

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ИЗВЛЕЧЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ ДРЕВЕСНОЙ БИОМАССЫ ХВОЙНЫХ ПОРОД С УЧЕТОМ МОРФОЛОГИЧЕСКОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ СЫРЬЯ

А. В. Сафина, Е. И. Байгильдеева

Казанский национальный исследовательский технологический университет
Российская Федерация, 420015, г. Казань, ул. К. Маркса, 68

Аннотация. В статье представлен обзор современных научных исследований в области комплексной переработки отходов, образующихся в результате заготовки и промышленного использования хвойной древесной биомассы, включая стволую часть, корни, ветки, хвою, шишки и сучки. Цель работы – анализ современного состояния вопроса извлечения биологически активных веществ из древесной биомассы хвойных пород с акцентом на особенности структуры отдельных морфологических частей. Исследовались научные труды и патенты, применялись методы комплексного изучения, сравнения, анализа и обобщения данных.

В числе перспективных направлений переработки растительных отходов представлена экстракция как способ, позволяющий извлекать биологически ценные вещества из всех морфологических компонентов дерева. Указано, что к числу богатых ценными веществами компонентов древесной биомассы относится хвоя, содержащая эфирные масла, дубильные вещества и витамины, а также древесная кора, содержащая целый спектр экстрактивных веществ, которые могут применяться в фармацевтике, сельском хозяйстве и т.д. Выявлено, что мало исследованным, но перспективным источником биологически активных веществ являются шишки хвойных пород, в которых содержатся эфирные масла, обладающие антиоксидантным и противоопухолевым действием. Проанализированы результаты исследований экстрагирования отходов стволую части древесины, которые показали наличие биологически активных полифенолов, а также особый интерес ученых к выделению из древесины лиственницы дигидрокверцетина, являющегося природным антиоксидантом. Представлены исследования по извлечению ценных веществ из корней деревьев, которые богаты фенольными соединениями, смолистыми и дубильными веществами. Выявлено, что уникальным источником фитострагенов, в частности, лигнанов является сучковая древесина норвежской ели и сосны обыкновенной.

Результаты проведенного аналитического обзора могут быть использованы в качестве основы для углубленных исследований в области извлечения наиболее ценных биологически активных веществ из хвойной древесной биомассы посредством экстракции с применением оптимальных режимных параметров и экстрагентов.

Ключевые слова: комплексная переработка; экстракция; хвойная древесная биомасса; морфологические части; биологически активные вещества.

Conifers of the boreal area. 2026, Vol. XLIV, No. 3, P. 24–33

REVIEW OF MODERN METHODS FOR EXTRACTING BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES FROM CONIFEROUS WOOD BIOMASS, TAKING INTO ACCOUNT THE MORPHOLOGICAL HETEROGENEITY OF THE RAW MATERIAL

A. V. Safina, E. I. Baigildeeva

Kazan National Research Technological University
68, K. Marksa str., Kazan, 420015, Russian Federation

Abstract. The article provides an overview of current scientific research in the field of comprehensive recycling of waste generated as a result of harvesting and industrial use of coniferous wood biomass, including the stem, roots, branches, needles, cones, and knots. The purpose of this work is to analyze the current state of the issue of extracting biologically active substances from coniferous wood biomass, with a focus on the structure of individual morphological parts. Scientific papers and patents were studied, and methods of comprehensive research, comparison, analysis, and generalization of data were applied.

Among the promising areas of plant waste recycling, extraction is presented as a method that allows for the extraction of biologically valuable substances from all morphological components of the tree. It is stated that the valuable components of wood biomass include pine needles, which contain essential oils, tannins, and vitamins, as well as wood bark, which contains a wide range of extractive substances that can be used in pharmaceuticals, agriculture, and other fields. It has been revealed that coniferous cones, which contain essential oils with antioxidant and antitumor properties, are a little-studied but promising source of biologically active substances. The results of studies on the

extraction of waste from the trunk part of wood have been analyzed, which have shown the presence of biologically active polyphenols, as well as the special interest of scientists in isolating dihydroquercetin, a natural antioxidant, from larch wood. Research on the extraction of valuable substances from tree roots, which are rich in phenolic compounds, resinous substances, and tannins, has been presented. It has been found that the unique source of phytoestrogens, particularly lignans, is the knot wood of Norway spruce and Scots pine.

The outcomes of this analytical review can serve as a foundation for more in-depth research aimed at optimizing the extraction of high-value bioactive compounds from woody biomass through the application of tailored process parameters and selective extractants.

Keywords: complex processing; extraction; coniferous wood biomass; morphological parts; biologically active substances.

ВВЕДЕНИЕ

Лесопромышленный комплекс России стоит на пороге качественной трансформации, где ключевым вектором развития становится не столько наращивание объемов заготовки древесины, сколько глубина и рациональность ее переработки. Ежегодно в процессе лесозаготовки и промышленной переработки древесины образуются миллионы кубометров вторичных древесных ресурсов, которые традиционно рассматриваются как отходы. Однако в условиях истощения экстенсивных путей развития отрасли и ужесточения экологических требований данные «отходы» могут быть трансформированы в ценное сырьевое звено, способное стать основой для создания продуктов с высокой добавленной стоимостью [1].

По аналитическим данным Национального лесного агентства развития и инвестиций, представленным на Биотопливном конгрессе в г. Санкт-Петербург в 2025 году, лесопромышленный комплекс России несет огромные потери древесного сырья в виде отходов, образующихся при заготовке и переработке древесины [2]. К ним относят остающиеся на лесосеках дрова и балансы, не находящие сбыта в виду их низкого качества, ветки, сучья, корни, пни, щепу, опилки, древесную зелень, а также ликвидные отходы деревообрабатывающей промышленности, пригодные для последующей обработки [3]. По оценкам специалистов совокупное количество образующихся отходов достигает 46 % от всего объема сырья, вывозимого с лесосек.

Согласно Приказу № 23 Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 17.01.2022 г. [4], очистка лесосек осуществляется путем сбора порубочных остатков в кучи и валы для сжигания, перегнивания или подкормки диких животных, либо для разбрасывания измельченных остатков с целью улучшения лесорастительных условий. Однако подобный подход не учитывает современных вызовов, стоящих перед экономикой страны. На данном этапе необходимо развитие технологий и создание предприятий глубокой переработки древесины на базе современного высокотехнологичного оборудования с целью использования всего объема древесной биомассы, включая малоценные породы древесины [5].

Современная лесная промышленность России работает на собственных ресурсах и по показателям обеспеченности лесом находится на втором месте в мире после Бразилии. Структура лесного фонда нашей страны представлена, в основном, хвойными породами – 76 % (преимущественно лиственница, сосна, ель) от всего объема лесов. Заготовка древесины

хвойных пород является основой лесозаготовительной деятельности в России, превалируя над заготовкой лиственных пород, и составляет почти 2/3 от вывозимых материалов.

Одним из направлений эффективной переработки отходов хвойной древесной биомассы являются экстракционные технологии, позволяющие извлекать широкий перечень биологически активных веществ (БАВ), к которым относят витамины, эфирные масла, микроэлементы, пигменты, жирные кислоты, альдегиды, смолы и др. [6–8]. Реализация данных технологий обеспечивает получение биологически активных компонентов с высокой добавленной стоимостью, которые являются основой для производства препаратов лечебно-профилактического и медицинского назначения, кормовых добавок, экологически чистых удобрений и т. д. [9; 10].

