УДК 678.031:54-112 DOI: 10.18324/2077-5415-2026-3-154-160

# Исследование процесса извлечения бетулина из бересты берёзы

К.В. Валеев[a], Р.Г. Сафин[b], Л.Р. Фахрутдинова[c]

Казанский национальный исследовательский технологический университет, ул. Карла Маркса, 68, Казань, Республика Татарстан
[a] safin@kstu.ru, [b] kirval116@mail.ru, [c] lnazipova@internet.ru.
[a] https://orcid.org/0000-0002-5790-4532, [b] https://orcid.org/0000-0002-5537-9332,
[c] https://orcid.org/0009-0003-9918-0397.
Статья поступила 18.05.2026, принята 10.09.2026.

*В статье представлен комплексный анализ современного состояния процесса извлечения бетулина из бересты берёзы. Проведённое исследование показало актуальность и экономическую целесообразность внедрения на малых предприятиях лесопромышленного комплекса ресурсоэффективной технологии экстракции с применением неполярного растворителя. Данная методика позволяет достичь максимального извлечения ценного биологически активного вещества – бетулина, при соблюдении экологических стандартов производства. Установлено, что потребность в бетулине на фармацевтическом, косметическом и пищевом рынках демонстрирует устойчивый рост. Выявлено, что ежегодное использование бетулина увеличивается со среднегодовым темпом роста 7,5 %, что напрямую обусловливает его высокую рыночную стоимость. Так, цена 1 кг очищенного бетулина по состоянию на 2025 год достигла более 23 тысяч рублей. В работе детально описана физическая сущность процесса экстракции, приведена разработанная технологическая схема и методика проведения экспериментальных исследований. В результате оптимизации ключевых параметров установлено, что максимальный выход вещества достигается при определённых технологических параметрах: температуре 110 °С, продолжительности процесса 50 минут, размера частиц – $2{,}0^{+0{,}25}_{-0{,}5}$ мм; гидромодуле процесса – 1:10. Полученные зависимости выхода бетулина от температуры, времени, фракционного состава сырья и гидромодуля представляют значительную практическую ценность для проектирования и эксплуатации малых производственных мощностей по производству бетулина. Выход технического бетулина составил более 40 % от массы абсолютно сухой бересты. После очистки бетулина от примесей выход составил 32 % от массы абсолютно сухой бересты с чистотой 98 %.*

**Ключевые слова:** извлечение; береста; бетулин; берёза; биологически активные вещества; экстракция.

# Research on the process of extracting betulin from birch bark

K.V. Valeev[a], R.G. Safin[b], L.R. Fakhrutdinova[c]

Kazan National Research Technological University; 68, Karl Marx St., Kazan, Republic of Tatarstan
[a] safin@kstu.ru, [b] kirval116@mail.ru, [c] lnazipova@internet.ru.
[a] https://orcid.org/0000-0002-5790-4532, [b] https://orcid.org/0000-0002-5537-9332,
[c] https://orcid.org/0009-0003-9918-0397.
Received 18.05.2026, accepted 10.09.2026.

*This article presents a comprehensive analysis of the current state of the process for extracting betulin from birch bark. The study demonstrates the relevance and economic feasibility of implementing a resource-efficient extraction technology using a non-polar solvent in small forest industry enterprises. This method enables maximum extraction of the valuable biologically active substance betulin, while adhering to environmental production standards. Demand for betulin in the pharmaceutical, cosmetic, and food markets has been shown to be steadily growing. It is found that annual betulin use increases at an average annual growth rate of 7,5 %, directly contributing to its high market value. The price of 1 kg of purified betulin exceeded 23,000 rubles in 2025. The paper describes in detail the physical nature of the extraction process, presents the developed process flow diagram, and presents the experimental research methodology. Optimization of key parameters reveales that the maximum yield is achieved under specific process conditions: a temperature of 110 °C, a process duration of 50 minutes, a particle size of –2,0_(–0,5)^(+0,25) mm, and a process water-solid ratio of 1:10. The resulting dependences of betulin yield on temperature, time, feedstock fractional composition, and water-solid ratio are of significant practical value for the design and operation of small-scale production facilities. The yield of technical betulin amounts to over 40 % of the mass of absolutely dry birch bark. After purification of betulin from impurities, the yield amounts to 32 % of the mass of absolutely dry birch bark, with a purity of 98 %.*

**Keywords:** extraction; birch bark; betulin; birch; biologically active substances; extraction.

**Введение.** Берёза (*Betula*) – это белоствольный символ России, занимающий особое место в экосистемах и культурном ландшафте Республики Татарстан [1]. На территории республики преобладают два основных вида: берёза повислая (*Betula pendula*) и берёза пушистая (*Betula pubescens*). Эти виды широко распространены во всех лесорастительных зонах региона, демонстрируя высокую адаптивность к различным почвенным и климатическим условиям. Берёза образует берёзовые рощи, входящие в состав смешанных лесов [2].

