

ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ЭКСТРАГИРОВАНИЯ БЕТУЛИНА ИЗ ОТХОДОВ БЕРЕСТЫ БЕРЕЗЫ

**А.В. Сафина, Д.Р. Абдуллина, Р.Г. Сафин,
Г.Р. Арсланова, К.В. Валеев**

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» («КНИТУ»), 420015, Российская Федерация, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Карла Маркса, д. 68

alb_saf@mail.ru

Представлены материалы об экспериментальных исследованиях по извлечению бетулина из бересты экстрагированием с помощью методов одноступенчатой экстракции в колбе с обратным холодильником и экстракцией в аппарате Сокслета. Установлен наибольший выход бетулина (до 40 %) при экстрагировании в аппарате Сокслета с периодическим обновлением экстрагента. Построена равновесная зависимость, необходимая для определения рационального числа ступеней контакта фаз при проектировании промышленной установки экстракции непрерывного действия. Предложена схема энерго- и ресурсосберегающей технологии экстрагирования бетулина из отходов древесины березы и разработана опытно-промышленная установка, которую можно использовать для отработки режимов получения бетулина высокой степени чистоты. Показано, что отсутствие потерь органических экстрагентов и вторичное использование флорентинной воды определяет экологическую чистоту производства. Рекомендуется использование рафинированной бересты для производства древесно-полимерных композиционных материалов или в качестве топлива для выработки тепловой энергии, что демонстрирует энерго- и ресурсосберегающий потенциал данной технологии.

Ключевые слова: экстракция, бетулин, береста, береза, толуол

Ссылка для цитирования: Сафина А.В., Абдуллина Д.Р., Сафин Р.Г., Арсланова Г.Р., Валеев К.В. Энерго- и ресурсосберегающая технология экстрагирования бетулина из отходов бересты березы // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 4. С. 99–106. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-4-99-106

Проблема использования древесных отходов в настоящее время приобрела устойчивую актуальность, поскольку при существующих способах переработки древесины теряется значительное количество древесной биомассы [1–3]. Использование коры березы, как правило, находит свое промышленное применение при производстве дегтя, стружечных плит и декоративных изделий из бересты. Значительную часть отходов вывозят в отвалы или сжигают, загрязняя атмосферу, почву и поверхностные воды продуктами неполного сгорания [4–6].

Кора березы — ценный вид сырья, используемый для получения веществ, обладающих широким спектром биологической активности [7]. В последнее время возрос интерес к внешнему слою коры березы — бересте, которая содержит до 50 % таких экстрактивных веществ, как бетулин, дубильные вещества, эфирное масло, гликозиды (бетулозид и гултерин) и алкалоиды. Важное значение имеют пентациклические три-терпеноиды группы лупана, в частности бетулин и его аналоги [8–10].

Содержание бетулина в коре березы варьирует от 10 до 40 %, в зависимости от сорта березы, условий и места ее произрастания, а также возраста дерева [11].

Бетулин — порошок белого или светло-кремового цвета без запаха и вкуса; слабо растворим в воде (менее 5 %), практически не растворим в

органических растворителях и имеет температуру плавления 257...259 °С [12, 13].

Применяется бетулин в основном в медицине, поскольку обладает противовоспалительными, противовирусными и антибактериальными свойствами, имеет антиоксидантную и антимуtagenную активность [14, 15]. Бетулин используется как антисептическое средство для стерилизации ран и порезов с помощью пластырей [16]. Кроме того, исследователями была обнаружена анти-ВИЧ активность бетулиновой кислоты, подавляющей репродукцию вируса [17]. Бетулин вследствие своих физико-химических свойств, биологической и фармакологической активности широко используется в пищевой промышленности, в частности как перспективная природная биологически активная добавка для различных пищевых продуктов [18–21]. Кроме того, бетулин применяется в косметологии, так как обладает сосудостабилизирующим и капилляроукрепляющим свойствами, отбеливающим эффектом и способностью угнетать активность ферментов, разрушающих волокна коллагена и эластина, тем самым омолаживая и сохраняя упругость кожи [22].

Высокое содержание бетулина во внешнем слое коры березы и его разносторонняя биологическая активность стимулируют разработку все более новых способов получения этого ценного продукта.

Большинство современных способов выделения бетулина основано на методах экстракции бересты различными растворителями. В последнее время запатентованы некоторые способы выделения бетулина с помощью толуола.

