

Исследование процесса экстракции эфирных масел из недревесных частей ели сибирской (*Picea obovata*)

Р.Г. Сафин^а, К.В. Валеев^б, Н.Ф. Тимербаев^с

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
ул. Карла Маркса, 68, Казань, Республика Татарстан

^а safin@kstu.ru, ^б kirval116@mail.ru, ^с tmail@rambler.ru

^а <https://orcid.org/0000-0002-5790-4532>, ^б <https://orcid.org/0000-0002-5537-9332>,

^с <https://orcid.org/0000-0001-9804-4235>

Статья поступила 27.02.2025, принята 14.04.2025

Анализ современного состояния процесса извлечения эфирного масла из ели показал актуальность внедрения на малых предприятиях лесопромышленного комплекса периодической технологии экстрагирования с применением паровой дистилляции, которая позволяет эффективно извлекать максимальное количество ценных компонентов. По существующим данным, на сегодняшний день потребность в эфирных маслах на фармацевтическом, косметическом, пищевом и сельскохозяйственном рынках увеличилась. Ежегодное использование данных биологически активных веществ из деревьев хвойных пород растет при среднегодовом темпе роста 9,6 %. Этим обуславливается и высокая цена на некоторые вещества. Так, цена 1 кг эфирных масел составляет 113 \$. В статье представлено физическое описание процесса экстракции эфирных масел из недревесных частей (хвои и коры) ели сибирской. Приведено аппаратное оформление процесса извлечения эфирного масла из хвои и коры ели. Представлена методика проведения экспериментальных исследований и процесса извлечения биологически активных веществ. Выявлено, что выделение максимального количества эфирного масла достигается в температурном диапазоне от 110 до 115 °С, продолжительности – 150 минут; приведенный расход пара для выхода на рабочую температуру составляет 650 м³/кг·ч. Получены следующие зависимости: выхода эфирного масла из хвои и коры ели при различных температурах, изменения плотности эфирного масла в процессе экстракции, выхода масла от приведенного расхода пара; время выхода процесса экстракции на рабочую температуру. Выход эфирных масел из хвои составил 0,73 %, а из коры – 0,88 %.

Ключевые слова: экстракция; хвоя; кора; ель; эфирные масла; биологически активные вещества.

Investigation of the process of extraction of essential oils from non-timber parts of Siberian spruce (*Picea obovata*)

R.G. Safin^a, K.V. Valeev^b, N.F. Timerbaev^c

Kazan National Research Technological University; 68, Karl Marx St., Kazan, Republic of Tatarstan

^a safin@kstu.ru, ^b kirval116@mail.ru, ^c tmail@rambler.ru

^a <https://orcid.org/0000-0002-5790-4532>, ^b <https://orcid.org/0000-0002-5537-9332>,

^c <https://orcid.org/0000-0001-9804-4235>

Received 27.02.2025, accepted 14.04.2025

The analysis of the current state of the process of extracting essential oil from spruce has shown the relevance of introducing periodic extraction technology using steam distillation at small enterprises of the forest industry complex, which allows effectively extracting the maximum amount 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 oils is \$ 113. The article presents a physical description of the process of extracting essential oils from non-woody parts (needles and bark) of spruce. The equipment for extracting essential oil from spruce needles and bark is provided. The methodology for conducting experimental studies and the process of extracting biologically active substances is presented. It has been found that the maximum amount of essential oil is extracted in the temperature range from 110 to 115 °C, duration – 150 minutes; the reduced steam consumption for reaching the operating temperature is 650 m³/kg·h. The following dependencies are obtained: the yield of essential oil from spruce needles and bark at different temperatures, changes in the density of essential oil during the extraction process, the yield of oil from the reduced steam consumption; the time it takes for the extraction process to reach the operating temperature. The yield of essential oils from needles is 0.73 %, and from bark – 0.88 %.

Keywords: extraction, needles, bark, spruce, essential oils, biologically active substances.

Введение. Ель (*Picea*) – древнейшее дерево в русском лесу. По распространенности она занимает второе место после сосны, а ее жизненный цикл составляет

до 300 лет. В зрелом возрасте (120–150 лет) деревья иногда достигают высоты 50 м [1]. По данным Министерства лесного хозяйства Республики Татарстан,

в 2024 г. общая площадь лесов региона составляет 1266,2 тыс. га. Из них хвойные леса – 277,44 тыс. га (сосновый – 197,68 тыс. га, еловый – 74,64 тыс. га, лиственничный – 5,12 тыс. га) [2]. Ель широко используется в регионе, так как еловая древесина является универсальным, достаточно прочным материалом, в отличие от сосны. Она часто применяется в строительстве, в изготовление мебели, окон и дверей. Еще одно преимущество ели как материала – это ее доступность и низкая стоимость [3]. На деревообрабатывающих предприятиях и лесосеках образуется большое количество отходов (недревесной части), которые не перерабатываются, а сбрасываются в отвалы [4]. Недревесная часть, состоящая из шишек, коры, веток, хвои, содержит комплекс веществ с высокой биологической активностью [5]. Одним из перспективных направлений утилизации и комплексной переработки недревесных частей ели является извлечение ценных компонентов для широкого применения их в фармацевтической, косметической, пищевой и сельскохозяйственной отраслях промышленности в качестве биологических добавок и сырья для медицинских препаратов [6].

Эфирные масла ели и сосны имеют схожие свойства, так как их получают из хвойных деревьев, но между ними есть несколько важных различий. Эфирное масло ели имеет более мягкий и свежий аромат, а сосновое более резкий и освежающий. Также еловое масло обладает мягкими противовоспалительными и расслабляющими свойствами, а сосновое – выраженными антисептическими и бодрящими характеристиками. Поэтому масло ели больше подходит для релаксации, успокоения нервной системы, снятия мышечного напряжения, а сосновое более тонизирующее, помогает восстановить силы, улучшает концентрацию, полезно при простудных заболеваниях [7].