Как показали исследования [11], фитопрепараты составляют примерно 25 % от общего количества зарегистрированных лекарственных средств. Они представляют собой утвержденные в установленном порядке готовые лекарственные средства, которые содержат БАВ растительного происхождения или лекарственное растительное сырье и применяются для лечения, либо профилактики различных заболеваний практически всех органов и систем человеческого организма, в том числе сердечно-сосудистой, нервной, дыхательной, желудочно-кишечного тракта и т. д.

В 2020 году в четырёх сегментах лекарственных форм на основе фитопрепаратов (таблетки, капсулы, капли, сироп) в стоимостном выражении преобладали зарубежные производители (68, 65, 96 и 81 % соответственно). Отечественные компании были лидерами только в сегменте растительных сборов, обеспечивая 97 % продаж. При этом зарубежные продукты были представлены в виде стандартизованных экстрактов, которые предполагали сложные технологии получения, были хорошо изучены и защищены патентами.

В 2024 году производители из США и ЕС сократили долю своего присутствия на российском рынке до 12 %, уступив место новым партнёрам, в частности, из Индии, Турции и др. Вместе с тем, на 5-м российском фармацевтическом форуме «Лекарственная безопасность», который прошёл в рамках Петербургского международного экономического форума (ПМЭФ), отмечалось, что около 85 % лекарственных препаратов, зарегистрированных в России за последние 1,5 года, являются отечественными [12]. Это отражает реализацию стратегического курса на фармацевтический суверенитет и импортозамещение. В данном кон-

тексте развитие экстракционных технологий, направленных на извлечение биологически активных соединений из вторичных ресурсов лесной биомассы, приобретает особую научно-практическую значимость, поскольку обеспечивает сырьевую базу для создания конкурентоспособных отечественных фармпрепаратов.

Исследования, посвященные вопросам экстракции компонентов из отходов древесной биомассы, находят широкое отражение в научной литературе, однако их объем существенно уступает числу работ, посвященных, например, переработке отходов сельскохозяйственного сырья. Это обусловлено большим разнообразием аграрных остатков, их относительно низкой стоимостью и логистической простотой сбора по сравнению с древесными отходами. В то же время большие объемы вторичных ресурсов хвойной древесной биомассы представляют значительный интерес с точки зрения разнообразия и ценности извлекаемых биологически активных веществ, что и определило актуальность настоящего обзора.

ЦЕЛЬ ОБЗОРА – анализ современного состояния вопроса извлечения биологически активных веществ из древесной биомассы хвойных пород с акцентом на особенности структуры отдельных морфологических частей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве материалов по данной теме служили научные труды отечественных и зарубежных ученых, российские патенты на изобретения. Поиск научных работ производился с применением сети Internet и российской научной электронной библиотеки eLibrary. Патентный поиск осуществлялся посредством информационно-поисковой системы ФИПС. Было изучено более 100 научных работ и патентов, из которых для более детального изучения были выбраны 50 наиболее значимых. В данном аналитическом исследовании применялись методы комплексного изучения, сравнения, анализа и обобщения данных.

ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ЭКСТРАГИРОВАНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ ЧАСТЕЙ ДРЕВЕСНОЙ БИОМАССЫ

Эффективность извлечения ценных биологически активных веществ из древесной биомассы определяется совокупностью физико-химических и теплофизических характеристик сырья, определяющих кинетику массообменных процессов. Указанные свойства варьируются в зависимости от таксономической принадлежности породы (хвойные или лиственные) и морфологической неоднородности отдельных частей дерева. Древесная биомасса включает ствол и корневую систему, листья и хвою, неодревесневшие побеги, сучья, ветви и кору. Необходимость максимального извлечения ценных компонентов из каждой части биомассы обуславливает применение разных способов экстрагирования, соответствующих растворителей и режимных параметров, что подтверждается данными современных научных исследований.

Одним из источников получения новых продуктов на основе вторичных ресурсов леса является древес-

ная зелень. При заготовке хвойного леса с 1 гектара может образоваться 15–20 т хвойной зелени. Она является специфичным сырьем для экстракционной переработки, обладающим рядом уникальных физико-химических характеристик [13; 14]. Наличие смоляных ходов и эфирных масел характеризует высокий потенциал хвойной зелени и открывает широкие перспективы использования ее как эфиромасличного сырья для получения ценных биологически активных веществ [15–19]. Значительное количество работ посвящено изучению химического состава зелени хвойных пород древесины и разработке различных способов получения из нее эфирного масла [20–24].

Игольчатая форма хвои обеспечивает развитую удельную поверхность, что теоретически интенсифицирует экстракцию. Однако наличие восковой кутикулы на поверхности хвоинок обуславливает выраженные гидрофобные свойства и существенно ограничивает проникновение полярных экстрагентов. Это требует применения методов, обеспечивающих интенсификацию массообменных процессов.

Способ классической экстракции древесной зелени хвойных пород (сосны, ели, пихты и кедра) с целью получения биологически активных веществ предложен В. И. Рошиным и др. [25]. В качестве экстрагентов использовались бензин, гексан, петролейный эфир и ацетон. Метод предполагает комплексный подход к извлечению различных компонентов и включает последовательную экстракцию органическим растворителем, выделение хвойного воска, омыление экстрактивных веществ щелочью, разделение на нейтральные вещества и соли органических кислот. Далее проводят вакуумную дистилляцию с выделением фракций сесквитерпеноидов при 90–120 °С и лабдановых дитерпеноидов при 120–210 °С. Из кубового остатка выделяют жирные кислоты, стерины, полипrenoлы и тритерпеноиды. Последовательная экстракция органическим растворителем создает устойчивый концентрационный градиент, обеспечивая полноту перехода целевых веществ из твердой фазы в раствор, а вакуумная дистилляция при остаточном давлении менее 400 Па позволяет снизить температуру кипения и предотвращает термодеградацию лабильных соединений.

Переработка древесной зелени пихты сибирской (*Abies sibirica Ledeb.*) по технологии совмещенной водно-бензиновой экстракции представлена в работе [26]. Использование двухконтурного аппарата, обеспечивающего одновременную отгонку эфирного масла и интенсификацию извлечения других экстрактивных компонентов, позволяет выделять до 20 % и более (в пересчете на абсолютно сухую массу сырья) содержащихся в ней биологически активных соединений. Авторы отмечают, что по мере перехода от молодняков к спелым древостоям соотношение биологически активных веществ к кормовым компонентам снижается с 0,91 до 0,67. Однако содержание большинства анализируемых экстрактивных веществ увеличивается в более зрелых насаждениях, что можно объяснить онтогенетическим накоплением запасов экстрактивных соединений в древесной зелени.

Комплексная технология переработки древесной зелени и коры пихты сибирской (*Abies sibirica Ledeb.*),

с получением широкого спектра биологически активных продуктов и вторичных ресурсов, предложена в работе [27]. Основными стадиями данной технологии являются экстракция жидким диоксидом углерода (5,6–6,0 МПа, 18–22 °С, 4–6 ч), паровая дистилляция эфирного масла (110–120 °С, 12–14 ч), водная и спиртовая экстракции послеэкстракционных остатков этанолом с концентрацией 70–94 %. При этом из 1,5 т исходного сырья получают 23–25 кг эфирного масла, 258–260 кг кубовой жидкости, 497–500 кг флорентинной воды. На основе кубовой жидкости выделялись хвойно-водный и хвойно-соляной экстракты. Спиртовая экстракция обеспечивала получение 229–340 кг экстракта с содержанием экстрактивных веществ 31,94–41,62 %, из которого выделены липидная фракция и водный экстракт, а также 127,7 кг хвойной пасты. Твердый остаток после спиртовой экстракции в количестве 350 кг используется для производства витаминной муки. Кроме того, этиловый спирт регенерируется с коэффициентом 0,75–0,80.