В работе А.Н. Кислицына [23] рассмотрен способ получения бетулина, который включает в себя измельчение бересты, ее экстракцию органическими растворителями в проточном экстракторе с непрерывным отбором экстракта в куб-испаритель. В кубе-испарителе концентрацию бетулина доводят до уровня, примерно в 2 раза превышающего концентрацию насыщенного раствора экстракта при температуре кипения растворителя. Затем экстракт охлаждают и отделяют бетулин фильтрацией. Пары растворителя из куба-испарителя и экстрактора конденсируют в поверхностном рекуперативном теплообменнике, и полученный конденсат возвращают в рецикл. В качестве растворителя предлагается использовать не смешивающийся с водой органический растворитель — толуол. Недостатками способа являются низкая чистота бетулина (80...85 %) и его недостаточный выход (25,4 %).

Ю.И. Стернин разработал способ получения бетулина [24], предусматривающий измельчение коры, разделение ее на бересту и луб и последующую экстракцию бересты толуолом. Измельченную бересту перемешивают с толуолом в течение 1,5...3,0 ч при температуре 90...110 °С. Полученный раствор фильтруют при температуре 40...50 °С и охлаждают в течение 6...10 ч до температуры 15 °С, но не ниже 5 °С. Выпавшие кристаллы бетулина перемешивают с маточным раствором, фильтруют, промывают чистым толуолом, снова фильтруют и сушат. К недостаткам указанного способа можно отнести сложность технологического процесса, а именно: на этапе перемешивания бересты с толуолом образуется стойкая плохо фильтруемая эмульсия, а получаемый продукт недостаточно чистый (97 %). Кроме того, при температуре фильтрации 40...50 °С бетулин начинает выделяться из толуола в кристаллической форме, забивая трубы.

В.И. Рошин и др. [25] исследовали способ получения бетулина, основанный на извлечении бетулина из бересты смесью растворителей, содержащей петролейный эфир при температуре 70...100 °С с добавлением толуола в количестве от 30 до 75 % общего объема экстрагента. Продолжительность экстракции составляет 5 ч. После экстракции горячий экстракт сливают в кристаллизатор, охлаждают и фильтруют с помощью вакуумного нутч-фильтра. Затем фильтрат подают в выпарной аппарат на упаривание. Растворитель удаляют из осадка подачей пара. К недостаткам этого способа можно отнести

малый выход целевого продукта (16...25 %) и большую продолжительность процесса экстракции (5 ч).

В.С. Климаков и др. [26] разработали способ получения бетулина, заключающийся в измельчении березовой коры, разделении ее на бересту и луб, в дальнейшем экстрагировании бересты толуолом при воздействии микроволнового излучения в течение 20 мин при температуре кипения смеси 100...110 °С или при температуре 150 °С под давлением 0,28 МПа. Недостаточный выход целевого продукта (28...33 % от массы сухой бересты) и необходимость использования сложного оборудования, работающего под высоким давлением, не позволяют выйти на промышленную реализацию данного способа.

Цель работы

Цель работы — проведение экспериментальных исследований экстракции бетулина из березовой бересты толуолом двумя способами — методом одноступенчатой экстракции в колбе с обратным холодильником и в аппарате Сокслета, а также разработка энерго- и ресурсосберегающей технологии и опытно-промышленной установки для определения оптимальных режимных параметров экстрагирования высококачественного бетулина из отходов древесины березы.

Материалы и методы исследования

Исследования процесса экстрагирования бетулина из бересты были проведены в одноступенчатом экстракторе (колбе) с помощью метода кипячения и в аппарате Сокслета.

В первом опыте проводилось извлечение биологически активного вещества кипячением сырья и растворителя в колбе.

Процесс экстракции бетулина осуществляли следующим образом: бересту измельчали на роторно-ножевом измельчителе и методом ситового анализа отбирали частицы размером до 1,5...2,0 мм. В круглодонную колбу, снабженную обратным холодильником, загружали 50 г измельченной бересты и заливали 200 г толуола. Собранный аппарат устанавливали в колбонагреватель и начинали нагрев.

Экстрагирование бетулина из бересты проводили при температуре кипения толуола (110 °С) в течение 4 ч. Каждый час проводили отбор проб экстракта по 10 г для определения концентрации бетулина в растворе. Отобранные пробы фильтровали с помощью фильтровальной бумаги, затем выпаривали в сушильном шкафу до полного испарения толуола. В процессе испарения на стенках и дне бюксов выпадали кристаллы бетулина.