Умеренно-континентальный климат Татарстана с достаточным уровнем увлажнения является благоприятным для роста берёзы. Она играет ключевую роль в восстановлении лесов после рубок и пожаров, подготавливая почву для более требовательных пород, таких как дуб и ель. Площади, занятые березняками в республике, значительны, что создаёт прочную сырьевую базу для лесной промышленности [3, 4].

Лесопромышленный комплекс Татарстана исторически и экономически ориентирован на переработку древесины, где береза занимает одно из ключевых мест. Традиционная переработка начинается с заготовки древесины и её распиловки на лесопильных рамах, производя пиломатериалы, широко используемые в строительстве, мебельной промышленности и для производства различных столярных изделий [5, 6].

Однако наиболее значимым и технологически развитым направлением является глубокая химико-механическая переработка древесины берёзы. Татарстан, благодаря деревообрабатывающим предприятиям, входит в число важных производителей фанеры из древесины берёзы.

Особое внимание при комплексной переработке отводится бересте. Долгое время она рассматривалась преимущественно как отход лесопиления и фанерного производства, однако это сложное многослойное натуральное сырье с уникальными свойствами [7, 8, 9].

Современные исследования показали, что уникальные свойства бересты берёзы связаны с её тонкими, газонаполненными слоями, пропитанными гидрофобными (водоотталкивающими) веществами. Это наделяет её исключительной влагостойкостью, стойкостью к гниению и воздействию грибков, а также низкой теплопроводностью. Благодаря этому береста является ценным сырьем для получения целого ряда продуктов: от традиционных поделок и сувениров до современных биоактивных добавок. Однако главная ценность бересты заключается в её химическом составе, а именно – в высоком содержании тритерпеноида бетулина [10, 11, 12].

Бетулин (*Betulinum*) – это органическое кристаллическое вещество белого цвета, которое обуславливает характерную белизну берёзовой коры. Его содержание в бересте может достигать более 30 %, что делает березу промышленно значимым вторичным сырьем. Бетулин является пентациклическим тритерпеном, обладающим широким спектром биологической активности, открывающим колоссальные перспективы в фармакологии, медицине и косметологии [13].

Бетулин обладает рядом ключевых свойств: противовоспалительным и ранозаживляющим, способствующими регенерации тканей и подавлению воспалительных процессов; антиоксидантным, защищающим клетки от окислительного стресса; гепатопротекторным, оказывающим защитные действия на клетки печени; противоопухолевым, способствующим гибели раковых клеток; антивирусным и антимикробным средством, проявляющим активность против ряда вирусов (включая ВИЧ) и патогенных микроорганизмов [14, 15, 16].

Благодаря своим свойствам, бетулин нашёл широкое применение для изготовления медицинских препаратов в фармацевтической промышленности, биологически активных добавок в пищевой промышленности, а также в качестве ключевого ингредиента в косметических средствах в качестве природного консерванта и активных компонентов, улучшающих состояние кожи [17, 18].

Таким образом, глубокая переработка берёзы, ключевым аспектом которой является извлечение бетулина, открывает путь для развития лесопромышленного комплекса Республики Татарстан.

**Обзор исследований по извлечению бетулина из бересты берёзы.** В последнее время методы извлечения бетулина значительно усовершенствовались. Качество экстракта оценивают с помощью современных методов, тонкослойной и высокоэффективной жидкостной хроматографией [19].

Н.В. Гончарова и др. предложили способ экстракции бетулина из бересты повислой [20]. Способ включает измельчение бересты, экстракцию бетулина толуолом, гексаном и этанолом, при температуре 60–80 °С в течение 4–6 часов с последующей фильтрацией и перекристаллизацией полученного экстракта. Выход бетулина составил 20-25 % от массы абсолютно сухой бересты.

