полного удаления этанола и воды. В результате было получено эфирное масло из пихты и борнилацетат.

Способ переработки древесной зелени, предложенный О.Ю. Красильниковым [33], заключается в обработке хвои методом экстрагирования при температуре 120...170 °C. К экструдеру прикреплен пневмоприемник-отвод для улавливания газообразной смеси из экструдера. Данный способ предусматривает переработку хвои из лиственницы, сосны, кедра, пихты.

Choi Yong-gil [34] предложил способ получения эфирного масла из хвои сосны. Способ включает в себя сбор и промывку хвои и ветвей, измельчение растительного сырья до размеров 1...5 см. Получение смеси путем смешения измельченной хвои и ветвей при массовом соотношении: сырье : экстрагент — 1:1. Получение экстракта осуществляют следующим образом: смесь хвои, ветвей и экстрагента загружают в нагреваемую емкость, добавляют дистиллированную воду в соотношении: сырье : раствор — 1:12, а затем нагревают смесь до температуры 80...90 °C и выдерживают в течение 22 ч в герметично закрытом состоянии. После экстракции смесь охлаждают и удаляют твердые частицы хвои, ветвей и выделившуюся канифоль. Из экстракта выпаривают воду в течение 18...22 ч при температуре 100 °C, оставшаяся сироповидная масса представляет собой эфирное масло сосны.

Namid Mellouk и соавторы [35] исследовали микроволновую экстракцию масла из отходов коры французской морской сосны и ее антиоксидантную активность, сравнивая ее с классическим методом гидродистилляции (на аппарате Клевенджера). Максимальный выход экстракции «3,48 % общей массы сухой

коры» был достигнут при оптимальном времени экстракции 92,4 мин и мощности облучения 803,5 Вт по сравнению с выходом 2,2 %, полученным при обычном методе (гидродистилляции). Анализ ГХ–МС показал, что экстракт, полученный микроволновой экстракцией, богаче кислородсодержащими соединениями (~40 %) по сравнению с экстрактом, полученным гидродистилляцией с выходом 26 %. Результаты также показали, что две независимые переменные имели статистически значимое влияние на выход масла, общие фенольные соединения и антиоксидантную активность, оцененную с помощью 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила. В оптимизированных условиях количество фенольных соединений составило 139,15 мг в экстракте, что значительно выше, чем полученное для гидродистилляции (14,28 мг в экстракте), что позволяет предположить, что микроволновая экстракция представляет собой интересную альтернативную технологию для производства извлекаемого масла из отходов коры французской приморской сосны. Процент ингибирования также был выше для техники микроволновой экстракции (71,91 %), чем при гидродистилляции (56,51 %), что указывает на более высокую антиоксидантную активность.

В работах [25–35] показано, что наиболее эффективным способом извлечения эфирных масел из хвои и коры сосны является паровая дистилляция, которая позволяет извлекать максимальное количество ценных компонентов. На кафедре переработки древесных материалов в ФГБОУ ВО «КНИТУ» исследован процесс паровой экстракции эфирных масел из хвои и коры сосны, произрастающей в Республике Татарстан.

Цель работы

Цель работы — определение рациональных режимных параметров процесса паровой экстракции эфирных масел из хвои и коры сосен, произрастающих в Республике Татарстан.

Материалы и методы

Для проведения процесса экстракции эфирных масел из хвои и коры сосны европейско-восточного подвида (рис. 1) в Республике Татарстан были собраны образцы за период сентябрь — октябрь 2024 г. Хранение образцов осуществлялось в герметичной емкости не более 10 сут.

Для определения рациональных параметров процесса паровой экстракции из хвои сосны

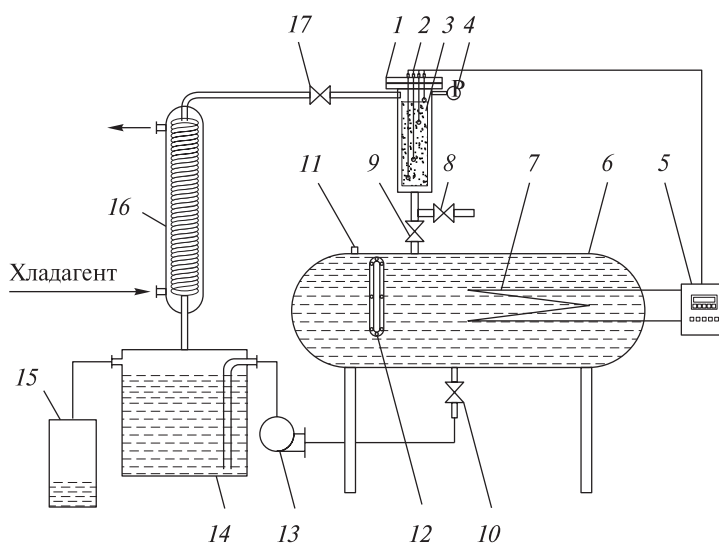
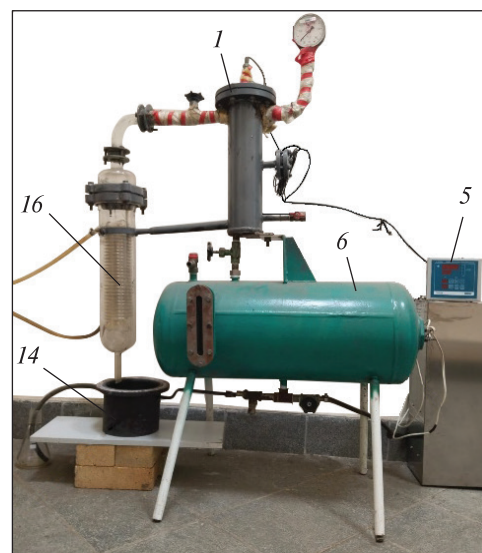
была разработана пилотная установка, ее принципиальная схема и внешний вид (рис. 2).

Установка состоит из экстрактора 1 с хромель-копелевыми термопарами 2, перфорированной корзиной 3, датчиком давления 4, из терморегулятора 5, парогенератора 6 с тэном 7 и клапаном аварийного сброса давления 11, смотровым окном 12, из насоса 13, флорентины 14, буферной емкости 15, конденсатора 16 и вентиля 8, 9, 10, 17.