Исследование экстрактов древесной зелени лиственницы сибирской (*Larix sibirica Ledeb.*), а также ее коры и древесной части побегов с применением таких растворителей, как петролейный эфир, диэтиловый эфир, этилацетат и изопропиловый спирт, представлено в работе [28]. Анализ экстрактов из отдельных морфологических частей биомассы, собранных в летний и осенний периоды, позволил проследить изменчивость сезонного химического состава лиственничной зелени, что создало основу для целенаправленного использования ее компонентов в производстве биологически активных добавок, функциональных ингредиентов и технических продуктов. Установлено, что хвоя лиственницы летнего сбора содержит меньше низкополярных экстрактивных веществ, извлекаемых петролейным и диэтиловым эфирами, чем хвоя других пород. Наибольшая концентрация как эфирных масел, так и экстрактивных веществ всех типов выявлена в коре побегов. В осенних образцах наблюдается рост общего содержания экстрактивных веществ при снижении доли эфирных масел.

Содержание экстрактивных веществ и химический состав хвои, отплодоносивших шишек и коры лиственницы Каяндера (*Larix cajanderi Mayr.*) проанализированы в работе [29]. Экстракцию проводили 47,5 %-м водным раствором этанола как традиционным способом, так и с применением предэкстракционной механохимической активации (ПЭМХА). Установлено, что в последнем случае увеличивается выход полиолов из хвои и моно-/дисахаридов из коры, в частности, маннозы и арабинозы, обладающих антибактериальными и противоопухолевыми свойствами. Авторы отмечают существенное различие состава и содержания биологически активных веществ в зависимости от морфологической части растения. В хвое выявлены моно- и дисахариды, полиолы, флавоноиды, карбоновые и фенолокислоты, а в шишках и коре преобладают жирные и смоляные кислоты.

Что касается ценных компонентов шишек хвойных пород, то исследования в этом направлении ведутся, но они малочисленны. Семенные чешуи шишек, пронизанные смоляными ходами, содержат эфирное мас-

ло. В работе [30] авторами отмечается наличие до 1,16 % эфирного масла в шишках пихты сибирской с преобладанием монотерпенов, основным компонентом которых является борнилацетат. Эфирное масло шишек кедрового стланика (*Pinus pumila (Pall.) Regel*), полученное гидродистилляцией в аппаратах Гинзберга и Клевенджера, исследовано в работе [31]. Как отмечают авторы, основным компонентом также являются монотерпеновые соединения, но с преобладанием лимонена, что обуславливает антиоксидантное и противоопухолевое действие масла.

В работе [32] представлены результаты комплексного исследования количественного содержания экстрактивных веществ в биомассе (древесине, коре, корнях) хвойных пород, а именно лиственницы (*Larix sibirica L.*), сосны (*Pinus sylvestris L.*), пихты (*Abies sibirica L.*), ели (*Picea obovata L.*) и кедра (*Pinus sibirica Du Tour*). Экстракцию проводили последовательно: этилацетатом при температуре кипения в течение 4 ч для выделения общих экстрактивных веществ, затем гексаном для извлечения смолистых (терпеновых) компонентов и дистиллированной водой при 90 °С в течение 4 ч для получения водорастворимых соединений. Установлено, что наибольшее содержание этилацетаторастворимых экстрактивных веществ наблюдается в коре (до 15 % от а.с.в., особенно у пихты), тогда как в древесине и корнях их выход составляет 2 – 6 %. Наиболее богаты терпенами древесина кедра и сосны (более 3 % от а.с.в.). Максимальный выход водорастворимых веществ зафиксирован для древесины лиственницы (18 %) и коры пихты (10 %). Авторами проведена систематизация данных по фенольным экстрактивным соединениям хвойных пород, подтвердившая высокое содержание биологически активных полифенолов во всех исследованных частях древесного сырья.

Лиственница (*Larix sibirica Lebed.*) доминирует в составе лесных массивов Сибири и Дальнего Востока и широко используется в лесозаготовительной и деревоперерабатывающей отраслях [33]. При этом ее биомасса является богатым источником биологически активных соединений, что делает данную породу приоритетным объектом для экстракционных технологий [34]. Многие исследователи сосредоточены на выделении из данной древесины дигидрокверцетина (ДКВ), который является ценным природным антиоксидантом.

В работе Б. М. Кершенгольца и др. [35] представлен экологически безопасный и ресурсосберегающий метод получения ДКВ из отходов лесозаготовки и деревопереработки лиственницы. Технология включает твердофазную механохимическую активацию опилок в шаровой мельнице с сухим гидроксидом натрия (соотношение 19:1), последующую водную экстракцию при перемешивании в течение 15 ч, фильтрацию и осаждение дигидрокверцетина подкислением экстракта соляной кислотой до pH 1,5–2,0. Целевой продукт выделяют центрифугированием и высушивают. Метод исключает использование органических растворителей, минимизирует энергозатраты и позволяет получать биопрепарат дигидрокверцетина, пригодный для применения в фармацевтике, пищевой и косметической промышленности.

Способ экстракции дигидрокверцетина из щепы лиственницы с использованием монокомпонентного органического растворителя в двухступенчатой системе с непрерывной циркуляцией и низкочастотным пульсирующим полем при температуре, близкой к точке кипения, разработан А. Н. Кислицыным и Е. Л. Мальчиковым [36]. Конструкция установки позволяет реализовать процесс в замкнутом, энергоэффективном и управляемом режиме.

А. С. Кочетовым и С. А. Кочетовым предложена усовершенствованная технология выделения ДКВ с предварительным двухэтапным замачиванием сырья и экстракцией в псевдосжиженном состоянии при 30–40 °С, где в качестве растворителя предложены растворы водного этилового спирта и деионизированной воды [37]. Предлагаемый способ и оборудование сокращают продолжительность процесса извлечения, снижают расход растворителей при существенном конструктивном упрощении аппаратного оформления.

Экологически безопасный метод одновременного извлечения дигидрокверцетина и арабиногалактана (АГ) из древесины лиственницы сибирской водно-этанольной экстракцией предложен В. А. Левданским и др. [38]. Использование 15 %-го раствора этанола при экстракции измельченного сырья (1–3 мм) в течение 2 ч обеспечивает до 1,8 % выхода ДКВ и до 18 % АГ, исключая необходимость предварительного отделения смолистых веществ. Предварительная механоактивация древесины сокращает длительность процесса до 30 мин без снижения выхода целевых продуктов.

Технология совмещенного получения ДКВ и АГ из отходов древесины представлена в работе Ю. А. Малкова и соавт. [39]. После предварительного извлечения дигидрокверцетина и смол предлагается извлекать АГ горячей водой с температурой 80–90 °С с последующей очисткой смеси ультра- и диафильтрацией с использованием гидрофобных и гидрофильных мембран. Сушка экстракта осуществляется в распылительной сушилке при 110–115 °С и давлении 0,15–0,2 МПа. Технология обеспечивает высокий выход АГ, исключает применение импортных реагентов (флокулянтов) и позволяет автоматизировать процесс в непрерывном режиме, что значительно снижает энергозатраты.

В процессе промышленной обработки массивной древесины образуется огромное количество отходов в виде коры. Кора хвойных пород является потенциально ценным объектом для экстрагирования БАВ. Она отличается от древесины своей плотностью, структурой и высоким содержанием активных веществ, в том числе дубильных, а также эфирных масел и фенольных соединений, что требует адаптации методов экстракции под ее биологические и химические характеристики [40].