По окончании экстрагирования отработанную бересту (рафинат) извлекали из колбы и отжи-

мали на прессе. К извлеченному рафинату добавляли воду, проводили кипячение, удаляя из него остатки толуола, которые также собирали во флорентине. Экстракт собирали в колбу, туда же заливали небольшое количество воды и полученный раствор упаривали при нагревании на электрической плитке. Образующиеся пары направляли к холодильнику, где они конденсировались. После чего во флорентине выделялись толуол и вода. Полученный дистиллят повторно использовали для экстракции.

Высушенные образцы бетулина представляли собой порошок от бледно-желтого до светло-коричневого оттенков.

Во втором опыте проводили экстракцию бетулина в аппарате Сокслета. В качестве исходного сырья использовали бересту, предварительно измельченную до размеров от 0,5...2,0 мм.

Экстракцию проводили следующим образом: экстрактор Сокслета устанавливали на круглодонную колбу, а сверху размещали обратный холодильник. В колбу заливали 200 г толуола. В резервуар, находящийся в центре аппарата, помещали «гильзу», в которую загружали 2 г экстрагируемого вещества — измельченную бересту. Растворитель нагревали до температуры кипения (110 °С). Пары, проходя через стеклянную трубку в обход «гильзы», попадали в холодильник, где конденсировались и стекали через рафинируемое вещество в резервуар. Резервуар наполнялся каплями экстрагента до тех пор, пока «гильза» не переполнялась и уровень жидкости не достигал нижнего края трубки сифона. После этого растворитель с некоторым содержанием извлеченного вещества сливался обратно в колбу, где снова испарялся. Таким образом, в аппарате Сокслета происходила непрерывная экстракция с использованием небольшого объема экстрагента. Экстрагирование проводили до тех пор, пока текущая концентрация экстракта, сливаемого в испаритель, не становилась прозрачной.

Полученный экстракт переливали в колбу, туда же добавляли 50 г воды и проводили отгонку жидкости аналогично первому опыту. После полного удаления растворителя в колбе оставалось небольшое количество воды, на поверхности которой образовывалась пленка бетулина. Прекращали нагрев, снимали колбу с плиты и давали раствору остыть. Бетулин соскребали со дна и стенок колбы деревянным шпателем и сливали в открытую емкость. Сушку бетулина осуществляли при температуре 40...60 °С в течение 1 ч.

Полученный бетулин — порошок бело-кремового цвета — взвешивали. Для получения более чистого продукта проводили рекристаллизацию бетулина в изопропиловом спирте. В результате был получен порошок белого цвета.

Результаты и обсуждение

В ходе проведенных исследований экстракции бетулина из бересты были получены экспериментальные данные по изменению концентрации бетулина как в бересте, так и в экстракте при двух вариантах экстракции: путем кипячения и в аппарате Сокслета. Обработка полученных данных позволила получить кинетические зависимости (рис. 1).

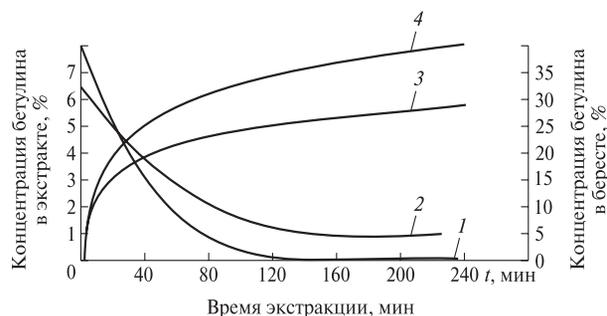


Рис. 1. Кинетическая зависимость концентрации бетулина: 1, 2 — в бересте; 3, 4 — в экстракте; зависимости 1, 4 получены при экстрагировании в аппарате Сокслета, 2, 3 — при одноступенчатом экстрагировании в колбе

Fig. 1. Kinetic dependence of betulin concentration: 1, 2 — in birch bark; 3, 4 — in the extract; dependences 1, 4 were obtained with extraction in a Soxhlet apparatus, 2, 3 — with one-stage extraction in a flask