Исследование проводилось следующим образом. В парогенератор 6 заливалась дистиллированная вода при закрытом вентиле 9 и включался тэн 7. Уровень воды в парогенераторе контролировался через смотровое окно 12. После заполнения вентиль 10 закрывался. Параллельно в экстрактор 1 устанавливалась перфорированная корзина 3 с измельченной хвоей или корой сосны и плотно закрывалась крышкой. После достижения температуры кипения воды в парогенераторе 6 открывались вентили 9 и 17. Температура слоев в экстракторе измерялась хромель-копелевой термопарой 2, которая передавала данные на терморегулятор 5 для поддержания заданной температуры процесса. Также температуру и расход пара в экстракторе регулировали вентилями 9 и 17. Водорастворимые вещества растворялись в паровом потоке и поступали в конденсатор 16. Образовавшийся конденсат стекал в флорентину 14. Поскольку плотность эфирных масел сосны (0,868...0,903 г/см³) меньше плотности воды (1 г/см³) [36], она скапливалась на поверхности и перетекала в буферную емкость 15, а вода передавалась, с помощью насоса 13 обратно в парогенератор 6.

Для определения исходного содержания экстрактивных веществ в коре и хвое сосны проводилась исчерпывающая экстракция сырья массой 50 г в аппарате Сокслета с использованием 200 г дистиллированной воды. После завершения процесса экстрагирования из экстракта выпаривался экстрагент до образования вязкого состояния. Упаренный вязкий экстракт светло-янтарного цвета переливался в выпарительную чашу и досушивался при температуре 50 °С в вакуумном сушильном шкафу до полного удаления воды. Содержание эфирного масла в экстрактах определялось жидкостным хроматографом PerkinElmer Flexar и спектрометром Lambda 25 (PerkinElmer). Исследование проведено с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Наноматериалы и нанотехнологии» «КНИТУ».

Исходное содержание эфирных масел из хвои сосны составило 1,1 % общей массы сырья, а из коры — 2,9 %.

*a**б***Рис. 1.** Исследуемое сырье: *a* — хвоя; *б* — кора**Fig. 1.** The raw materials under study: *a* — needles; *б* — bark*a**б***Рис. 2.** Принципиальная схема (*a*) экспериментальной установки (*б*) для экстракции биологически активных веществ из хвои и коры сосны**Fig. 2.** Schematic diagram (*a*) and external appearance of the pilot plant (*б*) for the extraction of biologically active substances from pine needles and bark

Экспериментальное определение времени выхода на рабочую температуру процесса каждого слоя при изменении расхода пара проводилось в экстракторе 1 с помощью хромель-копелевых термопар 2, установленных на разных уровнях в слое материала: 100, 200, 300, 400 мм. Общая высота слоя составляла 500 мм.

Плотность эфирных масел определялась по стандартной методике [37, 38], описанной в

ГОСТ ISO 279-2014 [39]. Стандарт устанавливает контрольный метод определения относительной плотности эфирных масел при температуре 20°C (таблица).

Обработка результатов исследований позволит рекомендовать рациональные режимные параметры процесса экстракции эфирных масел из хвои и коры сосны, а именно: температуру процесса экстракции (100...140 °C), расход

Процесс экстракции эфирных масел из хвои и коры сосны (размер частиц 2...7 мм)

The process of extraction of essential oils from pine needles and bark (particle size 2...7 mm)

Режим	Технологические параметры						
Температура экстракции, T , °C	100		110	120	130		140
Расход пара в процессе экстракции G , м ³ /ч	350	450	550	650	750	850	900
Расход пара при нагреве сырья, G , м ³ /ч	350	450	550	650	750	850	900
Продолжительность обработки τ , мин	30	60	90	120	150	180	210

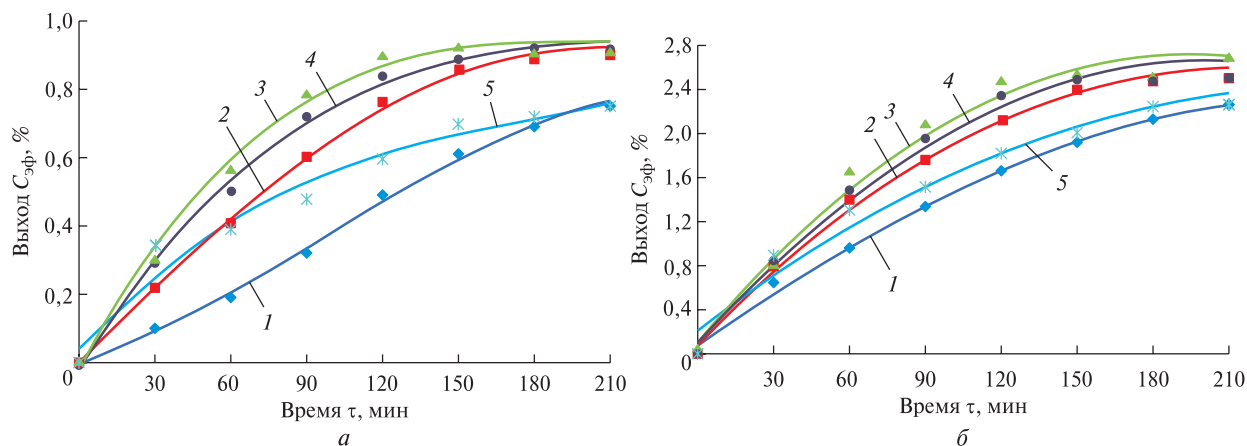


Рис. 3. Зависимость концентрации эфирного масла $C_{эф}$ в экстрактах от продолжительности процесса экстракции из хвои (а) и коры (б) сосны при различной температуре: 1 — 100 °C; 2 — 110; 3 — 120; 4 — 130; 5 — 140 °C

Fig. 3. Dependence of the concentration of $C_{эф}$ essential oil in extracts on the duration of the extraction process from pine needles (а) and bark (б) at different temperatures: 1 — 100 °C; 2 — 110; 3 — 120; 4 — 130; 5 — 140 °C

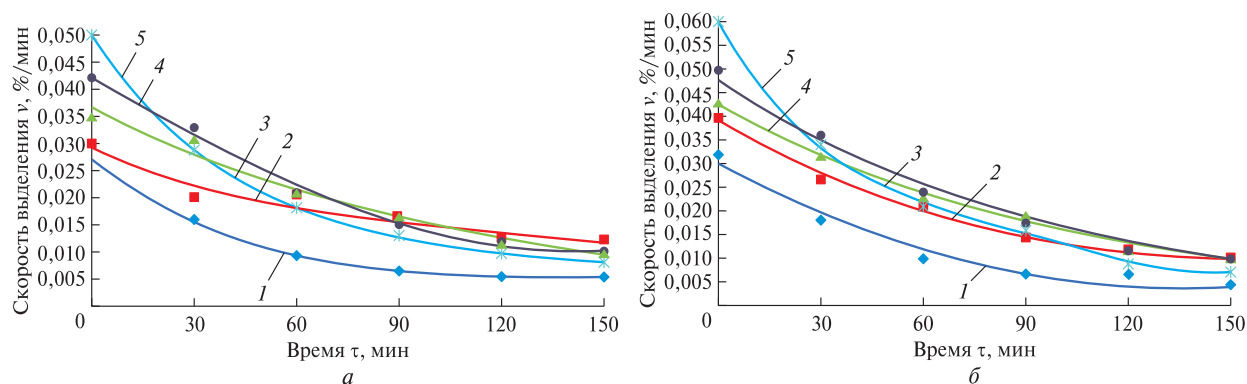


Рис. 4. Скорость выделения эфирных масел из хвои (а) и коры (б) сосны при различной температуре: 1 — 100 °C; 2 — 110; 3 — 120; 4 — 130; 5 — 140 °C

Fig. 4. The rate of release of essential oils from pine needles (а) and bark (б) at different temperatures: 1 — 100 °C; 2 — 110; 3 — 120; 4 — 130; 5 — 140 °C

пара (350...900 м³/ч), продолжительность процесса (30...210 мин).