Хвоя ели известна своим богатым витаминным комплексом, в частности, содержанием витамина С. В летнее время его концентрация достигает до 1 % от общей массы хвои, а в зимнее – 0,09 % [8]. Свежая хвоя содержит в себе до 0,36 % витамина Е от общей массы, а также витамины К, D, PP. В еловой хвое содержатся многие аминокислоты, в том числе и незаменимые, а также терпентины, минеральные соли и микроэлементы: железо, медь, марганец, хром, кобальт. Большое количество хлорофилла – 1,4 % [9]. В течение года содержание эфирного масла в хвое ели имеет два максимума: весной – в мае и осенью – в сентябре. Также хвоя ели содержит до 1,6 % дубильных веществ [10]. Биологически активные вещества хвои ели нашли широкое применение в медицине, они используются в препаратах для оказания обезболивающего, противовоспалительного, ранозаживляющего, мочегонного, желчегонного, спазмолитического, бактерицидного, дезинфицирующего действия [11]. В косметологии хвойные экстракты входят в состав шампуней, бальзамов, масок для укрепления волос, кремов и сывороток для увлажнения и питания кожи лица, а также являются одним из компонентов состава зубных паст [12]. В пищевой промышленности БАВ из хвои ели используют в качестве антиокислителя [13, 14].

В коре ели содержание эфирного масла больше чем в хвое и древесине. Его содержание варьируется от 0,42

до 1,49 % в зависимости от времени года [15]. Также в коре содержится пектин (8,2 %), который используется в пищевой промышленности в качестве гелеобразующей, структурообразующей и загущающей добавки при изготовлении желе, джемов и нектаров с мякотью [16]. Важными компонентами, содержащимися в коре ели, являются каротин (0,32 %), который используется для сохранения питательной и физиологической ценности продуктов, и хлорофилл (2,04 %), усиливающий функциональность иммунной системы организма, ускоряющий фагоцитоз, активизирующий ферменты, участвующие в синтезе витаминов А, Е и К, и работу эндокринных желез [17].

Спрос на биологически активные вещества, непрерывно растет, так как потребители становятся более внимательными к ингредиентам в средствах личной гигиены и находятся в поиске альтернатив, которые воспринимаются как более безопасные и полезные, а также все чаще ищут натуральные продукты для снятия стресса и релаксации [18]. По прогнозам, объем мирового рынка БАВ к 2031 г. достигнет 23,40 млрд долл. США, при среднегодовом темпе роста 9,6 % в прогнозируемый период с 2024 по 2031 г. [19]. Стоимость 1 кг эфирных масел равна 113 \$ [20]. Это обуславливает необходимость совершенствования существующих способов и технологий экстракции биологически активных веществ из недревесных частей ели [21].

Обзор исследований по извлечению эфирного масла из недревесных остатков ели. В последнее время методы экстракции биологически активных веществ значительно усовершенствовались. Выход экстракта оценивают с помощью современных методов, например, газовой хроматографии-масс-спектрометрии и высокоэффективной жидкостной хроматографии [22, 23].

В.А. Левданский с соавторами предложили способ переработки коры ели [24], позволяющий эффективно извлекать биологически активные вещества из растительного сырья. Способ включает в себя измельчение коры ели до размеров 1–3 мм, экстракцию хвойного воска гексаном в аппарате Сокслета в течение 6 ч, сепарацию на кору и экстракт, выделение из сепарированной коры антоцианидового красителя этиловым спиртом с содержанием 4 %-ой соляной кислоты при температуре 78 °С в течение 3,5 ч, извлечение пектинов 0,5 %-ным водным раствором щавелевокислого аммония из твердого остатка коры ели при температуре 100 °С и гидромодуле 1:30. Выход биологически активных веществ получился следующим: хвойный воск – 6–7 %, антоцианидиновый краситель – 13–14 % и пектин 10–2 % от общей массы сырья.

Способ получения эфирного масла из ели, предложенный И.С. Гелесым с соавторами [25], заключается в обработке коры ели методом паровой дистилляции. Измельченную влажную кору ели (не более 15 мм) с содержанием луба загружали в экстракционный аппарат и подавали пар. Водорастворимые вещества растворялись и конденсировались в конденсаторе. Далее полученный экстракт сепарировали на эфирное масло и дистиллят. Максимальный выход эфирного масла составил 0,26 % от исходного абсолютно сухого материала.

В статье С. В. Ребко [26] описан способ выделения эфирных масел из древесной зелени хвойных пород с водяным паром. Способ включает в себя: измельчение хвои до размеров 4–7 мм, загрузку сырья и экстрагента (дистиллированная вода) в экстракционный аппарат, экстракцию в кубе с обратным холодильником и ловушкой-разделителем в течение 4 ч, сепарацию, расчет содержания эфирного масла в хвое по формуле:

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

где C – содержание эфирного масла, %; m – масса эфирного масла после отгонки, г; G – масса абсолютно сухой навески хвои, г.

Наибольший выход эфирного масла составил у европейского подвида – 1,9 %, наименьший у сибирского подвида – 1 %.

В работе О.Е. Есяковой и Р.А. Степень [27] описан способ извлечения эфирного масла из хвои ели сибирской (*Picea obovata*). Из измельченной до размера частиц 3–5 мм хвои ели гидродистилляционным методом отгоняли эфирное масло. Выход определяли волюмометрически с учетом растворения в кубовом конденсате. Компонентный состав образцов анализировали методом газожидкостной хроматографии, идентификацию компонентов – хромато-масс спектрометрии. Также было проведено исследование сезонной динамики содержания эфирного масла хвои ели городского и лесного насаждения. Данные исследования показали, что в городской части содержание ЭМ составило 0,91 %, в лесной – 0,83 %.

В работе О.Е. Есякова и Р.А. Степень [28] из измельченной хвои в аппарате Клевенджера отгоняли эфирное масло и волюмометрическим методом определяли его выход. Авторами были установлены различия выхода масла и его компонентный состав. Выявлено, что у молодняка выход составил около 1 %, а у припевающих насаждений – 0,5 %. Также авторами было установлено, что в средне загрязненной воздушной среде выход масла больше, чем чистой.

Д.К. Гуляевым [29] было проведено исследование процесса извлечения эфирного масла из хвои ели. Исследование проводили следующим образом: в круглодонную колбу загружали 20 г сырья и заливали 300 мл воды, далее устанавливали обратный холодильник с ловушкой-разделителем. Колбу с содержимым нагревали и кипятили в течение 2 ч. Каждые 30, 60 и 120 мин. отбирали пробы. После окончания перегонки и охлаждения прибора до комнатной температуры, замеряли объем масла в градуированной части. Выход эфирного масла составил 0,32 % от общей массы сырья.