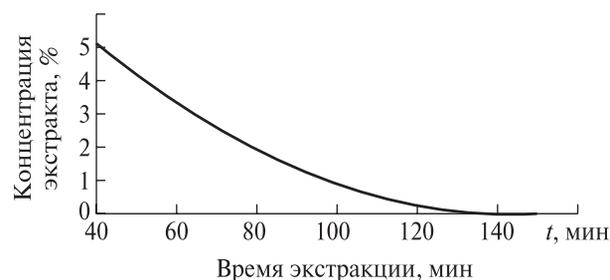


Рис. 2. Кинетическая зависимость концентрации экстракта в аппарате Сокслета по мере извлечения бетулина из древесины

Fig. 2. Kinetic dependence of the extract concentration in the Soxhlet apparatus as betulin is extracted from wood

Как и следовало ожидать, при экстрагировании в аппарате Сокслета с периодическим обновлением экстрагента выход бетулина достигал 40 %, а при одноступенчатой экстракции его выход не превышал 30 %.

В связи с изложенным при аппаратурном оформлении пилотной установки необходимо предусмотреть обновление экстрагента в процессе экстракции.

Представленная на рис. 2 кинетическая зависимость текущей концентрации экстракта в аппарате Сокслета позволила рекомендовать время экстракции для конкретного режима. В данном случае оно составляет 130 мин.

Предлагаемая технология направлена на расширение использования всей биомассы коры березы. При такой схеме переработки можно получить биологически активное вещество — бетулин, а извлеченный из экстрактора рафинат можно использовать как топливо для выработки тепловой энергии, либо для изготовления древесного композиционного материала.

Выводы

В результате проведенных лабораторных исследований и изучения влияния способов экстракции толуолом на выход бетулина из отходов древесины березы получены экспериментальные данные по изменению концентрации бетулина как в бересте, так и в экстракте при двух вариантах экстракции: путем кипячения и в аппарате Сокслета. Установлено, что наибольший выход бетулина (40 %) получен экстракцией в аппарате Сокслета, при этом целесообразно предусмотреть возможность обновления экстрагента. Получены кинетические зависимости концентрации экстракта в аппарате, которые позволили рекомендовать временные параметры процесса и получить равновесную зависимость для последующего определения рационального числа ступеней экстракции. В результате проведенных исследований разработана схема установки для получения бетулина, имеющая энерго- и ресурсосберегающий потенциал. Предлагаемая технология обеспечивает не только высокий выход конечного продукта (бетулина), но и способствует решению утилизации древесных отходов, в частности, коры древесины березы. Извлеченный из экстрактора рафинат можно использовать как топливо для выработки тепловой энергии или как сырье для изготовления древесных композиционных материалов.