Для обеспечения надежности результатов каждого исследования, эксперименты проводились трижды и использовались среднеарифметические значения.

Результаты и обсуждение

Выполнены эксперименты и получены данные по выходу эфирных масел из хвои и коры сосны при различной температуре, в зависимости от времени извлечения (рис. 3, 4).

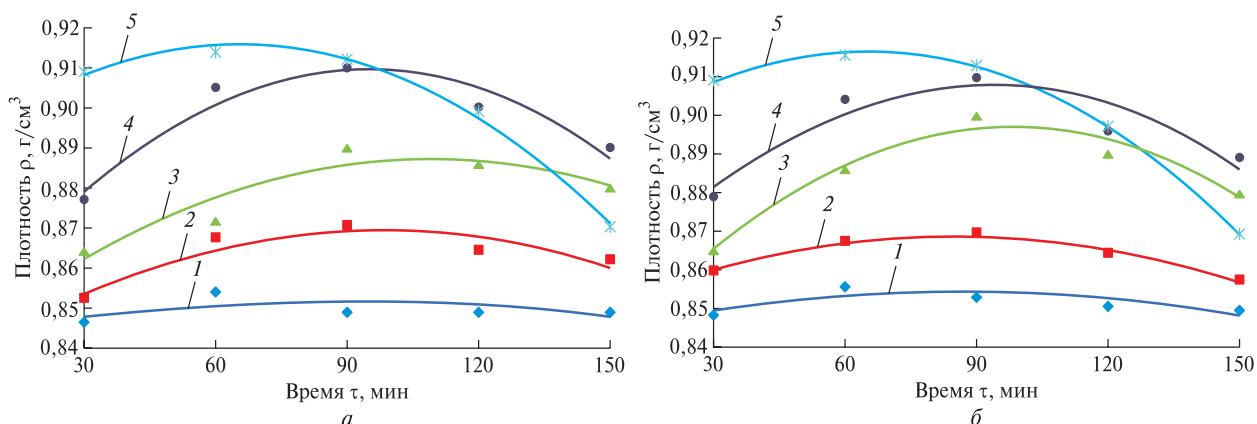


Рис. 5. Кинетика изменения плотности эфирного масла в процессе экстракции из хвои (а) и коры (б) сосны: 1 — 100 °C; 2 — 110; 3 — 120; 4 — 130; 5 — 140 °C

Fig. 5. Kinetics of changes in the density of essential oil during extraction from pine needles (а) and bark (б): 1 — 100 °C; 2 — 110; 3 — 120; 4 — 130; 5 — 140 °C

Анализ приведенных кинетических зависимостей выхода эфирных масел из хвои и коры сосны (см. рис. 3) показывает, что интенсивность процесса извлечения биологически активных веществ снижается по экспоненциальному закону и возрастает при повышении температуры до 120 °C (см. рис. 3, кривая 3). При более высокой температуре выход уменьшается вследствие начинающегося распада биологически активных веществ (см. рис. 3, кривая 5).

Анализ кинетических кривых по скорости выхода показывает, что максимальная начальная скорость выделения эфирных масел наблюдается при температуре 140 °C (см. рис. 4, кривая 5) из хвои — 0,05 %/мин, из коры — 0,06 %/мин. Высокая температура интенсифицирует выделение эфирных масел за счет увеличения подвижности молекул и процессов диффузии. При температуре 100 °C (см. рис. 4, кривая 1) скорость выделения эфирного масла из хвои и коры минимальна как в начале, так и в течение всего процесса, максимальная скорость равна 0,03 %/мин (начальный показатель), что приводит к более продолжительному процессу. При температуре 110 °C, 120 и 130 °C наблюдаются промежуточные значения, причем скорость выделения эфирных масел при этих значениях температуры изменяется более равномерно. К 150 мин скорость выделения стабилизируется и достигает низких значений для всех значений температуры (рис. 5).

Визуальный анализ кинетических кривых показывает, что плотность эфирных масел вначале повышается, а затем уменьшается. Максимальное значение плотности у эфирного масла, полученного при температуре 140 °C наблюда-

ется через 60 мин, а у остальных образцов — через 90...100 мин. Уменьшение плотности эфирного масла происходит вследствие разложения при повышенных температурах биологически активных веществ, в частности борнилацетата, наиболее важного компонента. Однако по органолептическим и конечным значениям плотность эфирных масел, извлеченных при всех температурных режимах (кроме процесса экстракции при 100 °C), удовлетворяет требованиям ТУ [40] (плотность эфирного масла должна находиться в пределах 0,857...0,903 г/м³).

Для получения более точных данных по влиянию температуры на выход эфирных масел из хвои и коры сосны были проведены дополнительные исследования процесса экстракции в течение 150 мин, при температуре от 110 до 140 °C (рис. 6).

Результаты проведенных исследований показывают, что при температуре 120 °C наблюдается наибольший выход эфирных масел как из хвои (0,9 %), так и из коры (2,5 %) сосны. Более низкие и более высокие значения температуры оказывают отрицательное влияние на выход масла. Это связано с недостаточной экстракцией при более низкой температуре и с термическим разложением компонентов эфирного масла при превышении температуры.

Следовательно, для достижения максимального результата следует проводить экстракцию при давлении пара 198,5 кПа, необходимом для поддержания температуры 120 °C.

Степень извлечения эфирных масел из хвои составила 82 %, а из коры 86 % (рис. 7).