В статье С.В. Краваева [30] описан способ выделения эфирных масел из елово-пихтовых древостоев. В работе представлена схема установки для получения эфирных масел и флорентиновой воды из древесной зелени и коры ели и пихты. Исследования проводились в течение 12 ч при давлении пара 0,07 МПа. Максимальный выход из хвои ели составил 0,81 %, из коры – 0,85 %, выход флорентиновой воды – 40 %. Также автором были определены физико-химические характеристики: плотность – 0,890–0,892 г/см³; показатель

преломления при 20 °С – 1,4625–1,4729; кислотное число при 20 °С – не более 1,5; массовая доля борнилацетата и кумаринов – не менее 20 и 1,5 % от общего содержания эфирного масла.

В работе А.М. Орлова и др. [31] описаны исследования выхода эфирных масел их хвойных пород деревьев, произрастающих в Хабаровском крае. Исследователями была разработана установка получения эфирных масел и флорентинной воды из коры ели и пихты. На данной установке авторами были получены зависимости выхода эфирных масел от времени года, проведены хроматографические исследования изменения химического состава масел, представлены физико-химические характеристики и состав эфирных масел из коры ели и пихты.

В работе Т. Аттара [32] описан способ извлечения биологически активных веществ из шишек, веток, хвои и коры ели обыкновенной (*Picea abies*). Для извлечения липофильных фракций из недревесных частей использовали обычную жидкостную экстракцию. Три образца массой около 3 г помещали в аппарат Сокслета. Липофильные фракции были извлечены с помощью смеси петролейного эфира и ацетона в течение 1–2 ч (12 циклов). Средний выход веществ из недревесных частей ели составил 4–5 %, выход из шишек составил 2,2 %. Также для сравнения исследователи провели сверхкритическую флюидную экстракцию CO₂. Выход веществ составил: из ветвей (5,3 %), хвои (3,3 %) и коры (2,4 %).

Анализ работ показал, что наиболее эффективным способом извлечения эфирных масел из хвои и коры ели является паровая дистилляция, которая позволяет извлекать максимальное количество ценных компонентов. На кафедре переработки древесных материалов в ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» исследован процесс паровой экстракции эфирных масел из хвои и коры ели, произрастающие в Республике Татарстан.

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

Задачей исследования является определение зависимостей выхода биологически активных веществ из коры и хвои ели от продолжительности процесса, расхода пара, температуры и давления пара.

Методика исследования. В качестве исходного сырья для исследования процессов экстракции использовали хвою и кору ели сибирской, собранные в Республике Татарстан в период сентябрь – октябрь 2024 г., предварительно измельченные до размеров от 2 до 7 мм. Хранение образцов осуществлялось в герметичной емкости не более 10 суток.

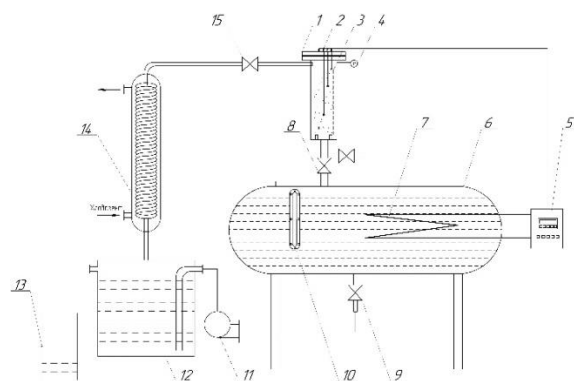
Согласно плану экспериментов, были проведены лабораторные исследования по определению выхода эфирных масел в зависимости от:

- температуры экстракции процесса;
- расхода пара в процессе экстракции;
- продолжительности экстракции.

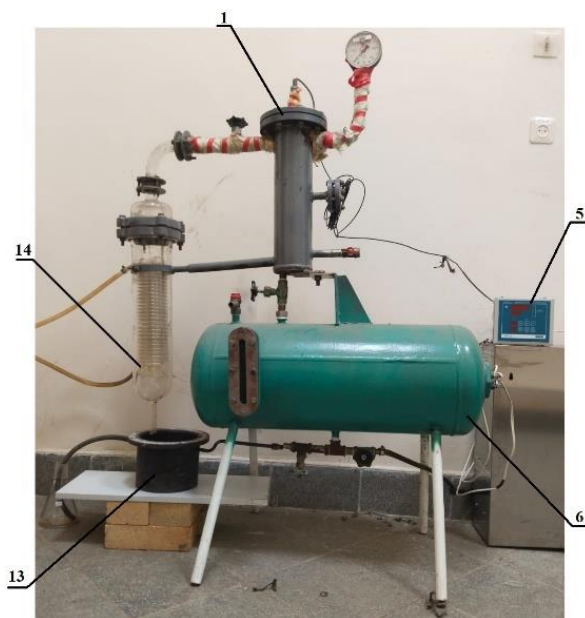
Параметры процесса экстракции варьировались в следующих пределах: температура процесса извлечения эфирных масел – от 100 до 115 °С; расхода пара

в процессе экстракции – от 350 до 900 м³/кг·ч; продолжительности экстракции – от 30 до 210 мин.

Для определения рациональных параметров процесса экстракции из хвои ели была разработана экспериментальная установка, принципиальная схема и внешний вид которой представлен на рис. 1.



а)



б)

Рис 1. Принципиальная схема (а) и внешний вид экспериментальной установки (б) для экстракции биологически активных веществ из хвои и коры ели

Исследование процесса экстракции проводили в четыре этапа.

На первом этапе проводилась подготовка сырья и установки. В экстрактор 1 устанавливалась перфорированная корзина 3 с измельченной хвоей или корой ели и плотно закрывалась крышкой. Параллельно в парогенератор 6 заливалась дистиллированная вода через вентиль 9 при закрытом вентиле 8 во избежание преждевременного выхода пара и включался нагревательный элемент (ТЭН) 7. Контроль уровня воды осуществлялся через смотровое окно 10.

На втором этапе происходила генерация пара и его подача в экстрактор. После достижения температуры

кипения воды в парогенераторе 6 открывались вентили 8 и 15. Контроль процесса экстракции осуществлялся хромель-копелевой термопарой 2, которая передавала данные температур каждого слоя (100, 200, 300, 400 мм) на терморегулятор 5, и датчиком давления 4.