В работе [41] показана принципиальная возможность вовлечения отходов, возникающих при окоривании хвойных пород (сосны, лиственницы, пихты и ели), в дубильно-экстрактовое производство. Установлено, что применение разбавленного водного раствора гидроксида натрия обеспечивает эффективное извлечение дубильных веществ из коры. Для повышения качества получаемых экстрактов разработан комбинированный метод их облагораживания, вклю-

чающий нейтрализацию на анионитной смоле КУ-2 до pH 5,8–6, сульфитирование сульфитом натрия (0,1–1 % от массы сухих веществ экстракта) и ультрафильтрацию на мембранах из полых волокон ВПУ-15 со степенью концентрирования не более 30 %. Предложенная технология позволяет получать стабильные, очищенные от примесей дубильные экстракты, пригодные для использования в кожевенной, деревообрабатывающей и других отраслях промышленности.

Перспективы применения экстракта коры сосны (*Pinus sylvestris* L.) в качестве функционального компонента в составе косметических средств, направленных на защиту кожи от окислительного стресса и преждевременного старения, отражены в работе [42]. В результате экстракции биологически активных веществ из коры 2 %-м раствором гидроксида натрия (гидро модуль 1:40) при температуре 100 °С в течение 1 ч получается экстракт с высоким содержанием фенольных флавоноидов, дубильных веществ и проантоцианидинов, обладающих выраженной антиоксидантной активностью. В ходе исследования разработаны технологические подходы к комплексной переработке коры сосны с получением широкого спектра востребованных химических продуктов: смолистых веществ (4,8 %), дубильного экстракта (10 %), антоцианидинхлоридов (10 %), проантоцианидинов (0,5 %) и пектина (4 %) от массы абсолютно сухой коры. Подбор оптимальных экстрагентов и режимов экстракции позволил целенаправленно выделять отдельные группы биологически активных соединений.

В работе [43] предложен усовершенствованный способ экстракции коры лиственницы с использованием водного раствора моноэтаноламина (МЭА) в качестве активной добавки. Данный метод превосходит традиционные способы экстракции по эффективности извлечения фенольных соединений, позволяя выделять из данной коры до 50 % веществ фенольной природы. Установлено, что концентрация МЭА до 5 % и гидро модуль 14 обеспечивают максимальный выход экстрактивных веществ и повышают содержание флавоноидов в экстракте до 18 %.

Метод комплексной переработки коры кедрового (*Pinus sibirica*) для последовательного извлечения танинов и этаноллигнинов раствором этилового спирта предложен в работе [44]. Посредством инструментов математического моделирования и оптимизации параметрами установлены оптимальные параметры концентрации экстрагента, температуры и продолжительности обработки при извлечении указанных компонентов. Так, концентрированные спиртовые растворы подавляют экстракцию танинов во времени, тогда как разбавленные до 70,1 % растворы этанола обеспечивают их максимальный выход до 15,5 %. Для эффективного извлечения этаноллигнинов (до 19,4 %) целесообразна концентрация этанола составляет 61,1 %, но процесс извлечения должен протекать в условиях повышенной до 232,2 °С температуры. Данный научно и математически обоснованный подход позволяет рационально использовать хвойную кору для получения целевых экстрактов с прогнозируемым выходом и качеством.

Интерес в качестве объектов экстрагирования представляют собой и корни деревьев, являющиеся

отходом процесса лесозаготовки. В них, как и в прочих морфологических компонентах древесной биомассы, содержатся ценные вещества, в том числе, смолистые и дубильные, а также фенольные соединения. Особенность корней заключается в их твердой и плотной структуре. Одревесневшие корни деревьев покрыты толстым пробковым слоем омертвевших клеток, поэтому их плотность на 5–20 % больше, чем у стволовой древесины. Это объясняется большим содержанием смолистых веществ (с разницей почти в 2 раза по сравнению со стволовой частью). В корнях наблюдается высокое содержание биологически активных соединений – сапонинов, гликозидов, алкалоидов. При этом в корнях всегда больше экстрактивных веществ, чем в стволовой части дерева. Например, количество флавоноидов (дигидрокверцетина) в корнях лиственницы превышает их содержание в ядровой древесине в 2–6 раз [32].

В работе [45] проведено исследование биологически активных веществ, полученных из корней ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.). Экстракцию осуществляли последовательно этилацетатом при температуре кипения с последующим выделением смолистых компонентов гексаном, а также водой при 90 °С. Установлено, что общий выход экстрактивных веществ из корней сопоставим с таковым для древесины и составляет 1,9–2,1 % для этилацетаторастворимых и 2,0–2,5 % для водорастворимых от массы абсолютно сухого сырья. При этом содержание фенольных соединений в этилацетатных экстрактах корней более чем в 2 раза превышает аналогичный показатель для древесины. Полученные авторами данные свидетельствуют о высоком фенольном потенциале корней ели и подтверждают их перспективность как дополнительного источника биологически активных лигнанов в рамках комплексной переработки древесной биомассы.

Исследования показывают, что корни, как морфологический компонент древесной биомассы, имеют высокий потенциал в качестве источника ценных веществ для фармакологии и медицины.

Наряду с корнями, определенную долю в объеме низкосортных лесосечных отходов составляет сучковая древесина. Сучки, представляющие собой морфологические узлы соединения ветвей со стволом, традиционно рассматриваются как структурные дефекты, снижающие товарную ценность деловой древесины. Но их физико-химический профиль формирует перспективу их применения в качестве объектов экстракционных технологий [46]. Исследованиями установлено высокое содержание лигнанов в сучках норвежской ели и сосны обыкновенной, которое в несколько сотен раз превышает их концентрацию в сердцевине древесины [47], а также наличие флавоноидов [48]. Лигнаны – это фитоэстрогены, которые оказывают противовоспалительное и антиоксидантное действие, замедляют процессы старения и корректируют гормональный дисбаланс в связи с возрастными изменениями [49]. Именно сучки ели норвежской являются уникальным богатым источником лигнанов [50].

Не смотря на существующий интерес со стороны исследователей до настоящего времени сучковая древесина недостаточно изучена с точки зрения эффек-

тивных способов экстрагирования и оптимизации режимных параметров.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ современного состояния вопроса экстракции биологически активных веществ из отдельных частей древесной биомассы хвойных пород позволяет сформулировать следующие выводы:

1. Комплексная переработка древесной биомассы с извлечением ценных компонентов является перспективным направлением, позволяющим превращать растительные отходы в полезные компоненты и соединения, востребованные в фармацевтической, химической, косметической и других отраслях, и играющие важную роль в поддержании качества жизни общества при одновременном решении вопросов сохранения экологического баланса.

2. Анализ экстракционных технологий основных хвойных пород, составляющих лесной фонд Российской Федерации, позволил выявить как общие закономерности накопления экстрактивных веществ у хвойных пород, так и видовую специфику с учетом природных особенностей отдельных морфологических частей биомассы.

3. Анализ существующих исследований показал, что отдельные морфологические части древесной биомассы обладает уникальным физико-химическим профилем, требующим специфических подходов к переработке. При экстрагировании древесной зелени, богатой эфирными маслами, терпеноидами, витаминами и хлорофиллом, используются инструменты интенсификации для преодоления воскового барьера хвои и щадящего режима извлечения ценного эфирного масла. Для коры с высоким содержанием лигнина целесообразно применение щелочных экстрагентов, модификаторов или режимов при меняющемся давлении среды. Повышенная плотность и смолистость корней обеспечивают выход экстрактивных веществ из них в 2–6 раз выше, чем из стволовой части. Несмотря на существующий интерес со стороны исследователей, сучковая древесина и шишки недостаточно изучены с точки зрения эффективных способов экстракции целевых продуктов, но являются перспективными сырьевыми источниками для фармацевтики.