Визуальный анализ кривых показывает, что скорость выделения эфирных масел при приведенном расходе пара 350 м³/ч примерно

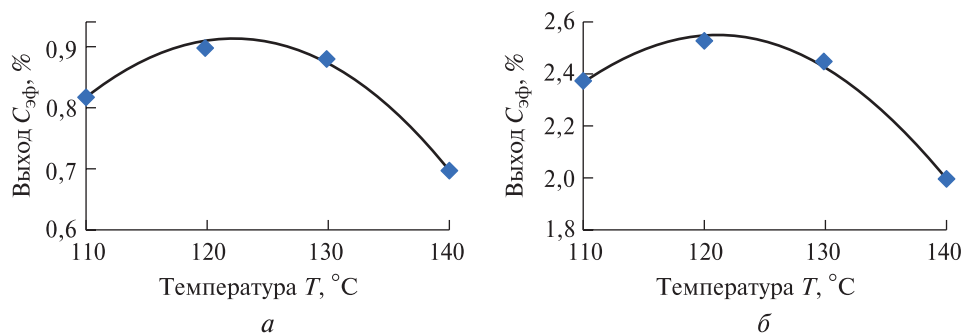


Рис. 6. Зависимость концентрации эфирного масла $C_{эф}$ в экстрактах от температуры процесса экстракции из хвои (а) и коры (б) сосны

Fig. 6. Dependence of the concentration of $C_{эф}$ essential oil in extracts on the temperature of the extraction process from pine needles (а) and bark (б)

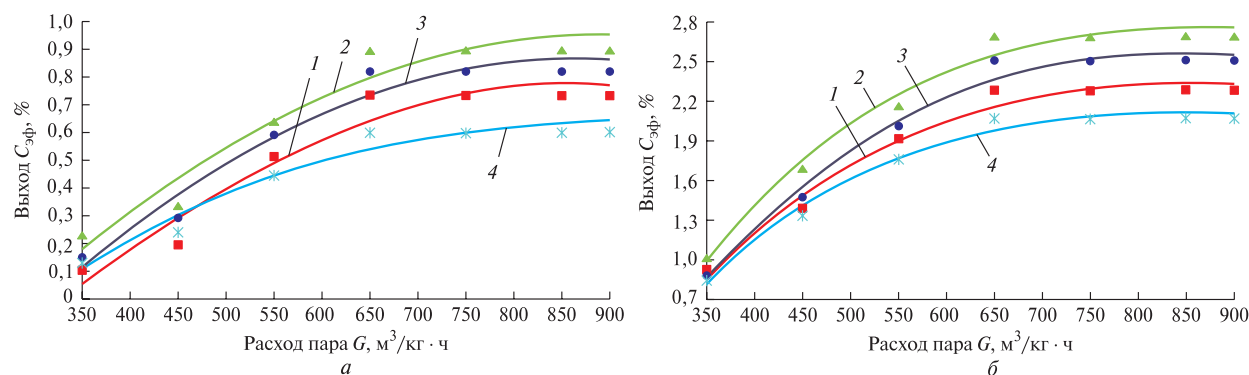


Рис. 7. Зависимость концентрации эфирного масла $C_{эф}$ в экстрактах от расхода пара в процессе экстракции из хвои (а) и коры (б) сосны при различных температурах: 1 — 100 °C; 2 — 110; 3 — 120; 4 — 130; 5 — 140 °C

Fig. 7. Dependence of the concentration of $C_{эф}$ essential oil in extracts on steam consumption during extraction from pine needles (а) and bark (б) at different temperatures: 1 — 100 °C; 2 — 110; 3 — 120; 4 — 130; 5 — 140 °C

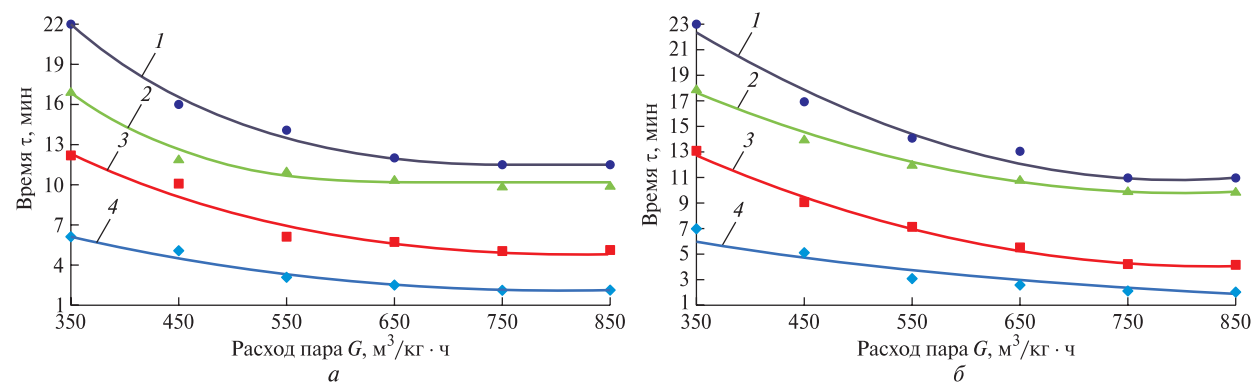


Рис. 8. Время выхода эфирного масла в процессе экстракции из хвои (а) и коры (б) сосны на рабочую температуру по высоте слоя: 1 — 400 мм; 2 — 300; 3 — 200; 4 — 100 мм

Fig. 8. The time of release of the essential oil of the extraction process from pine needles (а) and bark (б) at the operating temperature according to the height of the layer: 1 — 400 mm; 2 — 300; 3 — 200; 4 — 100 mm

одинаковая при различных значениях температуры экстракции. С ростом расхода пара до 750 м³/ч выход извлекаемых веществ заметно возрастает. Концентрация эфирного масла при экстракции хвои при температуре 120 °С увеличилась на 0,7 %, а при экстракции коры — на 1,5 %. Это связано с тем, что эфирные масла при увеличении расхода пара быстрее диффундируют в экстрагент. При других значениях температуры концентрация эфирного масла для рассматриваемого интервала расхода пара изменилась менее значительно.

При дальнейшем возрастании расхода подаваемого пара существенных изменений выхода эфирного масла не происходит (рис. 8).

Анализ данных показывает, что с увеличением расхода пара время выхода процесса экстракции на рабочую температуру для каждого слоя сокращается. Заметное сокращение времени наблюдается при увеличении расхода пара с 350 до 650 м³/ч, а в период с 650 до 850 м³/ч существенных изменений не наблюдается. Следовательно, оптимальный расход пара составляет 650 м³/ч.

Выводы

По кинетическим кривым выхода эфирного масла и скорости экстрагирования эфирных масел из хвои и коры сосны в диапазоне температуры 100...140 °С определено эффективное время экстракции, которое составило 150 мин, а также выявлено изменение плотности экстрагированных масел, то есть эфирные масла, извлеченные при температуре от 110 °С до 140 °С удовлетворяют требованиям ТУ по плотности и органолептическим свойствам. Анализ зависимости выхода эфирных масел от температурного режима показал, что при температуре 120 °С наблюдается максимальный выход эфирного масла, который составил 0,9 % для хвои и 2,5 % для коры сосны. Исследованием влияния расхода пара на выход эфирного масла и времени выхода процесса на рабочую температуру выявлен рациональный удельный расход пара, который составил 650 м³/ч. Максимальное извлечение эфирных масел из хвои составило 0,9 %, а из коры — 2,5 %. Данный способ показал, что степень извлечения эфирных масел из хвои составляет 82 %, а из коры 86 %.