Список литературы

- [1] Шегельман И.Р., Кузнецов А.В. Эффективное использование лесных ресурсов. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2008. 88 с.
- [2] Иванов И.С. Развитие инновационных экотехнологий, базирующихся на использовании древесных отходов // Экономика и управление, 2009. № 12. С. 64–69.
- [3] Шегельман И.Р., Скадорва И.В. Комплексное использование лесных ресурсов. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2000. 40 с.
- [4] Борисова Т.В., Левин Б.Д. Переработка растительного сырья побочного лесопользования // Инвестиционный потенциал лесопромышленного комплекса Красноярского края / под ред. С.М. Репяха. Лесосибирск: Изд-во СибГТУ, 2001. С. 129–133.
- [5] Захаренко Г.П. Комплексное использование древесины. Йошкар-Ола: Изд-во МарГТУ, 2006. 104 с.
- [6] Сафина А.В., Арсланова Г.Р., Зиятдинова Д.Ф., Сафин Р.Г., Халитов Р.А., Абдуллина Д.Р. Моделирование процесса экстрагирования биологически активных веществ из осины и ивы // Деревообрабатывающая промышленность, 2020. № 2. С. 56–63.
- [7] Абдуллина Д.Р., Фахрутдинов Р.Р., Каримов И.Р., Гизатуллина Л.И. Экстрагирование бетулина из бересты // Новые информационные технологии как основа эффективного инновационного развития: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Волгоград, 17 января 2021 г. Уфа: Omega Science, 2021. С. 31–33.
- [8] Ведерников Д.Н., Шабанова Н.Ю., Рошин В.И. Химический состав коры березы *Betula pendula* Roth // Химия и технология растительных веществ: тез. докл. IV Всерос. науч. конф., Сыктывкар 25–30 июня 2006 г. Сыктывкар: Изд-во Коми научного центра УрО РАН, 2006. 46 с.
- [9] Абдуллина Д.Р., Фахрутдинов Р.Р., Каримов И.Р., Гизатуллина Л.И. Результаты опытов по экстракции активного вещества из древесной биомассы // Новые информационные технологии как основа эффективного инновационного развития: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Волгоград, 17 января 2021 г. Уфа: Omega Science, 2021. С. 135–137.
- [10] Сафина А.В., Сайфутдинов Д.М., Хайрутдинова А.Р., Валеев К.В. Комплексная переработка биомассы березы // Деревообрабатывающая промышленность, 2017. № 4. С. 11–17.
- [11] Сайфутдинов Д.М., Хайрутдинова А.Р., Валеев К.В. Актуальное состояние отрасли получения биологически активных веществ из биомассы березы // Традиционная и инновационная наука: история, современное состояние, перспективы: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Пермь, 10 января 2018 г. Уфа: Аэтерна, 2018. С. 111–115.
- [12] Денежкина А.А., Газетдинов Р.Р. определение содержания бетулина в коре берез рода *betula* // Инновационная наука, 2020. № 3. С. 8–10.
- [13] Сафина А.В., Сайфутдинов Д.М., Сафин Р.Г., Хайрутдинова А.Р., Асаева Л.Ш., Шайхутдинова Д.А., Валеев К.В. Обзор отечественных исследований в области получения биологически активных веществ из биомассы березы // Деревообрабатывающая промышленность, 2018. № 1. С. 56–64.
- [14] Карачурина Л.Т., Сапожникова Т.А., Зарудий Ф.С., Флехтер О.Б. Исследование некоторых фармакологических свойств бисгемифталата бетулина // Экспериментальная и клиническая фармакология, 2003. Т. 66. № 4. С. 56–59.
- [15] Кобышева А.В., Ерошенко Д.В., Гришко В.В. Лупановые производные бетулина как перспективные противоопухолевые агенты // Симбиоз-Россия 2019: материалы XI Всерос. конгр. молодых ученых-биологов с междунар. участием, Пермь, 13–15 мая 2019 г. Пермь: Изд-во ПГНИУ, 2019. С. 259–260.
- [16] Сергеев Д.В. Клинико-экспериментальная оценка противовоспалительных свойств бетулина // Клиническая патофизиология, 2013. № 1–3. С. 32–44.
- [17] Павлова О.О. Возможности применения бетулина у больных хроническим гепатитом С // Вятский медицинский вестник, 2006. № 2. 53 с.
- [18] Кролевец А.А., Мячикова Н.И., Гребенник М.М., Андреев В.С. Применение наноструктурированного бетулина при производстве кисломолочных функциональных продуктов питания // Товаровед продовольственных товаров, 2017. № 9. С. 35–41.
- [19] Исаева А.Ю., Гребенников А.В. Использование бетулина в технологии пищевых продуктов // Успехи современного естествознания, 2012. № 6. 133 с.
- [20] Кузнецова С.А., Васильева Н.Ю., Калачева Г.С., Титова Н.М., Редькина Е.С., Скворцова Г.П. Получение ди-ацетата бетулина из бересты коры березы и изучение его антиоксидантной активности // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Химия, 2008. Т. 1. № 2. С. 151–165.

- [21] Заворохина Н.В., Панкратьева Н.А., Бюлер А.В. Влияние наносуспензии бетулина на качество и длительность хранения пшеничного хлеба // Современная наука и инновации, 2019. № 4. С. 137–144.
- [22] Сергеев Д.В., Прошин С.Н., Дьячук Г.И. Ранозаживляющие и противоожоговые свойства бетулиносодержащих мазей // Медико-биологические и социально-биологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях, 2011. № 2. С. 76–79.
- [23] Кислицын А.Н., Клабукова И.Н., Трофимов А.Н. Способ химической переработки бересты: Пат. 2306318 РФ, заявитель и патентообладатель ООО «Береста-ЭкоДом». Бюл. № 26. 8 с.
- [24] Стернин Ю.И. Способ получения бетулина: Пат. 2192879 РФ, заявитель и патентообладатель ЗАО «СНС-фарма». Бюл. № 32. 3 с.
- [25] Рошин В.И., Шабанова Н.Ю., Ведерников Д.Н. Способ получения бетулина: Пат. 2184120 РФ, заявитель и патентообладатель Рошин В.И. Бюл. № 18. 4 с.
- [26] Климаков В.С., Зорин А.В., Вершинин С.С., Зорин В.В. Способ получения бетулина (варианты): Пат. 2523545 РФ, заявитель и патентообладатель Уфимский государственный нефтяной технический университет. Бюл. № 20. 3 с.