На третьем этапе паровой поток вместе с водорастворимыми веществами поступал в конденсатор 14, где он конденсировался и стекал во флорентину 12.

На заключительном четвертом этапе конденсат разделялся на два слоя. В верхнем из них находилось эфирное масло, так как его плотность (0,875–0,895 г/см³) меньше плотности воды (1 г/см³) [33], а в нижнем – вода.

Вода из флорентины 12 передавалась с помощью насоса 11 обратно в парогенератор 6 для повторного использования.

После завершения процесса экстрагирования экстракт из буферной емкости 13 переливали в колбу для выпаривания остатков экстрагента. Выпаренное эфирное масло представляло собой вязкую жидкость светло-зеленого цвета.

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» Казанского национального исследовательского технологического университета).

Плотность эфирных масел определялась по стандартной методике [34], а также по методике, описанной в ГОСТ ISO 279-2014 [35]. Стандарт устанавливает определение относительной плотности эфирных масел при температуре 20 °С.

Для обеспечения надежности результатов каждого исследования, эксперименты проводились с трехкратным повторением; на графиках приводятся среднеарифметические значения.

Результаты исследований и их обсуждение. В результате проведенных исследований процесса экстракции эфирных масел из хвои и коры ели были получены экспериментальные данные, обработка которых позволит рекомендовать рациональные режимные параметры процесса экстракции эфирных масел из недревесных остатков, а именно: температуру процесса экстракции, расход пара, продолжительность процесса.

На рис. 2 представлены экспериментальные данные выхода эфирных масел из хвои и коры ели при различных температурах в зависимости от времени извлечения.

Анализ приведенных кинетических зависимостей выхода эфирных масел из хвои и коры ели показывает, что эффективного извлечение (концентрация до 0,72 % из хвои и 0,89 % из коры) происходит до 150 минут от начала процесса при температурах 110 и 115 °С. Поскольку при равной продолжительности процесса экстракции достигается почти одинаковый выход эфирных масел, то оптимально проводить экстракции при 110 °С. Увеличение продолжительности процесса более 150 мин. не оказывает значительного влияния на выход эфирных масел. При температурах экстракции 100 и 105 °С требуется больше времени для выделения максимального количества эфирных масел из хвои и коры ели.

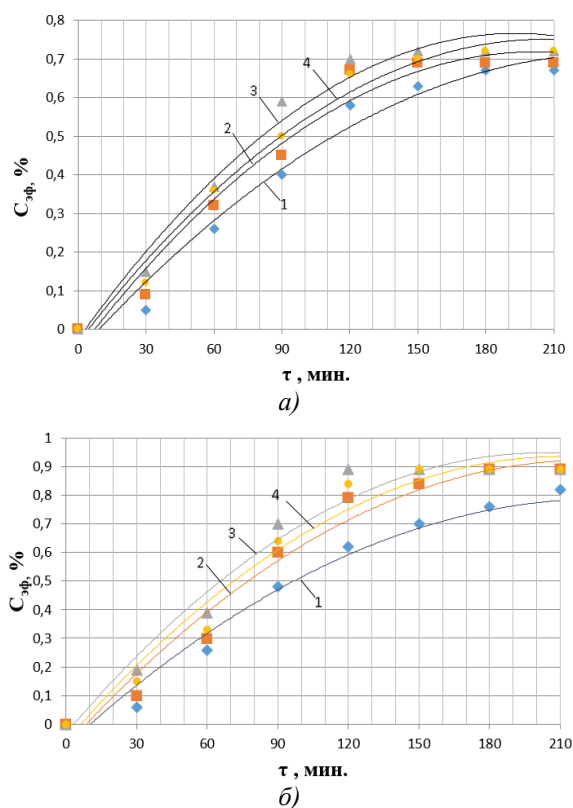


Рис 2. Кинетика выхода эфирного масла из хвои (а) и коры (б) ели при различных температурах: 1 – 100 °С, 2 – 105 °С, 3 – 110 °С, 4 – 115 °С

На рис. 3 представлены кинетические кривые изменения плотности эфирного масла в процессе экстракции при различных температурах.

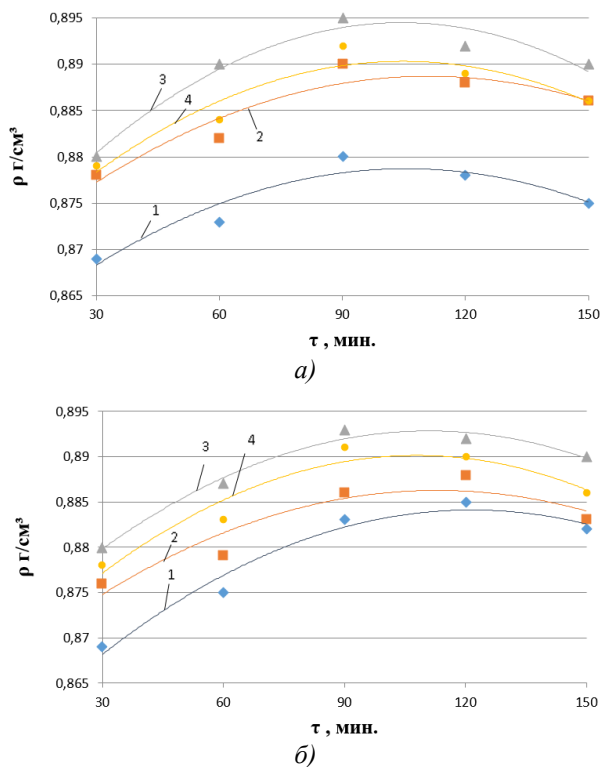


Рис 3. Кинетика изменения плотности эфирного масла в процессе экстракции из хвои (а) и коры (б) ели: 1 – 100 °С, 2 – 105 °С, 3 – 110 °С, 4 – 115 °С

Визуальный анализ кинетических кривых показывает, что плотности эфирных масел вначале повышаются, а затем понижаются. Максимальное значение плотности эфирного масла у всех образцов достигается через 90-100 мин. Последующее понижение плотности эфирного масла происходит вследствие разложения при повышенных температурах биологически активных веществ, в частности, борнилацетата, наиболее важного компонента. Однако по органолептическим и конечным значениям плотности эфирных масел, извлеченных при всех температурных режимах, удовлетворяют требованиям ТУ [36] (плотность эфирного масла должна находиться в пределах $0,875 \div 0,895$ г/м³).