Исследования в области экстракции биологически активных веществ из хвойной биомассы носят научно-прикладной характер, а также имеют стратегическое значение для развития отечественной фармацевтической индустрии с целью обеспечения отечественной технологической независимости.

СВЕДЕНИЯ О ФИНАНСИРОВАНИИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Работа выполнена за счет гранта, предоставленного Академией наук Республики Татарстан образовательным организациям высшего образования, научным и иным организациям на поддержку планов развития кадрового потенциала в части стимулирования их научных и научно-педагогических работников к защите докторских диссертаций и выполнению научно-исследовательских работ (Соглашение № 10/2025-ПД-КНИТУ от 22.12.2025).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Данилов А. А. Яшалова Н. Н. Важность и необходимость статистики древесных отходов при реализации проектов циркулярной экономики в лесопромышленном комплексе // Вестник Российского экономического университета имени Г. В. Плеханова. 2025. Т. 22, № 1 (139). С. 177–186.
2. Лесопромышленный комплекс. Итоги 2024 г. и январь–февраль 2025 г. [Электронный ресурс]. URL: <https://alestech.ru/bulletin/article/216> (дата обращения: 19.02.2026).
3. Проблематика и направления повышения эффективности использования вторичных древесных ресурсов / З. А. Водождокова, С. К. Чиназирова, С. Ш. Гишева, А. Ш. Хуажева // The scientific heritage. 2020. № 54. С. 38–40.
4. Приказ Минприроды РФ от 17.01.2022 № 23 [Электронный ресурс]. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202202150033> (дата обращения: 17.02.2026).
5. Балданова Л. П. Вопросы и решения утилизации отходов лесопромышленного производства // Региональные проблемы преобразования экономики. 2025. № 6 (176). С. 408–418.
6. Экстракция ценных компонентов из лесосечных отходов / А. В. Сафина, Н. Ф. Тимербаев, Д. Ф. Зиятдинова, Г. Р. Арсланова // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2018. № 1 (361). С. 109–119.
7. Антигипоксическая активность фракций эфирного масла пихты сибирской / Д. К. Гуляев, Е. И. Яковлева, П. С. Машенко, С. Ю. Солодников, В. Д. Белогова // Химия растительного сырья. 2020. № 4. С. 273–280. DOI: 10.14258/jcprm.2020047321
8. Медведев С. О., Степень Р. А. Особенности качественных характеристик продуктов переработки древесной зелени пихты северных регионов // Химия растительного сырья. 2013. № 4. С. 233–236. DOI: 10.14258/jcprm.1304233
9. Бабкин В. А. Экстрактивные вещества древесины лиственницы: химический состав, биологическая активность, перспективы практического использования // Инноватика и экспертиза. 2017. № 2 (20). С. 210–224.
10. ООО «Научно технический центр «Химинвест» [Электронный ресурс]. URL: https://www.himinvest.icnn.ru/pdf/Katalog_produkcii_Himinvest.pdf?ysclid=mls2qwt1qt962230700 (дата обращения: 17.02.2026).
11. Фитопрепараты: анализ фармацевтического рынка Российской Федерации / Н. Н. Бойко, А. В. Бондарев, Е. Т. Жиликова, Д. И. Писарев, О. О. Новиков. URL: <https://rrmedicine.ru/journal/article/1278> (дата обращения: 18.02.2025). DOI: 10.18413/2313-8955-2017-3-4-30-38
12. Фармацевтический рынок России [Электронный ресурс]. URL: <https://delprof.ru/press-center/open-analytics/farmatsevticheskiy-rynok-rossii> (дата обращения 19.02.2025).
13. Титов Е. В. Влияние местоположения на рост и состояние внутривидовых гибридов кедра сибирского в центральной лесостепи // Хвойные бореальной зоны. 2024. Т. 42, № 1. С. 31–35. DOI: 10.53374/1993-0135-2024-1-31-35
14. Влияние экстрактивных компонентов древесной зелени ели на рост и развитие сеянцев сосны обыкновенной / С. К. Стеценко, Е. М. Андреева, Т. В. Хуршайнен, М. В. Ермакова // Теоретическая и прикладная экология. 2025. № 1. С. 120–129.
15. Исследование биоцидных свойств экстрактивных веществ древесной зелени хвойных / Т. В. Хуршайнен, Н. Н. Никонова, Я. И. Назарова, А. А. Широких, Н. Боков, И. Г. Широких, А. В. Кучин // Химия растительного сырья. 2025. № 1. С. 127–138. DOI: 10.14258/jcprm.20250115053
16. Биологическая активность эфирного масла древесной зелени сосны сибирской (*Pinus sibirica*) и его отдельных фракций с использованием тест-систем in vitro / Н. А. Полякова, В. А. Дубинская, А. А. Ефремов, Е. А. Ефремов // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2013. Т. 11, № 12. С. 4–8.
17. Рубчевская Л. П., Репях С. М. Современные направления переработки древесной зелени хвойных растений // Инновационный потенциал лесопромышленного комплекса Красноярского края. Лесосибирск : СибГТУ, 2001. С. 124–129.
18. Галяветдинов Н. Р., Воронин А. Е. Переработка древесной зелени с последующим получением полезных продуктов // Вестник Казанского технологического университета. 2014. № 17(5). С. 138–140.
19. Ефремов А. А., Зыкова И. Д. Компонентный состав эфирных масел хвойных растений Сибири [Текст] : монография. Красноярск : Изд-во СФУ, 2013. 130 с. ISBN 978-5-7638-2713-2-7.
20. Солдатова С. Ю., Дубровин Г. А., Смирнов Д. А. Сравнительный анализ физико-химических показателей эфирного масла сосны обыкновенной, полученного разными методами // Бюллетень науки и практики. 2016. № 8 (9). С. 49–57.
21. Рунова Е. М., Угрюмов Б. И. Комплексная переработка зелени хвойных пород с целью получения биологически активных веществ // Химия растительного сырья. 1998. № 1. С. 57–60.
22. Повышение эффективности экстракции эфирных масел водяным паром / Р. Р. Сафин, А. Е. Воронин, Ф. В. Назипова, Л. В. Ахунова // Вестник технологического университета. 2015. Т. 18, № 8. С. 151–154.
23. Никонова Н. Н., Хуршайнен Т. В., Кучин А. В. Технология выделения низкомолекулярных компонентов древесной зелени сосны и лиственницы методом эмульсионной экстракции // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2022. № 239. С. 220–235. DOI: 10.21266/2079-4304.2022.239.220-23
24. Совершенствование технологии и оборудования производства кедрового масла / В. Н. Невзоров, Ж. А. Кох, И. В. Мацкевич, В. Н. Холопов // Хвойные бореальной зоны. 2022. Т. 40, № 5. С. 444–449. DOI: 10.53374/1993-0135-2022-5-444-449
25. Способ переработки древесной зелени хвойных пород: пат. № 2017782 Рос. Федерация: МПК C09F 1/00, C 11 B 1/10/ Рошин В. И., Васильев С. Н., Павлуцкая И. С., Колодынская Л. А.; заявитель и патентообладатель Рошин В. И. № 5008358/05; заявл. 22.07.1991, опубл. 15.08.1994, Бюл. № 5. 12 с.
26. Степень Р. А., Воронин В. М., Соболева С. В. Биологически активные вещества древесной зелени пихты и область их применения // Хвойные бореальной зоны. 2017. Т. 35, № 3–4. С. 120–124.