Сведения об авторах

Сафина Альбина Валерьевна — канд. техн. наук, доцент кафедры «Архитектура и дизайн изделий из древесины» ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», alb_saf@mail.ru

Абдуллина Диляра Рамилевна — магистрант, учебный мастер кафедры «Переработка древесных материалов» ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», dilya.panda@yandex.ru

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

Арсланова Гульшат Ринатовна — аспирант, ассистент кафедры «Переработка древесных материалов» ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», 94arslanovagulshat@mail.ru

Валеев Кирилл Валерьевич — аспирант, ассистент кафедры «Переработка древесных материалов» ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», kirval116@mail.ru

Поступила в редакцию 27.04.2021.

Принята к публикации 03.06.2021.

ENERGY-SAVING TECHNOLOGY FOR BETULIN EXTRACTION FROM BIRCH BARK WASTE

A.V. Safina, D.R. Abdullina, R.G. Safin, G.R. Arslanova, K. V. Valeev

Kazan National Research Technological University («KNRTU»), 68, Karl Marx st., 420015, Kazan, Republic of Tatarstan, Russia

alb_saf@mail.ru

The paper presents experimental studies on the extraction of betulin from birch bark by one-stage extraction method in a flask with a reflux condenser and extraction in a Soxhlet apparatus. It is found that the highest betulin yield (up to 40 %) is achieved by extraction in a Soxhlet apparatus with periodic renewal of the extractant. The kinetic dependences obtained in the course of the research allows constructing an equilibrium dependence necessary to determine the rational number of phase contact stages when designing an industrial continuous extraction plant. On the basis of the studies carried out, a scheme of energy and resource-saving technology for extracting betulin from birch wood waste is proposed and a pilot plant is developed, which can be used to work out the modes of obtaining high-purity betulin. The absence of losses of organic extractants and the reuse of Florentine water determines the ecological purity of production. Refined birch bark can be used for the production of wood-polymer composite materials or as a fuel for generating thermal energy, which reflects the energy and resource-saving potential of this technology.

Keywords: extraction, betulin, birch bark, birch, toluene

Suggested citation: Safina A.V., Abdullina D.R., Safin R.G., Arslanova G.R., Valeev K.V. *Energo- i resursosberegayushchaya tekhnologiya ekstragirovaniya betulina iz otkhodov beresty breezy* [Energy-saving technology for betulin extraction from birch bark waste]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 4, pp. 99–106.