Для получения более точных данных по влиянию температуры на выход эфирных масел из хвои и коры ели были проведены дополнительные исследования процесса экстракции в течении 150 минут при температурах от 100 до 115 °С. Результаты исследований представлены на рис. 4.

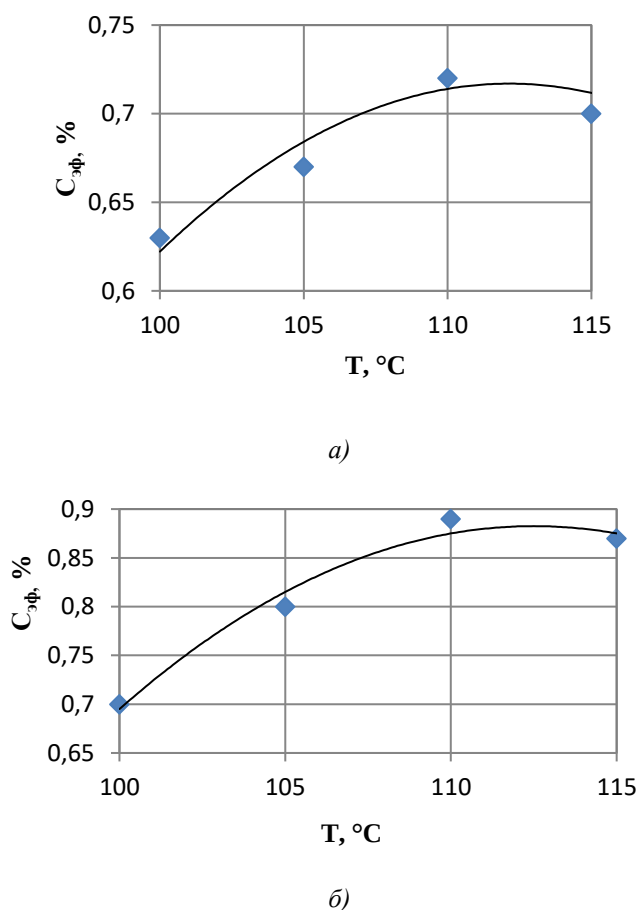


Рис 4. Зависимость выхода эфирного масла от температуры процесса: а – из хвои ели; б – из коры ели

Результаты проведенных исследований показывают, что при температуре 110–115 °С наблюдается наибольший выход эфирных масел, как из хвои (0,73 %), так и из коры (0,88 %) ели. Более низкая и более высокая температура оказывает отрицательное влияние на выход масла. Это связано с недостаточной скорости экстракции при более низкой температуре и к высоким энергетическим затратам на поддержание более высоких температур.

На рис. 5 представлены зависимости выхода эфирного масла из хвои и коры ели от приведенного расхода пара.

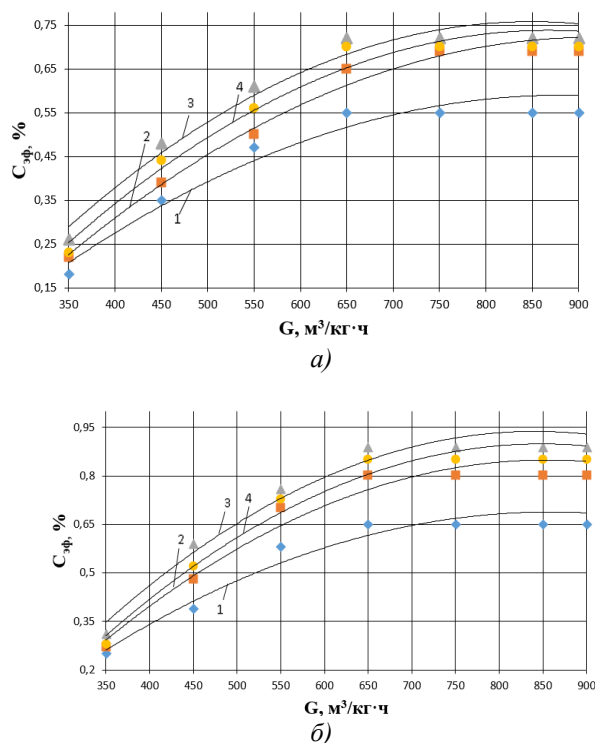


Рис 5. Зависимость выхода масла из хвои (а) и коры (б) ели от приведенного расхода пара: 1 – 100 °С, 2 – 105 °С, 3 – 110 °С, 4 – 115 °С

Визуальный анализ кривых показывает, что при расходе пара 350 $m^3/kg \cdot ch$ выделения эфирных масел примерно одинаковое при различных температурах экстракции. При увеличении расхода пара с 350 до 650 $m^3/kg \cdot ch$ выход эфирного масла заметно возрастает. Концентрация эфирного масла при экстракции хвои при температуре 110 °С увеличилась на 0,38 %, а при экстракции коры – на 0,5 %. Это связано с тем, что эфирные масла при увеличении расхода пара быстрее диффундируют в экстрагент. Изменение концентрации эфирных масел за пределами рассматриваемого интервала менее значительное.

На рис. 6 представлены данные выхода процесса экстракции на рабочую температуру для каждого слоя с увеличением расхода пара.

Анализ данных показывает, что при увеличении расхода пара с 350 $m^3/kg \cdot ch$ до 650 $m^3/kg \cdot ch$ наблюдается заметное сокращение времени выхода на рабочую температуру. При этом наибольшее сокращение времени происходит в 3 и 4 слое. А в период с 650 до 850 $m^3/kg \cdot ch$ существенных изменений не наблюдается. Максимальное время выхода на рабочую температуру при вы-

бранном эффективном расходе пара приведенного пара составило 11 мин.