27. Ушанова В. М. Переработка древесной зелени и коры пихты сибирской с получением биологически активных продуктов // Хвойные бореальной зоны. 2013. Т. 31, № 1–2. С. 138–142.
28. Транчук Н. В., Рощин В. И. Групповой состав экстрактов из кроны лиственницы сибирской летнего и осеннего сборов // Химия растительного сырья. 2015. № 4. С. 63–70. DOI: 10.14258/jcprm.201504684
29. Содержание экстрактивных веществ и острая токсичность экстрактов лиственницы Каяндера / С. М. Рожина, М. У. Кан, А. Н. Журавская, К. Р. Поскачин // Химия растительного сырья. 2024. № 4. С. 316–324. DOI: 10.14258/jcprm.20240413413
30. Гуляев Д. К., Машенко П. С., Белоногова В. Д., Петров Р. С. Исследование состава эфирного масла пихты сибирской шишек, острой токсичности и антирадикальной активности их водного извлечения // Медицина. 2023. № 3. С. 54–65. DOI: 10.29234/2308-9113-2023-11-3-54-65
31. Гуляев Д. К., Машенко П. С., Белоногова В. Д. Исследование эфирного масла шишек кедрового стланика (*Pinus pumila* (Pall.) Regel) // Медико-фармацевтический журнал Пульс. 2024. Т. 26, № 6. С. 177–184.
32. Определение количественного содержания экстрактивных веществ из древесины, корней и коры деревьев хвойных видов Сибири: лиственницы (*Larix sibirica* L.), сосны (*Pinus sylvestris* L.), пихты (*Abies sibirica* L.), ели (*Picea obovate* L.) и кедра (*Pinus sibirica* Du tour.) / Остроухова Л. А., Т. Е. Федорова, Н. А. Онучина, А. А. Левчук, В. А. Бабкин // Химия растительного сырья. 2018. № 4. С. 185–195. DOI: 10.14258/jcprm.2018044245.
33. Медведева Е. Н., Бабкин В. А., Остроухова Л. А. Арабиногалактан лиственницы – свойства и перспективы использования // Химия растительного сырья. 2003. № 1. С. 27–37.
34. Актуальное состояние отрасли комплексной переработки лиственницы / А. В. Сафина, Р. Г. Сафин, А. Р. Хайрутдинова, К. В. Валеев, Л. Ш. Асаева // Деревообрабатывающая промышленность. 2018. № 1. С. 83–91.
35. Способ получения дигидрокверцетина из отходов лесопереработки и лесозаготовки лиственницы: пат. № 2814536 Рос. Федерация: С07D 311/32 / Кершенгольц Б. М., Шашурин М. М., Журавская А. Н., Жуков М. А., Устинова Т. В., Кошцев В. В.; заявитель и патентообладатели Кершенгольц Б. М., Шашурин М. М., Журавская А. Н., Жуков М. А., Устинова Т. В., Кошцев. № 2023108217; заявл. 03.04.2023, опубл. 29.02.2024.
36. Способ выделения дигидрокверцетина из древесины лиственницы и установка для его осуществления: пат. № 2346941 Рос. Федерация: С07D 311/40, С07D 311/32, B01D 11/02 / Кислицын А. Н., Мальчиков Е. Л.; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Элиор» Кислицын А. Н. № 2007114401/04; заявл. 20.02.2009, опубл. 20.02.2009. Бюл. № 5. 10 с.
37. Способ переработки древесины лиственницы с выделением дигидрокверцетина и устройство для его осуществления: пат. 2211836 C1 Рос. Федерация: B01J 8/00, С07D 311/40, С07D 311/32 / Кочетов А. С., Кочетов С. А. № 2002110754/04; заявл. 28.03.2002, опубл. 20.06.2003.
38. Левданский В. А., Левданский А. В., Кузнецов Б. Н. Выделение дигидрокверцетина и арабиногалактана из древесины лиственницы водно-этанольными растворами // Химия растительного сырья. 2022. № 4. С. 107–113. DOI: 10.14258/jcprm.20220411959
39. Малков Ю. А., Медведева Е. Н., Бабкин В. А. Усовершенствованная технология производства высокоочищенного арабиногалактана // Химия растительного сырья. 2018. № 2. С. 183–189. DOI: 10.14258/jcprm.2018023435
40. Состояние и перспективы использования древесной коры / З. Пастори, Г. А. Горбачева, В. Г. Санаев, И. Р. Мохачине, З. Борчок // Лесной вестник. Forestry Bulletin. 2020. Т. 24, № 5. С. 74–88. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-5-74-88
41. Еременко О. Н., Мишура П. В., Рязанова Т. В. Получение и обогащение экстрактов из коры хвойных // Хвойные бореальной зоны. 2015. Т. 33, № 5–6. С. 291–295.
42. Шудегова М. Д., Краснова Ю. В., Бутова С. Н. Определение оптимальных параметров экстракции веществ из коры сосны // Universum: технические науки. 2022. № 6-6 (99). С. 5–9.
43. Экстракция коры хвойных моноэтаноламином / О. Н. Еременко, Т. В. Рязанова, С. Р. Лоскутов, Е. И. Дубко // Решетневские чтения. 2017. Т. 2. С. 132–133.
44. Ионин В. А., Казаченко А. С., Елсуфьев Е. В. Переработка коры кедра сибирского (*Pinus sibirica*) с экспериментальной и математической оптимизацией выделения танинов и этанолигнинов // Вестник Томского государственного университета. Химия. 2021. № 23. С. 54–66. DOI: 10.17223/24135542/23/5
45. Федорова Т. Е., Бабкин В. А. Экстрактивные вещества корней *Picea obovata* Ledeb // Химия растительного сырья. 2016. № 4. С. 165–168. DOI: 10.14258/jcprm.2016041401
46. Lignans and lipophilic extractives in Norway spruce knots and heartwood / S. M. Willför, J. Hemming, M. Reunanen, C. Eckerman, B. R. Holmbom // Holzforschung. 2003, a. 57:27–36. DOI: 10.1515/HF.2003.005
47. Phenolic and lipophilic extractives in Scots pine knots and heartwood / S. M. Willför, J. Hemming, M. Reunanen, B. Holmbom // Holzforschung. 2003, b. 57:359–372. DOI: 10.1515/HF.2003.054
48. Bioactive phenolic substances in industrially important tree species. Part 2: Knots and heartwood of fir species / S. M. Willför, L. Nisula, J. Hemming, M. Reunanen, B. R. Holmbom // Holzforschung. 2004, b. 58: 650–659. DOI: 10.1515/HF.2004.119
49. Серебренникова К. Г., Арутюнян Н. А. Влияние лигнанов на качество жизни женщин перименопаузального возраста // Гинекология. 2018. Т. 20, № 3. С. 61–65. DOI: 10.26442/2079-5696_2018.3.61-65
50. Smeds A. I., Eklund P. C., Willfor S. M. Chemical characterization of high-molar-mass fractions in a Norway spruce knotwood ethanol extract // Phytochemistry. 2016. 130: 207–17. DOI: 10.1016/j.phytochem.2016.05.006

REFERENCES

1. Danilov A. A., Yashalova N. N. Vazhnost' i neobkhodimost' statistiki drevesnykh otkhodov pri realizatsii projektov tsirkulyarnoy ekonomiki v lesopromyshlennom

komplekse // Vestnik Rossiyskogo ekonomicheskogo universiteta imeni G. V. Plekhanova. 2025. T. 22. № 1 (139). S. 177–186.

2. Lesopromyshlennyy kompleks. Itogi 2024 g. i yanvar'-fevral' 2025 g. [Elektronnyy resurs]. URL: <https://alestech.ru/bulletin/article/216> (data obrashcheniya: 19.02.2026).

3. Problematika i napravleniya povysheniya effektivnosti ispol'zovaniya vtorichnykh drevesnykh resursov / Z. A. Vodozhdokova, S. K. Chinazirova, S. Sh. Gisheva, A. Sh. Khuzhaeva // The scientific heritage. 2020. № 54. S. 38–40.