DOI: 10.18698/2542-1468-2021-4-99-106

References

- [1] Shegel'man I.R., Kuznecov A.V. *Effektivnoe ispol'zovanie lesnykh resursov* [Efficient use of forest resources]. Petrozavodsk: Publishing house of Petrozavodsk state University, 2008, 88 p.
- [2] Ivanov I.S. *Razvitie innovatsionnykh ekotekhnologiy, baziruyushchikhsya na ispol'zovanii drevesnykh otkhodov* [Development of innovative eco-technologies based on the use of wood waste]. *Ekonomika i upravlenie* [Economics and Management], 2009, no. 12, pp. 64–69.
- [3] Shegel'man I.R., Skadorva I.V. *Kompleksnoe ispol'zovanie lesnykh resursov* [Integrated use of forest resources]. Petrozavodsk: Publishing house of Petrozavodsk state University, 2000, 40 p.
- [4] Borisova T.V., Levin B.D. *Pererabotka rastitel'nogo syr'ya pobochnogo lesopol'zovaniya* [Processing of vegetable raw materials of secondary forest use]. Investitsionnyy potencial lesopromyshlennogo kompleksa Krasnoyarskogo kraya [Investment potential of the forestry complex of the Krasnoyarsk Territory]. Lesosibirsk: Publishing house of Siberian State Technological University, 2001, pp. 129–133.
- [5] Zaharenko G.P. *Kompleksnoe ispol'zovanie drevesiny* [Integrated use of wood]. Yoshkar-Ola: Publishing house of Volga State University of Technology, 2006, 104 p.
- [6] Safina A.V., Arslanova G.R., Ziatdinova D.F., Safin R.G., Halitov R.A., Abdullina D.R. *Modelirovanie processa ekstragirovaniya biologicheskoi aktivnykh veshchestv iz osiny i ivy* [Modeling the process of extracting biologically active substances from aspen and willow]. *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'* [Woodworking industry], 2020, no. 2, pp. 56–63.
- [7] Abdullina D.R., Fahrutdinov R.R., Karimov I.R., Gizatullina L.I. *Ekstragirovanie betulina iz berezy* [Extraction of betulin from birch bark]. *Novye informacionnye tekhnologii kak osnova effektivnogo innovatsionnogo razvitiya: sbornik statey mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [New information technologies as the basis for effective innovative development: collection of articles of the International Scientific and Practical Conference], Ufa: Omega Science, 2021, pp. 31–33.
- [8] Vedernikov D.N., Shabanova N.Yu., Roshchin V.I. *Himicheskiy sostav kory berezy Betula pendula Roth.* [Chemical composition of birch bark *Betula pendula* Roth.]. *Himiya i tekhnologiya rastitel'nykh veshchestv: Tezisy dokladov IV vserossiyskoy nauchnoy konferentsii* [Chemistry and Technology of Plant Substances: Abstracts of the IV All-Russian Scientific Conference], Syktyvkar: Izd-vo Komi nauchnogo tsentra UrO RAN, 2006, 46 p.
- [9] Abdullina D.R., Fahrutdinov R.R., Karimov I.R., Gizatullina L.I. *Rezultaty opytov po ekstrakcii aktivnogo veshchestva iz drevesnoy biomassy* [Results of experiments on the extraction of active substance from woody biomass]. *Novye informacionnye tekhnologii kak osnova effektivnogo innovatsionnogo razvitiya: sbornik statey mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [New information technologies as the basis for effective innovative development: collection of articles of the International Scientific and Practical Conference], Ufa: Omega Science, 2021, pp. 135–137.
- [10] Safina A.V., Sayfutdinov D.M., Khayrutdinova A.R., Valeev K.V. *Kompleksnaya pererabotka biomassy berezy* [Complex processing of birch biomass]. *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'* [Woodworking industry], 2017, no. 4, pp. 11–17.
- [11] Sayfutdinov D.M., Khayrutdinova A.R., Valeev K.V. *Aktual'noe sostoyanie otrasli polucheniya biologicheskoi aktivnykh veshchestv iz biomassy berezy* [Current state of the industry for obtaining biologically active substances from birch biomass]. *Traditsionnaya i innovatsionnaya nauka: istoriya, sovremennoe sostoyanie, perspektivy: sbornik statey mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Traditional and innovative science: history, current state, prospects: collection of articles of the International Scientific and Practical Conference]. Ufa: Aeterna, 2018, pp. 111–115.
- [12] Denezhkina A.A., Gazetdinov R.R. *Opredelenie soderzhaniya betulina v kore berez roda betula* [Determination of betulin content in bark of birch trees of the genus *betula*]. *Innovatsionnaya nauka* [Innovative Science], 2020, no. 3, pp. 8–10.
- [13] Safina A.V., Sayfutdinov D.M., Safin R.G., Khayrutdinova A.R., Asaeva L.Sh., Shaykhutdinova D.A., Valeev K.V. *Obzor otechestvennykh issledovaniy v oblasti polucheniya biologicheskoi aktivnykh veshchestv iz biomassy berezy* [Review of domestic research in the field of obtaining biologically active substances from birch biomass]. *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'* [Woodworking industry], 2018, no. 1, pp. 56–64.
- [14] Karachurina L.T., Sapozhnikova T.A., Zarudiy F.S., Flekhter O.B. *Issledovanie nekotorykh farmakologicheskikh svoystv bisgemifalata betulina* [Investigation of some pharmacological properties of betulin bishemiphthalate]. *Ekspirimental'naya i klinicheskaya farmakologiya* [Experimental and Clinical Pharmacology], 2003, no. 4, pp. 56–59.
- [15] Konyshcheva A.V., Eroshenko D.V., Grishko V.V. *Lupanovyie proizvodnyie betulina kak perspektivnyie protivoopukhlevyye agenty* [Lupane derivatives of betulin as promising antineoplastic agents]. *Simbioz-Rossiya 2019: mat. XI Vseros. kongr. molodykh uchenykh-biologov s mezhd. uchastiem* [Symbiosis-Russia 2019: Materials of the XI All-Russian Congress of Young Biological Scientists with International Participation]. Perm': PGNIU, 2019, pp. 259–260.
- [16] Sergeev D.V. *Kliniko-eksperimental'naya otsenka protivovospalitel'nykh svoystv betulina* [Clinical and experimental evaluation of the anti-inflammatory properties of betulin]. *Klinicheskaya patofiziologiya* [Clinical pathophysiology], 2013, no. 1–3, pp. 32–44.
- [17] Pavlova O.O. *Vozmozhnosti primeneniya betulina u bol'nykh khronicheskim gepatitom C* [Possibilities of using betulin in patients with chronic hepatitis C]. *Vyatkiy meditsinskiy vestnik* [Vyatka Medical Bulletin], 2006, no. 2, 53 p.
- [18] Krolevets A.A., Myachikova N.I., Grebennik M.M., Andreenkov V.S. *Primenenie nanostrukturirovannogo betulina pri proizvodstve kisломolochnykh funktsional'nykh produktov pitaniya* [Application of nanostructured betulin in the production of fermented milk functional foods]. *Tovaroved prodovol'stvennykh tovarov* [Food commodity specialist], 2017, no. 9, pp. 35–41.
- [19] Isaeva A.Yu., Grebenshchikov A.V. *Ispol'zovanie betulina v tekhnologii pishchevykh produktov* [The use of betulin in food technology]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Advances in modern natural science], 2012, no. 6, 133 p.
- [20] Kuznetsova S.A., Vasil'eva N.Yu., Kalacheva G.S., Titova N.M., Red'kina E.S., Skvortsova G.P. *Poluchenie diatsetata betulina iz berezy kory berezy i izuchenie ego antioksidantnoy aktivnosti* [Obtaining betulin diacetate from birch bark of birch bark and studying its antioxidant activity]. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta* [Journal of the Siberian Federal University], 2008, t. 1, no. 2, pp. 151–165.
- [21] Zavorokhina N.V., Pankrat'eva N.A., Byuler A.V. *Vliyaniye nanosuspensii betulina na kachestvo i dlitel'nost' khraneniya pshenichnogo khleba* [Influence of betulin nanosuspension on the quality and duration of storage of wheat bread]. *Sovremennaya nauka i innovatsii* [Modern science and innovation], 2019, no. 4, pp. 137–144.