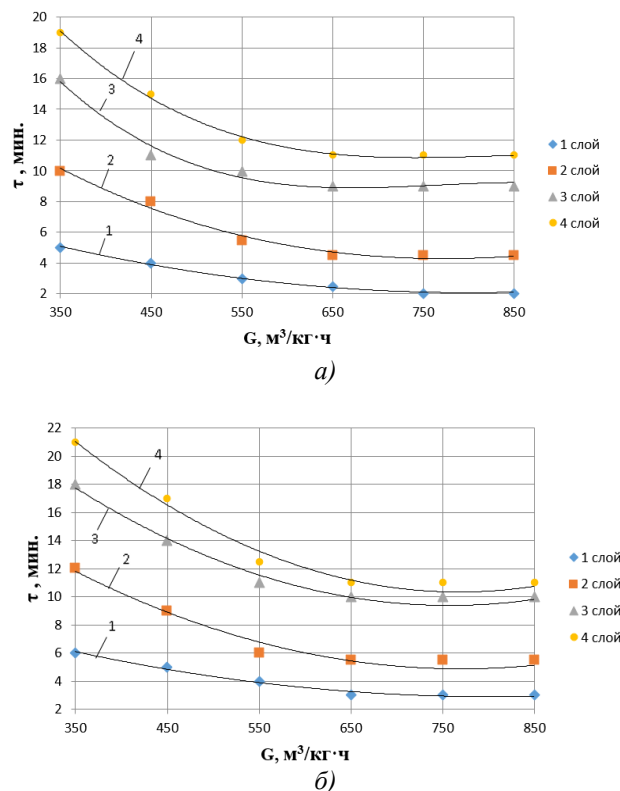


Рис 6. Время выхода процесса экстракции из хвои (а) и коры (б) ели на рабочую температуру по высоте слоя: 1 – 400 мм, 2 – 300 мм, 3 – 200 мм, 4 – 100 мм

Заключение. Разработана экспериментальная установка и проведены исследования процесса паровой экстракции эфирных масел из хвои и коры ели.

По кинетическим кривым выхода эфирного масла из хвои и коры ели определено эффективное время экстракции, которое составило 150 мин.

Анализ плотности эфирных масел, извлеченных при температурах от 100 до 115 °С, показал их соответствие требованиям ТУ.

Анализ зависимости выхода эфирных масел от температурного режима показал, что при температуре 110–115 °С наблюдается максимальный выход эфирного масла, который составил 0,73 % для хвои и 0,88 % из коры ели.

Исследованием влияния расхода пара на выход эфирного масла и времени выхода процесса на рабочую температуру выявлен рациональный удельный расход пара, который составил 650 $m^3/kg \cdot ch$. Время выхода процесса на рабочую температуру процесса составил при этом менее 11 минут.

Литература

- Агапкина Т.А. Деревья в славянской народной традиции: очерки. М.: Институт славяноведения РАН, Индрик, 2019. 654 с.
- Об утверждении Стратегии развития лесного хозяйства Республики Татарстан на 2024-2026 и на период до 2030 года. [Электронный ресурс]. <https://docs.cntd.ru/document/407261617> (дата обращения 25.03.2024).
- Каменев Я.А. Концептуальные аспекты совершенствования территориального планирования лесопромышленного