4. Prikaz Minprirody RF ot 17.01.2022 № 23 [Elektronnyy resurs]. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202202150033> (data obrashcheniya: 17.02.2026).

5. Baldanova L. P. Voprosy i resheniya utilizatsii otkhodov lesopromyshlennogo proizvodstva // Regional'nye problemy preobrazovaniya ekonomiki. 2025. № 6 (176). S. 408–418.

6. Ekstraktsiya tsennykh komponentov iz lesosechnykh otkhodov / A. V. Safina, N. F. Timerbaev, D. F. Ziatdinova, G. R. Arslanova // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal. 2018. № 1 (361). S. 109–119.

7. Antigipoksicheskaya aktivnost' fraktsiy efirnogo masla pikhty sibirskoy / D. K. Gulyaev, E. I. Yakovleva, P. S. Mashchenko, S. Yu. Solodnikov, V. D. Belonogova // Khimiya rastitel'nogo syr'ya. 2020. № 4. S. 273–280. DOI: 10.14258/jcpm.2020047321

8. Medvedev S. O., Stepen' R. A. Osobennosti kachestvennykh kharakteristik produktov pererabotki drevesnoy zeleni pikhty severnykh regionov // Khimiya rastitel'nogo syr'ya. 2013. № 4. S. 233–236. DOI: 10.14258/jcpm.1304233

9. Babkin V. A. Ekstraktivnye veshchestva drevesiny listvennitsy: khimicheskyy sostav, biologicheskaya aktivnost', perspektivy prakticheskogo ispol'zovaniya // Innovatika i ekspertiza. 2017. № 2 (20). S. 210–224.

10. ООО «Nauchno tekhnicheskyy tsentr «Khinninvest» [Elektronnyy resurs]. URL: https://www.himinvest.icnn.ru/pdf/Katalog_produkcii_Himinvest.pdf?ysclid=mls2qwt1qt962230700 (data obrashcheniya: 17.02.2026).

11. Fitopreparaty: analiz farmatsevticheskogo rynka Rossiyskoy Federatsii [Elektronnyy resurs] / N. N. Boyko, A. V. Bondarev, E. T. Zhilyakova, D. I. Pisarev, O. O. Novikov. URL: <https://rmedicine.ru/journal/article/1278> (data obrashcheniya: 18.02.2025).

12. Farmatsevticheskyy rynek Rossii [Elektronnyy resurs]. URL: <https://delprof.ru/press-center/open-analytics/farmatsevticheskyy-rynek-rossii> (data obrashcheniya: 19.02.2025).

13. Titov E. V. Vliyanie mestopolozheniya na rost i sostoyanie vnutrividovykh gibridov kedra sibirskogo v tsentral'noy lesostepi // Khvoynye boreal'noy zony. 2024. T. 42. № 1. S. 31–35. DOI: 10.53374/1993-0135-2024-1-31-35

14. Stetsenko S. K., Andreeva E. M., Khurshkaynen T. V., Ermakova M. V. Vliyanie ekstraktivnykh komponentov drevesnoy zeleni eli na rost i razvitie seyantsev sosny obyknovennoy // Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya. 2025. № 1. S. 120–129.

15. Issledovanie biotsidnykh svoystv ekstraktivnykh veshchestv drevesnoy zeleni khvoynykh / T. V. Khursh-

kaynen, N. N. Nikonova, Ya. I. Nazarova, A. A. Shirokikh, N. Bokov, I. G. Shirokikh, A. V. Kuchin // Khimiya rastitel'nogo syr'ya. 2025. № 1. S. 127–138. DOI: 10.14258/jcpm.20250115053

16. Biologicheskaya aktivnost' efirnogo masla drevesnoy zeleni sosny sibirskoy (Pinus sibirica) i ego otdel'nykh fraktsiy s ispol'zovaniem test-sistem in vitro / N. A. Polyakov, V. A. Dubinskaya, A. A. Efremov, E. A. Efremov // Voprosy biologicheskoy, meditsinskoy i farmatsevticheskoy khimii. 2013. T. 11, № 12. S. 4–8.

17. Rubchevskaya L. P., Repyakh S. M. Sovremennye napravleniya pererabotki drevesnoy zeleni khvoynykh rasteniy // Innovatsionnyy potentsial lesopromyshlennogo kompleksa Krasnoyarskogo kraya. Lesosibirsk : SibGTU, 2001. S. 124–129.

18. Galyavetdinov N. R., Voronin A. E. Pererabotka drevesnoy zeleni s posleduyushchim polucheniem poleznykh produktov // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2014. № 17(5). S. 138–140.

19. Efremov A. A. Komponentnyy sostav efirnykh masel khvoynykh rasteniy Sibiri [Tekst]: monografiya / Krasnoyarsk : Izd-vo SFU, 2013. 130 s. ISBN 978-5-7638-2713-2-7.

20. Soldatova S. Yu., Dubrovin G. A., Smirnov D. A. Sravnitel'nyy analiz fiziko-khimicheskikh pokazateley efirnogo masla sosny obyknovennoy, poluchennogo raznymi metodami // Byulleten' nauki i praktiki. 2016. № 8 (9). S. 49–57.

21. Runova E. M., Ugryumov B. I. Kompleksnaya pererabotka zeleni khvoynykh porod s tsel'yu polucheniya biologicheskii aktivnykh veshchestv // Khimiya rastitel'nogo syr'ya. 1998. № 1. S. 57–60.

22. Povyshenie effektivnosti ekstraktsii efirnykh masel vodyanym parom / R. R. Safin, A. E. Voronin, F. V. Nazipova, L. V. Akhunova // Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta. 2015. T. 18, № 8. S. 151–154.

23. Nikonova N. N., Khurshkaynen T. V., Kuchin A. V. Tekhnologiya vydeleniya nizkomolekulyarnykh komponentov drevesnoy zeleni sosny i listvennitsy metodom emul'sionnoy ekstraktsii // Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii. 2022. № 239. S. 220–235. DOI: 10.21266/2079-4304.2022.239.220-235

24. Nevzorov V. N., Kokh Zh. A., Matskevich I. V., Kholopov V. N. Sovershenstvovanie tekhnologii i oborudovaniya proizvodstva kedrovogo masla // Khvoynye boreal'noy zony. 2022. T. 40, № 5. S. 444–449. DOI: 10.53374/1993-0135-2022-5-444-449

25. Sposob pererabotki drevesnoy zeleni khvoynykh porod: pat. № 2017782 Ros. Federatsiya: MPK C09F 1/00, C 11 B 1/10 / Roshchin V. I., Vasil'ev S. N., Pavlutsкая I. S., Kolodinskaya L. A.; zayavitel' i patentoobladatel' Roshchin V. I. № 5008358/05; zayavl. 22.07.1991, opubl. 15.08.1994, Byul. № 5. 12 s.

26. Stepen' R. A., Voronin V. M., Soboleva S. V. Biologicheskii aktivnye veshchestva drevesnoy zeleni pikhty i oblast' ikh primeneniya // Khvoynye boreal'noy zony. 2017. T. 35, № 3–4. S. 120–124.

27. Ushanova V. M. Pererabotka drevesnoy zeleni i kory pikhty sibirskoy s polucheniem biologicheskii aktivnykh produktov // Khvoynye boreal'noy zony. 2013. T. 31, № 1–2. S. 138–142.

28. Tranchuk N. V., Roshchin V. I. Gruppovoy sostav ekstraktov iz krony listvennitsy sibirskoy letnego i

osennego sborov // Khimiya rastitel'nogo syr'ya. 2015. № 4. S. 63–70. DOI: 10.14258/jcprm.201504684.