Список литературы

[1] Ученые КФУ выяснили, что сосновый лес в Татарстане погибает из-за серых чапель. URL: <https://media.kpfu.ru/news/uchenye-kfu-vyyasnili-chto-sosnovyy-les-v-tatarstane-pogibaet-iz-za-serykh-capel> (дата обращения 19.06.2023).

[2] Федеральное агентство лесного хозяйства Кировской области. URL: <https://rosleshoz.gov.ru/news/pfo/itogi-borby-s-lesnymi-pozharami-v-kirovskoy-oblasti-v-2024-godu/> (дата обращения 17.01.2024).

[3] Волжская правда. URL: www.vpgazeta.ru/article/142416 (дата обращения 23.10.2024).

[4] Ковбаса Н.П. Подсочка леса. Минск: БГТУ, 2011. 104 с.

[5] Степень Р.А., Климова Л.С. Содержание и состав терпеновых компонентов эфирного масла отдельных частей сосны обыкновенной // Химия древесины, 1985. № 4. С. 101–106.

[6] Губа И.Т., Омелюх Н.С., Свистула Г.Е., Губа И.Т. Опыт комплексной переработки сосновой хвои на продукты лесохимии // Лесохозяйственная информация, 1976. № 12. С. 21–23.

[7] Туманова Е.Ю. Энциклопедия эфирных масел. М.: РИПОЛ классик, 2014. 256 с.

[8] Гитун Т.В. Лечение бронхиальной астмы. Новейшие медицинские методики. М.: РИПОЛ классик, 2008. 64 с.

[9] Никитин А.М. Художественные краски и материалы. Справочник. М.: Инфра-Инженерия, 2016. 412 с.

[10] Кундик Т.М., Зайцева О.А. Лекарственные растения флоры Брянской области. Брянск: Брянский государственный аграрный университет, 2014. 103 с.

[11] Терехин А.А., Вандышев В.В. Технология возделывания лекарственных растений. М.: Изд-во РУДН, 2008. 201 с.

[12] Бунов А.Г., Буймова С.А., Гушин А.А., Извекова Т.В. Биотестовый анализ — интегральный метод оценки качества объектов окружающей среды / под ред. В.И. Гриневича. Иваново: Изд-во Ивановского государственного химико-технологического университета, 2007. 112 с.

[13] Селлар В. Энциклопедия эфирных масел. М.: ФАИР-ПРЕСС, 2005. С. 302–305.

[14] Поляков Н.А., Дубинская В.А., Сидельников Н.И. Смесь борнилацетата и камфена, обладающая холинергическим действием. Патент № 2539373 Российская Федерация, МПК А61К 36/15, А61Р 25/00, № 2014103073/15; Заяв. 01.30.2014; Опубл. 01.30.2014. 8 с.

[15] Сибирские ученые изучили антибактериальные свойства хвои сосен из Восточной Азии. Наука в Сибири (sbras.info). URL: <https://www.sbras.info/articles/science/sibirskie-uchenye-izuchili-antibakterialnye-svoystva-khvoi-sosen-iz-vostochnoi-azii> (дата обращения 30.06.2020).

[16] Рыбин В.Г., Блинов Ю.Г. Антимикробные свойства липидов // Известия тихоокеанского научно-исследовательского рыбо-хозяйственного центра, 2001, Т. 129. С. 179–196.

[17] Тагильцев Ю. Г., Колесникова Р.Д., Орлов А.М. Способ получения эфирного масла из коры хвойных растений. Патент № 2223776 Российская Федерация, МПК SU 457719 A1, RU 2065487 C1, RU 2067977 C1, CN 596121.. № 2001127991/15, Заяв. 15.10.2001; Опубл. 20.02.2004. Бюл. № 5. 5 с.

[18] Lis A., Kalinowska A., Krajewska A., Mellor K. Chemical Composition of the Essential Oils from Different Morphological Parts of *Pinus cembra* L // Chem Biodivers, 2017, № 14 (4). DOI: 10.1002/cbdv.201600345

[19] Пашетецкий В.С., Тамашева Л. А., Пехова О.А., Данилова И.Л., Серебрякова О.А. Эфирные масла и их качество. Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2021. 212 с.