- комплекса региона // Российское предпринимательство. 2015. № 8 (2). С. 75-79.
4. Безруких Ю.А. Рациональное природопользование в условиях устойчивого развития экономики промышленных предприятий лесного комплекса // Экономика и предпринимательство. 2014. № 12-2. С. 994-996.
 5. Зиятдинова Д.Ф., Соловьева Е.Н., Назипова Л.Р., Сафина А.В., Валеев К.В., Сафин Р.Г., Моделирование процессов влагопоглощения древесины при изменении давления среды // Вестн. Технологич. ун-та. 2024. Т. 27, № 1. С. 25-29. DOI: 10.55421/1998-7072_2024_27_1_25
 6. Кулькова А.В. Многопараметрическая оценка таксономической близости видов ели (*Picea a. Dietr.*) по пигментному составу хвои // Вестн. Поволжск. гос. технологич. ун-та. Сер. Лес. Экология. Природопользование. 2018. № 1(37). С. 5-18.
 7. Хвойные эфирные масла. [Электронный ресурс]. <https://www.med-konfigur.ru/articles/zelenaya-apteka/khvoynye-efimnye-masla/> (дата обращения 24. 01. 2023 г).
 8. Фуксман И.Л. Влияние природных и антропогенных факторов на метаболизм веществ вторичного происхождения у древесных растений: автореф. ... дис. докт. биологич. наук. СПб.: Изд-во № 39 Ин-та леса Карельского научно-го центра РАН в Санкт-Петербурге, 1999. 42 с.
 9. Мезенцева В.Т. Содержание хлорофилла и микроэлементов в хвое географических культур // Лесоведение. 1984. № 6. С. 61-65.
 10. Посметьев В.И., Макаренко А.В. Оценка целесообразности древесной зелени в народном хозяйстве // Воронеж. науч.-технич. вестник. 2015. № 4 (14). 14 с.
 11. Кулькова А.В. Биологические особенности и регенерационная способность черенков представителей рода ель (*Picea a. Dietr.*) при интродукции в Нижегородскую область: дисс. ... канд. технич. наук. Нижний Новгород: Изд-во Нижегородская гос. сел. акад., 2021. 332 с.
 12. Крюсман Г. Хвойные породы. М: Лесн. пром-сть, 1986. 255 с.
 13. Новицкая Ю.Е. Особенности физиолого-биохимических процессов в хвое и побегах ели в условиях Севера. Л.: Наука, 1971. 116 с.
 14. Патент 2295254 РФ, МПК 7A23K1/00 Способ переработки древесной зелени / Заявитель и патентообладатель О.Ю. Красильников; заявл. 07.02.2005; опубл. 20.03.2007. 2 с.
 15. Валеев К.В. Обзор исследований в области извлечения биологически активных веществ из хвойных пород древесины // Системы. Методы. Технологии. 2024. № 4 (64). С. 159-164.
 16. Ушанов В.С. Прогнозирование содержания биологически активных веществ в древесной зелени хвойных: дисс. ... канд. технич. наук. Красноярск: Изд-во Сиб. гос. технол. ун-та, 2000. 175 с.
 17. Медведева Е.А. Использование пектинов из коры хвойных пород деревьев при производстве консервированной продукции // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018. № 4 (65). С. 71-75.
 18. Эксперт заявил, что спрос на БАДы в России растет на 20-25%. [Электронный ресурс]. <https://tass.ru/obschestvo/18641517> (дата обращения 02.09.2023).
 19. Тенденции рынка эфирных масел: глубокий анализ 2025 года. [Электронный ресурс]. <https://reads.alibaba.com/ru/exploring-the-versatile-world-of-essential-oil-in-beauty-and-personal-care/> (дата обращения 26.12.2024).
 20. Цены продукции ООО «Ростовская фармацевтическая фабрика». [Электронный ресурс] <https://flavitax.jimdo.com/-96-7-98-6>. (дата обращения 11.10.2024).
 21. Тюрин Д.С. Количественные и качественные характеристики надземной фитомассы плантационных культур ели и сосны в Ленинградской области: дис. ... канд. сел. наук. СПб.: Изд-во СПб науч.-исслед. ин-та лес. х-ва, 2024. 232 с.
 22. Атаева А.К. Оценка качества эфирных масел с помощью анализа ГХ-МС // Медицина и экология. 2020. № 1. С. 64-75.
 23. Арсланова Г.Р. Современные технологии экстрагирования биологически активных веществ из древесных отходов // Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса: Мат-лы IV Междунар. науч.-практич. конф., Кострома, 08-11 сентября 2021 г. Кострома: Изд-во Костром. гос. ун-та, 2021. С. 126-128.
 24. Пат. 2332438 С1 Российская Федерация, МПК C09F 1/00, C11B 11/00, C11B 1/10. Способ переработки коры ели: № 2007114668/04: заявл. 18.04.2007: опубл. 27.08.2008 / В.А. Левданский, А.И. Бутылкина, Б.Н. Кузнецов; заявитель Институт химии и химической технологии СО РАН.
 25. Пат. 2065487 С1 Российская Федерация, МПК C11B 9/02. Способ получения эфирного масла из ели: № 93045723/13: заявл. 16.09.1993: опубл. 20.08.1996 / И.С. Гелес, А.Б. Кузьмин, В.Е. Корожнев.
 26. Ребко С.В. Анализ содержания основных компонентов эфирного масла в хвое различных климатических типов и подвидов сосны обыкновенной // Resources and Technology. 2021. Т. 18, № 3. С. 17-36. DOI: 10.15393/j2.art.2021.5783
 27. Есякова О.А. Индикация загрязнения атмосферы Красноярска по морфометрическим и химическим показателям хвои ели сибирской // Химия растительного сырья. 2008. № 1. С. 142-148.
 28. Есякова О.А. Влияние антропогенного загрязнения среды на содержание и состав эфирного масла хвои ели // Хвойные бореальной зоны. 2007. Т. 24, № 1. С. 122-127.
 29. Гуляев Д.К. Фармакогностическое исследование ели обыкновенной, произрастающей в Пермском крае: специальность 14.04.02 «Фармацевтическая химия, фармакогнозия»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата фармацевтических наук. Самара: Изд-во Самарский гос. мед. ун-та, 2016. 22 с.
 30. Караваев С.В. Производство эфирных масел из отходов лесопромышленного комплекса Приморского края // Изв. высш. учеб. заведений. Лесной журнал. 2008. № 1. С. 128-131.
 31. Орлов А.М., Тагильцев Ю.Г., Цюпко В.А., Колесникова Р.Д. Эфирные масла коры ели и пихты. Хабаровск: Изд-во Дальневосточ. науч.-исслед. ин-та лесного хоз-ва, 2003. 42 с.
 32. Bukhanko N. Extraction of cones, branches, needles and bark from Norway spruce (*Picea abies*) by supercritical carbon dioxide and soxhlet extractions techniques // Industrial Crops & Products. 2020. Vol. 145, № 112. P. 1259-1284.
 33. Деревья-целители: Аннотированный библиографический указатель / Под ред. М-ва природ. ресурсов РФ. Хабаровск: Изд-во Дальневосточ. науч.-исслед. ин-та лесного хозяйства, 2014. 59 с.
 34. Калугина З.С. Изучение коэффициента диффузии // Гидролизная и лесохимическая промышленность. 1986. № 7. С. 3-5.
 35. ГОСТ ISO 279-2014. «Масла эфирные. Метод определения относительной плотности при температуре 20 °С. Контрольный метод». [Электронный ресурс]. <https://docs.cntd.ru/document/1200112679> (дата обращения 01.01.2016).
 36. ТУ 13-00281074-263-2015. «Технические условия на масло сосновое». [Электронный ресурс]. https://sertrust.ru/blog/tehnicheskie_usloviy/tehnicheskie-usloviya-na-maslo-sosnovoe-tu?ysclid=m6ovrwy2sz284327993 (дата обращения 29.05.2022).

References

1. Agapkina T.A. Trees in the Slavic folk tradition: essays. Moscow: Institute of Slavic Studies of the Russian Academy of Sciences, Indrik, 2019. 654 p.