29. Soderzhanie ekstraktivnykh veshchestv i ostraya toksichnost' ekstraktov listvennitsy Kayandera / S. M. Rozhina, M. U. Kan, A. N. Zhuravskaya, K. R. Poskachin // Khimiya rastitel'nogo syr'ya. 2024. № 4. S. 316–324. DOI: 10.14258/jcprm.20240413413

30. Issledovanie sostava efirnogo masla pikhty sibirskoy shishek, ostroy toksichnosti i antiradikal'noy aktivnosti ikh vodnogo izvlecheniya / D. K. Gulyaev, P. S. Mashchenko, V. D. Belonogova, R. S. Petrov // Meditsina. 2023. № 3. S. 54–65. DOI: 10.29234/2308-9113-2023-11-3-54-65

31. Gulyaev D. K., Mashchenko P. S., Belonogova V. D. Issledovanie efirnogo masla shishek kedrovogo stlanika (*Pinus pumila* (Pall.) Regel) // Mediko-farmatsevticheskiy zhurnal Pul's. 2024. T. 26. № 6. S. 177–184.

32. Opredelenie kolichestvennogo soderzhaniya ekstraktivnykh veshchestv iz drevesiny, korney i kory derev'ev khvoynykh vidov Sibiri: listvennitsy (*Larix sibirica* L.), sosny (*Pinus sylvestris* L.), pikhty (*Abies sibirica* L.), eli (*Picea obovate* L.) i kedra (*Pinus sibirica* Du tour.) / L. A. Ostroukhova, T. E. Fedorova, N. A. Onuchina, A. A. Levchuk, V. A. Babkin // Khimiya rastitel'nogo syr'ya. 2018. № 4. S. 185–195. DOI: 10.14258/jcprm.2018044245

33. Medvedeva E. N., Babkin V. A., Ostroukhova L. A. Arabinogalaktan listvennitsy – svoystva i perspektivy ispol'zovaniya // Khimiya rastitel'nogo syr'ya. 2003. № 1. S. 27–37.

34. Aktual'noe sostoyanie otrasli kompleksnoy pererabotki listvennitsy / A. V. Safina, R. G. Safin, A. R. Khayrutdinova, K. V. Valeev, L. Sh. Asaeva // Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'. 2018. № 1. S. 83–91.

35. Sposob polucheniya digidrokvertsetina iz otkhodov lesopererabotki i lesozagotovki listvennitsy: pat. № 2814536 Ros. Federatsiya: C07D 311/32 / Kershengol'ts B. M., Shashurin M. M., Zhuravskaya A. N., Zhukov M. A., Ustinova T. V., Koptsev V. V.; zayavitel' i patentoobladateli Kershengol'ts B. M., Shashurin M. M., Zhuravskaya A. N., Zhukov M. A., Ustinova T. V., Koptsev V. V. № 2023108217; zayavl. 03.04.2023, opubl. 29.02.2024.

36. Sposob vydeleniya digidrokvertsetina iz drevesiny listvennitsy i ustanovka dlya ego osushchestvleniya: pat. № 2346941 Ros. Federatsiya: C07D 311/40, C07D 311/32, B01D 11/02 / Kislitsyn A. N., Mal'chikov E. L.; zayavitel' i patentoobladatel' Obshchestvo s ogranichennoy otvetstvennost'yu «Elior» Kislitsyn A. N. № 200711 4401/04; zayavl. 20.02.2009, opubl. 20.02.2009. Byul. № 5. 10 s.

37. Sposob pererabotki drevesiny listvennitsy s vydeleniem digidrokvertsetina i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya: pat. 2211836 C1 Ros. Federatsiya: B01J 8/00, C07D 311/40, C07D 311/32 / Kochetov A. S., Kochetov S. A. № 2002110754/04; zayavl. 28.03.2002, opubl. 20.06.2003.

38. Levdanskiy V. A., Levdanskiy A. V., Kuznetsov B. N. Vydelenie digidrokvertsetina i arabinogalaktana

iz drevesiny listvennitsy vodno-etanol'nymi rastvorami // Khimiya rastitel'nogo syr'ya. 2022. № 4. S. 107–113. DOI: 10.14258/jcprm.20220411959

39. Malkov Yu. A., Medvedev E. N., Babkin V. A. Usovershenstvovannaya tekhnologiya proizvodstva vysokochistogo arabinogalaktana // Khimiya rastitel'nogo syr'ya. 2018. № 2. S. 183–189. DOI: 10.14258/jcprm.2018023435

40. Sostoyanie i perspektivy ispol'zovaniya drevesnoy kory / Z. Pastori, G. A. Gorbacheva, V. G. Sanaev, I. R. Mokhachine, Z. Borchok // Lesnoy vestnik. Forestry Bulletin. 2020. T. 24. № 5. S. 74–88. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-5-74-88

41. Eremenko O. N., Mishura P. V., Ryazanova T. V. Poluchenie i oblagorazhivanie ekstraktov iz kory khvoynykh // Khvoynye boreal'noy zony. 2015. T. 33, № 5–6. S. 291–295.

42. Shudegova M. D., Krasnova Yu. V., Butova S. N. Opredeleniye optimal'nykh parametrov ekstraksii veshchestv iz kory sosny // Universum: tekhnicheskiye nauki. 2022. № 6-6 (99). S. 5–9.

43. Ekstraktsiya kory khvoynykh monoetanolinom / O. N. Yermenko, T. V. Ryazanova, S. R. Loskutov, Ye. I. Dubko // Reshetnevskiy chteniya. 2017. T. 2. S. 132–133.

44. Ionin V. A., Kazachenko A. S., Yelsuf'yev Ye. V. Pererabotka kory kedra sibirskogo (*Pinus sibirica*) s eksperimental'noy i matematicheskoy optimizatsiyey vydeleniya taninov i etanolligninov // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Khimiya. 2021. № 23. S. 54–66. DOI: 10.17223/24135542/23/5

45. Fedorova T. Ye., Babkin V. A. Ekstraktivnyye veshchestva korney *Picea obovata* Ledeb // Khimiya rastitel'nogo syr'ya. 2016. № 4. S. 165–168. DOI: 10.14258/jcprm.2016041401

46. Lignans and lipophilic extractives in Norway spruce knots and heartwood / S. M. Willför, J. Hemming, M. Reunanen, C. Eckerman, B. R. Holmbom // Holzforschung. 2003, a. 57:27–36. DOI: 10.1515/HF.2003.005.

47. Phenolic and lipophilic extractives in Scots pine knots and heartwood / S. M. Willför, J. Hemming, M. Reunanen, B. Holmbom // Holzforschung. 2003, b. 57:359–372. DOI: 10.1515/HF.2003.054

48. Bioactive phenolic substances in industrially important tree species. Part 2: Knots and heartwood of fir species / S. M. Willför, L. Nisula, J. Hemming, M. Reunanen, B. R. Holmbom // Holzforschung. 2004, b. 58:650–659. DOI: 10.1515/HF.2004.119

49. Serebrennikova K. G., Arutyunyan N. A. Vliyaniye lignanov na kachestvo zhizni zhenshchin perimenopauzal'nogo vozrasta // Ginekologiya. 2018. T. 20, № 3. S. 61–65. DOI: 10.26442/2079-5696_2018.3.61-65

50. Smeds A. I., Eklund P. C., Willför S. M. Chemical characterization of high-molar-mass fractions in a Norway spruce knotwood ethanol extract // Phytochemistry. 2016. 130: 207–17. DOI: 10.1016/j.phytochem.2016.05.006

© Сафина А. В., Байгильдеева Е. И., 2026