- [20] Тенденции рынка эфирных масел: глубокий анализ 2025 года. URL: <https://reads.alibaba.com/ru/exploring-the-versatile-world-of-essential-oil-in-beauty-and-personal-care/> (дата обращения 26.12.2024).
- [21] Global Essential Oils Market Size, Share, and Trends Analysis Report – Industry Overview and Forecast to 2031 URL: <https://www.databridgemarketresearch.com/ru/reports/global-essential-oils-market> (дата обращения 22.11.2024).
- [22] Тюрин Д.С. Количественные и качественные характеристики надземной фитомассы плантационных культур ели и сосны в Ленинградской области: дис. ... канд. с.-х. наук, 4.1.5. Санкт-Петербург, 2024. 232 с.
- [23] Атаева А.К., Атажанова Г.А., Бадеева К., Ивасенко С.А., Марченко А.Б., Лосева И.В. Оценка качества эфирных масел с помощью анализа ГХ-МС // Медицина и экология, 2020. № 1. С. 64–75.
- [24] Rodríguez-Solana R., Salgado J.M., Domínguez J.M., Cortés-Diéguez S. Comparison of Soxhlet, accelerated solvent and supercritical fluid extraction techniques for volatile (GC-MS and GC/FID) and phenolic compounds (HPLC-ESI/MS/MS) from Lamiaceae species // Phytochem Anal., 2014, v. 26 (1), pp. 61–71. DOI: 10.1002/pca.2537
- [25] Кашенко А.А., Томчук Р.И., Подыниглазов А.А. Влияние измельчения древесной зелени на выход и качество эфирных масел // Лесохимия и подсочка, 1972. № 7. С. 7.
- [26] Тутыгин Г.С., Гаевский Н.П., Петрик В.В. Технология производства недревесной продукции леса. Архангельск: Изд-во Архангельского государственного технического университета, 2000. 267 с.
- [27] Fedorov V.S., Ryazanova T.V. Bark of Siberian Conifers: Composition, Use, and Processing to Extract Tannin // Forests, v. 12(8), p. 1043. DOI: 10.3390/f12081043
- [28] Marjanović-Balaban Ž., Gojković Cvjetković V., Karović-Solomun M., Stanojević L., Stanojević J., Kalaba V. Quality testing of industrially produced essential oil of white pine (*Pinus sylvestris* L.) from the Republic of Srpska // J. of Engineering & Processing Management, 2020, 12(2), 36–43 p.
- [29] Рошин В.И. Способ переработки древесной зелени хвойных пород. Патент № 2015150 Российская Федерация, МПК C09F 1/00. № 5008359/05; Заяв. 22.07.1991; Опубл. 30.06.1994. 10 с.
- [30] Рошин В.И. Способ переработки древесной зелени пихты. Патент № 2000104405 Российская Федерация, МПК C07D309/40. № 2000104405/04; Заяв. 22.02.2000; Опубл. 27.11.2001.
- [31] Сафин Р.Р., Воронин А.Е., Сафин Р.Г., Разумов Е.Ю., Воронин Е.К., Кайнов П.А., Затдинова Д.Ф., Тимербаев Н.Ф. Способ комплексной переработки древесной зелени. Патент № 2404238 Российская Федерация, МПК C 11B 9/02. № 2009113356/13; Заяв. 09.04.2009; Опубл. 20.11.2010 Бюл. № 32.
- [32] Способ комплексной переработки древесной зелени Патент № 2655343 Российская Федерация, МПК 7 В 01 D 11/02. Заявитель и патентообладатель: ФГБОУ ВО «КНИТУ», № 2016152768/68; Заяв. 30.12.2016; Опубл. 25.05.2018.
- [33] Красильников О.Ю. Способ переработки древесной зелени. Патент № 2295254 Российская Федерация, МПК 7 А 23 К 1/00. № 2005103054/13; Заяв. 07.02.2005; Опубл. 20.03.2007. 2 с.
- [34] Choi Engil and Pak Ok Hee No.Pat. 101230388 South Korea, IPC 7 C 11 B 1/14. Method for extracting essential oil from pine / applicant and patent holder: Choi Engil and Pak Ok Hee No. 1230388/10; Application. 01/18/2012; Publ. 02/05/2013. 1 P
- [35] Mellouk H., Meullemiestre A., Maache-Rezzoug Z., Dani A., Bejjani B., Rezzoug S.-A. Valorization of industrial wastes from French maritime pine bark by solvent free microwave extraction of volatiles // J. of Cleaner Production, 2016, v. 112(5), pp. 4398–4405.
- [36] Солдатов С.Ю., Дубровин Г.А., Смирнов Д.А. Сравнительный Анализ физико-химических показателей эфирного масла сосны обыкновенной, полученного разными методами // Бюл. науки и практики – Bulletin of science and practice, 2016. № 8. С. 49–57.
- [37] Калугина З.С., Меньшикова Л.В., Сидоровская И.П., Коротко С.Я. Изучение коэффициента диффузии // Гидролизная и лесохимическая промышленность, 1986. № 7. С. 3–5.
- [38] Солодский Ф.Л. Способы извлечения жирорастворимых веществ из древесных листьев и хвои. А.С. 72532 СССР. Бюл. Изобр., 1948, № 9. 23 с.
- [39] ГОСТ ISO 279–2014. Масла эфирные. Метод определения относительной плотности при температуре 20°C. Контрольный метод. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200112679> (дата обращения 01.01.2016).
- [40] ТУ 13-00281074-263–2015 Технические условия на масло сосновое. URL: https://sertrust.ru/blog/tehnicheskie_usloviy/tehnicheskie-usloviya-na-maslo-sosnovoe-tu?ysclid=m60vrwy2sz284327993. (дата обращения 01.01.2015).

Сведения об авторах

Сафин Рушан Гареевич — д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Переработка древесных материалов», ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (КНИТУ), safin@kstu.ru

Валеев Кирилл Валерьевич — канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (КНИТУ), kirval116@mail.ru

Тимербаев Наиль Фарирович — д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (КНИТУ), TimerbaevNF@corp.knrtu.ru

Петров Владимир Иванович — д-р техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (КНИТУ), PetrovVI@corp.knrtu.ru

Гильфанов Камилль Хабибович — д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» (КГЭУ), kamil.gilfanov@mail.ru

Поступила в редакцию 21.02.2025.

Одобрено после рецензирования 13.03.2025.

Принята к публикации 10.04.2025.

STUDY OF ESSENTIAL OILS EXTRACTION FROM PINE NEEDLES AND BARK

**R.G. Safin¹, K.V. Valeev¹, N.F. Timerbaev¹,
V.I. Petrov¹, K.H. Gilfanov²**

¹Kazan National Research Technological University, 68, K. Marx st., 420015, Kazan, Republic of Tatarstan, Russia

²Kazan State Power Engineering University, 51, Krasnoselskaya st., 420066, Kazan, Republic of Tatarstan, Russia

kirval116@mail.ru

The analysis of the current state of the process of extracting essential oil from pine showed the relevance of introducing periodic extraction technology using steam distillation at small enterprises of the forest industry complex, which allows effectively extracting the maximum number of valuable components. According to existing data, today the demand for essential oils in the pharmaceutical, cosmetic, food and agricultural markets has increased. The annual use of these biologically active substances from coniferous trees is growing at an average annual growth rate of 9,6 %. This also explains the high price of some substances. Thus, the price of 1 kg of essential oil is \$ 113. The article presents a physical description of the process of extracting essential oils from non-woody parts (needles and bark) of pine. The equipment for extracting essential oil from pine needles and bark is provided. The methodology for conducting experimental studies and the process of extracting biologically active substances is presented. It was found that the maximum amount of essential oil was extracted at a steam temperature of 120 °C, duration of 150 minutes, and steam consumption to reach the operating temperature of 650 kg·m³/h. The following dependencies were obtained: the yield of essential oil from pine needles and bark at different temperatures, changes in the density of essential oil during extraction, oil yield from the reduced steam consumption; the rate of essential oil extraction at different temperatures and the time it took for the extraction process to reach the operating temperature were determined. The maximum extraction of essential oils from needles was 0,9 %, and from bark — 2,5 %. The proposed method showed that the degree of essential oil extraction from needles is 82 %, and from bark 86 %.

Keywords: extraction, needles, bark, pine, essential oils

Suggested citation: Safin R.G., Valeev K.V., Timerbaev N.F., Petrov V.I., Gil'fanov K.Kh. *Issledovanie protsessy ekstratsii efirnykh masel iz khvoi i kory sosny* [Study of essential oils extraction from pine needles and bark]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2025, vol. 29, no. 4, pp. 126–138.

DOI: 10.18698/2542-1468-2025-4-126-138

References

- [1] *Uchenye KFU vyasnili, chto sosnovyy les v Tatarstane pogibaet iz-za serykh tsapel'* [KFU scientists have found that pine forests in Tatarstan are dying because of grey herons]. Available at: <https://media.kpfu.ru/news/uchenye-kfu-vyasnili-chto-sosnovyy-les-v-tatarstane-pogibaet-iz-za-serykh-tsapel> (accessed 19.06.2023).