- [22] Sergeev D.V., Proshin S.N., D'yachuk G.I. *Ranozazhivlyayushchie i protivoozhogovye svoystva betulinosoderzhashchikh mazy* [Wound healing and anti-burn properties of betulin-containing ointments]. *Mediko-biologicheskie i sotsial'no-biologicheskie problemy bezopasnosti v chrezvychaynykh situatsiyakh* [Biomedical and socio-biological problems of safety in emergency situations], 2011, no 2, pp. 76–79.
- [23] Kislitsyn A.N., Klabukova I.N., Trofimov A.N. *Sposob khimicheskoy pererabotki beresty* [Method for chemical processing of birch bark]. Patent RF, no. 2306318, 2007. Bul. 26, 8 p.
- [24] Sternin Yu.I. *Sposob polucheniya betulina* [Method of producing betulin]. Patent RF, no. 2192879, 2002. Bul. 32, 3 p.
- [25] Roshchin V.I., Shabanova N.Yu., Vedernikov D.N. *Sposob polucheniya betulina* [Method of producing betulin]. Patent RF, no. 2184120, 2002. Bul 18, 4 p.
- [26] Klimakov V.S., Zorin A.V., Vershinin S.S., Zorin V.V. *Sposob polucheniya betulina (varianty)* [Method of producing botulin: options]. Patent RF, no. 2523545, 2014. Bul. 20, 3 p.

Authors' information

Safina Albina Valerievna — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Department of Architecture and Design of Wood Products of the Kazan National Research Technological University, alb_saf@mail.ru

Abdullina Dilyara Ramilevna — Master's student, Educational Master of the Department of Processing of wood materials of the Kazan National Research Technological University, dilya.panda@yandex.ru

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

Arslanova Gulshat Rinatovna — Assistant of the Department of Processing of wood materials of the Kazan National Research Technological University, 94arslanovagulshat@mail.ru

Valeev Kirill Valerievich — Ph.D. Student, assistant of the Department of Processing of wood materials of the Kazan National Research Technological University, kirval116@mail.ru

Received 27.04.2021.

Accepted for publication 03.06.2021.