2. On approval of the Strategy for the Development of Forestry of the Republic of Tatarstan for 2024-2026 and for the period up to 2030. [Electronic resource]. <https://docs.cntd.ru/document/407261617> (date of address 03.25.2024).
3. Kameney Ya.A. Conceptual aspects of improving the territorial planning of the forestry complex of the region // Russian entrepreneurship. 2015. № 8 (2). P. 75-79.
4. Bezrukikh Yu.A. Rational nature management in the context of sustainable development of the economy of industrial enterprises of the forestry complex // Economy and entrepreneurship. 2014. № 12-2. P. 994-996.
5. Ziatdinova D.F., Solovieva E.N., Nazipova L.R., Safina A.V., Valeev K.V., Safin R.G. Modeling of wood moisture absorption processes with changing environmental pressure // Bulletin of the Technological University. 2024. Vol. 27, № 1. P. 25-29. DOI: 10.55421/1998-7072_2024_27_1_25
6. Kulkova A.V. Multiparameter assessment of taxonomic proximity of spruce species (*Picea* a. Dietr.) based on the pigment composition of needles // Bulletin of the Volga State Technological University. Ser. Forest. Ecology. Nature Management. 2018. № 1 (37). P. 5-18.
7. Coniferous essential oils. [Electronic resource]. <https://www.med-konfiter.ru/articles/zelenaya-apteka/khvoynye-efirnye-masla/> (date of address 24. 01.2023).
8. Fuksman I.L. Influence of natural and anthropogenic factors on the metabolism of secondary substances in woody plants: abstract of dis. ... doc. biological sciences. St. Petersburg: Publishing house № 39 by the Institute of Forest of the Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences in St. Petersburg, 1999. 42 p.
9. Mezentsева V.T. Content of chlorophyll and microelements in the needles of geographical crops // Forestry. 1984. № 6. P. 61-65.
10. Posmetyev V.I., Makarenko A.V. Assessment of the feasibility of woody greenery in the national economy // Voronezh Scientific and Technical Bulletin. 2015. № 4 (14). 14 p.
11. Kulkova A.V. Biological characteristics and regenerative capacity of cuttings of representatives of the genus spruce (*Picea* A. Dietr.) during introduction to the Nizhny Novgorod region: diss. ... candidate of technical sciences. Nizhny Novgorod: Publishing house Nizhny Novgorod state. villages. akad., 2021. 332 p.
12. Kryusman G. Conifers. M.: Forest industry, 1986. 255 p.
13. Novitskaya Yu.E. Features of physiological and biochemical processes in needles and shoots of spruce in the North. L.: Science, 1971. 116 p.
14. Pat. 2295254 RF, IPC 7A23K1/00 Method for processing wood greenery / Applicant and patent holder: Krasilnikov O. Yu.; declared 07.02.2005; published 20.03.2007. 2 p.
15. Valeev K.V. Review of research in the field of extraction of biologically active substances from coniferous wood species // Systems. Methods. Technologies. 2024. № 4 (64). P. 159-164.
16. Ushakov V.S. Forecasting the content of biologically active substances in coniferous wood greenery: diss. ... cand. of technical sciences. Krasnoyarsk: Publishing House of the Siberian State Technical University. un-t, 2000. 175 p.
17. Medvedeva E.A. Use of pectins from the bark of coniferous trees in the production of canned products // Agrarian science of the Euro-North-East. 2018. № 4 (65). P. 71-75.
18. The expert said that the demand for dietary supplements in Russia is growing by 20-25 %. [Electronic resource]. <https://tass.ru/obschestvo/18641517> (date of address 09.02.2023).
19. Essential Oils Market Trends: In-Depth Analysis 2025. [Electronic resource]. <https://reads.alibaba.com/ru/exploring-the-versatile-world-of-essential-oil-in-beauty-and-personal-care/> (date of address 12.26.2024).
20. Rostov Pharmaceutical Factory LLC Product Prices. [Electronic resource]. <https://flavitax.jimdo.com/-96-7-98-6> (date of address 11.10.2024).
21. Tyurin D.S. Quantitative and qualitative characteristics of the aboveground phytomass of plantation crops of spruce and pine in the Leningrad region: diss. ... cand. of agr. sciences. St. Petersburg: Publishing house of St. Petersburg Scientific Research Institute of Forestry, 2024. 232 p.
22. Ataeva A.K. Evaluation of the quality of essential oils using GC-MS analysis // Medicine and Ecology. 2020. № 1. P. 64-75.
23. Arslanova G.R. Modern technologies for extracting biologically active substances from wood waste // Actual problems and prospects for the development of the forestry complex: Proceedings of the IV Internat. Scientific and Practical Conf., Kostroma, September 08-11, 2021. Kostroma: Kostroma State University, 2021. P. 126-128.
24. Patent 2332438 C1 Russian Federation, IPC C09F 1/00, C11B 11/00, C11B 1/10. Method for processing spruce bark: No. 2007114668/04: declared 18.04.2007: published 27.08.2008 / V.A. Levdansky, A.I. Butylkina, B.N. Kuznetsov; applicant Institute of Chemistry and Chemical Technology of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (ICCT SB RAS).
25. Patent 2065487 C1 Russian Federation, IPC C11B 9/02. Method for obtaining essential oil from spruce: No. 93045723/13: declared 16.09.1993: published 20.08.1996 / I.S. Geles, A.B. Kuzmin, V.E. Korozhnev.
26. Rebko S.V. Analysis of the content of the main components of essential oil in the needles of various climatypes and subspecies of Scots pine // Resources and Technology. 2021. Vol. 18, № 3. P. 17-36. DOI: 10.15393/j2.art.2021.5783
27. Eryakova O.A. Indication of atmospheric pollution in Krasnoyarsk based on morphometric and chemical parameters of Siberian spruce needles // Chemistry of plant raw materials. 2008. № 1. P. 142-148.
28. Eryakova O.A. The influence of anthropogenic pollution of the environment on the content and composition of essential oil of spruce needles // Conifers of the boreal zone. 2007. Vol. 24, № 1. P. 122-127.
29. Gulyaev D.K. Pharmacognostic study of common spruce growing in the Perm region: abstract of the diss. ... cand. of pharmaceutical sciences. Samara: Publishing house of Samara State Medical University. un-t, 2016. 22 p.
30. Karavaev S.V. Production of essential oils from waste of the forestry complex of Primorsky Krai // News of higher educational institutions. Forestry magazine. 2008. № 1. P. 128-131.
31. Orlov A.M., Tagiltsev Yu.G., Tsypko V.A., Kolesnikova R.D. Essential oils of spruce and fir bark. Khabarovsk: Far Eastern Scientific Research Publishing House of Institute of Forestry, 2003. 42 p.
32. Bukhanko N. Extraction of cones, branches, needles and bark from Norway spruce (*Picea abies*) by supercritical carbon dioxide and soxhlet extractions techniques // Industrial Crops & Products. 2020. Vol. 145, № 12. P. 1259-1284.
33. Trees-healers: Annotated bibliographic index. Khabarovsk: Far Eastern Research Institute of Forestry, 2014. 59 p.
34. Kalugina Z.S. Study of the diffusion coefficient // Hydrolysis and forest chemical industry. 1986. № 7. P. 3-5.
35. GOST ISO 279-2014. «Essential oils. Method for determination of relative density at 20 °C. Reference method». [Electronic resource]. <https://docs.cntd.ru/document/1200112679> (date of address 01.01.2016).
36. TU 13-00281074-263-2015. «Technical conditions for pine oil». [Electronic resource]. <https://sertrust.ru/blog/tehnicheskie-usloviy/tehnicheskie-usloviya-na-maslo-sosnovoe-tu?ysclid=m6ovrwy2sz284327993>. (date of address 29.05.2022).