- [2] *Federal'noe agentstvo lesnogo khozyaystva Kirovskoy oblasti* [Federal Forestry Agency of the Kirov Region]. Available at: <https://rosleshoz.gov.ru/news/pfo/itogi-borby-s-lesnymi-pozharami-v-kirovskoy-oblasti-v-2024-godu/> (accessed 17.01.2024).
- [3] *Volzhskaya pravda* [Volzhskaya Pravda]. Available at: www.vpgazeta.ru/article/142416 (accessed 23.10.2024).
- [4] Kovbasa N.P. *Podsochka lesa* [Forest tapping]. Minsk: BSTU, 2011, 104 p.
- [5] Stepen' P.A., Klimova L.S. *Soderzhanie i sostav terpenovykh komponentov efirnogo masla ot del'nykh chastei sosny obyknovennoy* [Content and composition of terpene components of essential oil of individual parts of Scots pine]. [Wood Chemistry], 1985, no. 4, pp. 101–106.
- [6] Guba I.T., Omelyukh N.S., Svistula G.E., Guba I.T. *Opyt kompleksnoy pererabotki sosnovoy khvoi na produkty lesokhimii* [Experience of complex processing of pine needles into forest chemistry products]. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry information], 1976, no. 12, pp. 21–23.
- [7] Tumanova E.Yu. *Entsiklopediya efirnykh masel* [Encyclopedia of essential oils]. Moscow: RIPOL classic, 2014, 256 p.
- [8] Gitun T.V. *Lechenie bronkhial'noy astmy. Noveyshie meditsinskie metodiki* [Treatment of bronchial asthma. The latest medical techniques]. Moscow: RIPOL classic, 2008, 64 p.
- [9] Nikitin A.M. *Khudozhestvennye kraski i materialy. Spravochnik* [Art paints and materials. Handbook]. Moscow: Infra-Engineering, 2016, 412 p.
- [10] Kundik T.M., Zaytseva O.A. *Lekarstvennye rasteniya flory Bryanskoy oblasti* [Medicinal plants of the Bryansk region flora]. Bryansk: Bryansk State Agrarian University, 2014, 103 p.
- [11] Terekhin A.A., Vandysh V.V. *Tekhnologiya vozdeystviya lekarstvennykh rasteniy* [Technology of cultivation of medicinal plants]. Moscow: RUDN, 2008, 201 p.
- [12] Bubnov A.G., Buymova S.A., Gushchin A.A., Izvekova T.V. *Biotestovyy analiz — integral'nyy metod otsenki kachestva ob'ektov okruzhayushchey sredy* [Biotest analysis — an integral method of assessing the quality of environmental objects: a teaching aid]. Ed. V.I. Grinevich. Ivanovo: Ivanovskiy gosudarstvennyy khimiko-tekhnologicheskii universitet [Ivanovo State Chemical-Technological University], 2007, 112 p.
- [13] Sellar V. *Entsiklopediya efirnykh masel* [Encyclopedia of Essential Oils]. Moscow: FAIR-PRESS, 2005, pp. 302–305.
- [14] Polyakov N.A., Dubinskaya V.A., Sidel'nikov N.I. *Smes' bornilatsetata i kamfena, obladayushchaya kholinergicheskim deystviem* [A mixture of bornyl acetate and camphene with cholinergic action]. Patent no. 2539373 Russian Federation, IPC A61K 36/15, A61P 25/00, no. 2014103073/15; Appl. 01.30.2014; Published 01.30.2014. 8 p.
- [15] *Sibirskie uchenye izuchili antibakterial'nye svoystva khvoi sosen iz Vostochnoy Azii. Nauka v Sibiri (sbras.info)* [Siberian scientists studied the antibacterial properties of pine needles from East Asia. Science in Siberia (sbras.info)]. Available at: <https://www.sbras.info/articles/science/sibirskie-uchenye-izuchili-antibakterialnye-svoystva-khvoisosen-iz-vostochnoi-azii> (accessed 30.06.2020).
- [16] Rybin V.G., Blinov Yu.G. *Antimikrobnnye svoystva lipidov* [Antimicrobial properties of lipids]. *Izvestiya tikhookeanskogo nauchno-issledovatel'skogo rybno-khozyaystvennogo tsentra* [Bulletin of the Pacific Research Fisheries Center], 2001, v. 129, pp. 179–196.
- [17] Tagil'tsev Yu. G., Kolesnikova R.D., Orlov A.M. *Sposob polucheniya efirnogo masla iz kory khvoynykh rasteniy* [Method for obtaining essential oil from the bark of coniferous plants]. Patent no. 2223776 Russian Federation, IPC SU 457719 A1, RU 2065487 C1, RU 2067977 C1, CH 596121, no. 2001127991/15, Appl. 15.10.2001; Publ. 20.02.2004 Bulletin No. 5. 5 p.
- [18] Lis A., Kalinowska A., Krajewska A., Mellor K. Chemical Composition of the Essential Oils from Different Morphological Parts of *Pinus cembra* L. *Chem Biodivers*, 2017, no. 14 (4). DOI: 10.1002/cbdv.201600345
- [19] Pashetetskiy V.S., Tamasheva L. A., Pekhova O.A., Danilova I.L., Serebryakova O.A. *Efirnye masla i ikh kachestvo* [Essential oils and their quality]. Simferopol: IT «ARIAL», 2021, 212 p.
- [20] *Tendentsii rynka efirnykh masel: glubokiy analiz 2025 goda* [Essential Oil Market Trends: An In-Depth Analysis to 2025]. Available at: <https://reads.alibaba.com/ru/exploring-the-versatile-world-of-essential-oil-in-beauty-and-personal-care/> (accessed 26.12.2024).
- [21] *Global Essential Oils Market Size, Share, and Trends Analysis Report – Industry Overview and Forecast to 2031* [Global Essential Oils Market Size, Share, and Trends Analysis Report – Industry Overview and Forecast to 2031]. Available at: <https://www.databridgemarketresearch.com/ru/reports/global-essential-oils-market> (accessed 22.11.2024).
- [22] Tyurin D.S. *Kolichestvennye i kachestvennye kharakteristiki nadzemnoy fitomassy plantatsionnykh kul'tur eli i sosny v Leningradskoy oblasti* [Quantitative and qualitative characteristics of the aboveground phytomass of plantation crops of spruce and pine in the Leningrad region]. Dis. Cand. Sci. (Agric.). 4.1.5. St. Petersburg, 2024, 232 p.
- [23] Ataeva A.K., Atazhanova G.A., Badekova K., Ivasenko S.A., Marchenko A.B., Loseva I.V. *Otsenka kachestva efirnykh masel s pomoshch'yu analiza GKh-MS* [Evaluation of the quality of essential oils using GC-MS analysis]. *Meditsina i ekologiya* [Medicine and Ecology], 2020, no. 1, pp. 64–75.
- [24] Rodriguez-Solana R., Salgado J.M., Domínguez J.M., Cortés-Diéguez S. Comparison of Soxhlet, accelerated solvent and supercritical fluid extraction techniques for volatile (GC-MS and GC/FID) and phenolic compounds (HPLC-ESI/MS/MS) from Lamiaceae species. *Phytochem Anal.*, 2014, v. 26 (1), pp. 61–71. DOI: 10.1002/pca.2537
- [25] Kashchenko A.A., Tomchuk R.I., Podyniglavov A.A. *Vliyanie izmel'cheniya drevesnoy zeleni na vykhod i kachestvo efirnykh masel* [Effect of Grinding Wood Greenery on the Yield and Quality of Essential Oils]. *Lesokhimiya i podsochka* [Forest Chemistry and Tapping: Ref. Inform], 1972, no. 7, p. 7.
- [26] Tutygina G.S., Gaevskiy N.P., Petrik V.V. *Tekhnologiya proizvodstva nedrevesnoy produktsii lesa* [Technology of Production of Non-Timber Forest Products]. Arkhangel'sk: Izd-vo Arkhangel. gos. tekhn.un-ta [Arkhangelsk State Technological University], 2000, 267 p.

- [27] Fedorov V.S., Ryazanova T.V. *Bark of Siberian Conifers: Composition, Use, and Processing to Extract Tannin* [Bark of Siberian Conifers: Composition, Use, and Processing to Extract Tannin]. Forests, v. 12(8), p. 1043. DOI: 10.3390/f12081043
- [28] Marjanović-Balaban Ž., Goković Cvjetković V., Kapović-Solomon M., Stanojević L., Stanojević J., Kalaba V. Quality testing of industrially produced essential oil of white pine (*Pinus sylvestris* L.) from the Republic of Srpska. J. of Engineering & Processing Management, 2020, 12(2), 36–43 p.
- [29] Roshchin V.I. *Sposob pererabotki drevesnoy zeleni khvoynykh porod* [Method for processing coniferous wood greenery]. Patent no. 2015150 Russian Federation, IPC C09F 1/00, no. 5008359/05; Applied 22.07.1991; Published 30.06.1994. 10 p.
- [30] Roshchin V.I. *Sposob pererabotki drevesnoy zeleni pikhty* [Method for processing fir wood greenery]. Patent no. 2000104405 Russian Federation, IPC C07D309/40. no. 2000104405/04; Applied 22.02.2000; Published 27.11.2001.
- [31] Safin R.R., Voronin A.E., Safin R.G., Razumov E.Yu., Voronin E.K., Kaynov P.A., Zatdinova D.F., Timerbaev N.F. *Sposob kompleksnoy pererabotki drevesnoy zeleni* [Method for complex processing of wood greenery]. Patent no. 2404238 Russian Federation, IPC C 11B 9/02, no. 2009113356/13; Appl. 09.04.2009; Published 20.11.2010, bull. no. 32.
- [32] *Sposob kompleksnoy pererabotki drevesnoy zeleni* [Method for the comprehensive processing of wood greenery]. Patent no. 2655343 Russian Federation, IPC 7 B 01 D 11/02. applicant and patent holder: KNITU, no. 2016152768/68; Appl. 30.12.2016; Published 25.05.2018.
- [33] Krasil'nikov O.Yu. *Sposob pererabotki drevesnoy zeleni* [Method for processing wood greenery]. Patent. 2295254 Russian Federation, IPC 7 A 23 K 1/00. no. 2005103054/13; Appl. 07.02.2005; Published 20.03.2007. 2 p.
- [34] Choi Engil and Pak Ok Hee No.Pat. 101230388 South Korea, IPC 7 C 11 B 1/14. Method for extracting essential oil from pine / applicant and patent holder: Choi Engil and Pak Ok Hee No. 1230388/10; Application. 01/18/2012; Publ. 02/05/2013. 1 P.
- [35] Mellouk H., Meullemiestre A., Maache-Rezzoug Z., Dani A., Bejjani B., Rezzoug S.-A. Valorization of industrial wastes from French maritime pine bark by solvent free microwave extraction of volatiles. J. of Cleaner Production, 2016, v. 112(5), pp. 4398–4405.
- [36] Soldatov S.Yu., Dubrovin G.A., Smirnov D.A. *Sravnitel'nyy Analiz fiziko-khimicheskikh pokazateley efirnogo masla sosny obyknovennoy, poluchennogo raznymi metodami* [Comparative Analysis of Physicochemical Properties of Scots Pine Essential Oil Obtained by Different Methods]. [Bulletin of Science and Practice], 2016, no. 8, pp. 49–57.
- [37] Kalugina Z.S., Men'shikova L.V., Sidorovskaya I.P., Korotko S.Ya. *Izuchenie koeffitsienta diffuzii* [Study of the Diffusion Coefficient]. *Gidroliznaya i lesokhimicheskaya promeshlennost'* [Hydrolysis and Forest Chemical Industry], 1986, no. 7, pp. 3–5.
- [38] Solodskiy F.L. *Sposoby izvlecheniya zhirorastvorimykh veshchestv iz drevesnykh list'ev i khvoi* [Methods for Extracting Fat-Soluble Substances from Tree Leaves and Needles]. A. S. 72532 USSR. Bulletin of Images, 1948, no. 9, 23 p.
- [39] GOST ISO 279–2014 *Masla efirnye. Metod opredeleniya otnositel'noy plotnosti pri temperature 20°S. Kontrol'nyy metod* [Essential oils. Method for determination of relative density at 20°C. Reference method]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200112679> (accessed 01.01.2016).
- [40] TU 13-00281074-263–2015 *Tekhnicheskie usloviya na maslo sosnovoe* [Technical conditions for pine oil]. Available at: https://sertrust.ru/blog/tehnicheskie_usloviy/tehnicheskie-usloviya-na-maslo-sosnovoe-tu?ysclid=m6ovrwy2sz284327993 (accessed 01.01.2015).

Authors' information

Safin Rushan Gareevich — Dr. Sci. (Tech.), Professor, Head of the Department of Wood Materials Processing, Kazan National Research Technological University, safin@kstu.ru

Valeev Kirill Valerievich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor, Kazan National Research Technological University, kirval116@mail.ru

Nail Farilovich Timerbayev — Dr. Sci. (Tech.), Professor, Kazan National Research Technological University, TimerbaevNF@corp.knrtu.ru

Petrov Vladimir Ivanovich — Dr. Sci. (Tech.), Associate Professor, Kazan National Research Technological University, PetrovVI@corp.knrtu.ru

Gilfanov Kamil Khabibovich — Dr. Sci. (Tech.), Professor, Kazan State Power Engineering University, kamil.gilfanov@mail.ru

Received 21.02.2025.

Approved after review 13.03.2025.

Accepted for publication 10.04.2025.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article

The authors declare that there is no conflict of interest