А.А. Кобыляков и соавторы разработали способ предварительной обработки бересты для интенсификации процесса экстракции [21]. Способ включает механическое измельчение бересты до частиц размером 0,1–0,5 мм или её гидротермическую обработку при давлении 0,2–0,5 МПа в течение 20–40 минут с последующей экстракцией. Данная подготовка сырья позволила повысить выход бетулина на 15–25 % по сравнению с экстракцией неподготовленного сырья.

Е.В. Плотникова и Н.С. Калугина предложили интенсифицировать процесс экстракции бетулина с помощью ультразвука [22]. Способ включает загрузку смеси бересты и экстрагента – этанола в ультразвуковую установку с частотой 20–40 кГц и мощностью 100–500 Вт на 30–60 минут при температуре не выше 50 °С с последующей фильтрацией. Выход бетулина составил 25–30 %, что на 10–20 % выше, чем при традиционной экстракции.

В работе А.В. Сафонова и соавторов проведено исследование применения СВЧ-установки для экстракции тритерпеноидов из бересты [23]. Способ включает обработку смеси сырья и растворителя в СВЧ-установке мощностью 300–800 Вт в течение 5–15 минут. После обработки экстракт сепарируют от бересты и выпаривают до образования сухого остатка. Выход бетулина составил 28–32 % от массы сухой бересты.

Авторами А.Е. Егоровой и И.А. Тарасовым описана возможность экстракции бетулина субкритической водой [24]. Способ включает обработку измельчённой бересты водой в высокотемпературном реакторе при температуре 200–250 °С и давлении 4–6 МПа в течение 30–45 минут с последующей сепарацией водной вытяжки и осаждением целевого продукта. Выход бетулина составил 20–25 %.

В.В. Ананьевым и др. был разработан способ сверхкритической флюидной экстракции бетулина диоксидом углерода [25]. Способ включает загрузку бересты в экстрактор, подачу $CO_2$ под давлением 25–35 МПа при температуре 40–60 °С. Для повышения выхода в систему добавляют 5–10 % этанола в качестве модификатора. Экстракция длится 1–2 часа. Выход высокоочищен-

ного бетулина с чистотой 95–98 % составил 18–22 %, а с применением модификатора – до 25–28 %.

О.И. Лебедева с соавторами предложили комбинированный способ извлечения бетулина [26]. Способ включает предварительную щелочную обработку измельчённой бересты 0,1–0,5 % водным раствором гидроксида натрия для гидролиза эфиров в течение 1 часа с последующей нейтрализацией и ультразвуковую экстракцию бетулина этанолом в течение 45 минут. Совмещение методов позволило достичь выхода бетулина до 90 % от его содержания в сырье.

А.С. Петров с соавторами провели сравнительный анализ растворителей для экстракции бетулина [27]. Способ основан на экстракции измельчённой бересты различными индивидуальными растворителями (толуол, гексан, этанол) и их бинарными смесями в соотношении 1:1 при температуре 70 °С в течение 4 часов. Наибольший выход (25 % при чистоте 85 %) показала смесь гексан-этанол.

К.Л. Тимофеев разработал способ очистки и модификации технического бетулина [28]. Способ включает очистку сырого экстракта путём перекристаллизации из n-гексана с последующим синтезом бетулиновой кислоты путём гидролиза или окисления. Выход высокоочищенного бетулина с чистотой 95 % на стадии перекристаллизации составил 85–90 % от массы сырого экстракта.

Анализ работ показал, что наиболее эффективным способом извлечения бетулина является способ с использованием УЗ-установки (выход 25–30 %), но он не решает проблему чистоты продукта. Наиболее технологически эффективным способом является сверхкритическая флюидная экстракция диоксидом углерода, выход бетулина составил до 28 % и чистотой до 98 %, однако данный способ является экономически неэффективным, так как на этапе внедрения требует огромных капиталовложений в оборудование, а срок окупаемости может достигать более 20 лет. Оптимальным способом для промышленного внедрения является традиционная экстракция органическими растворителями, которая считается широкоуниверсальной.

На кафедре переработки древесных материалов в ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» исследован процесс экстракции бетулина из бересты, произрастающей в Республике Татарстан.

Цель данной работы – определение рациональных режимных параметров процесса извлечения бетулина из бересты берёзы.

Задачей исследования является определение зависимостей выхода бетулина из бересты березы от продолжительности процесса и температуры, вида экстрагента, гидромодуля и степени измельчения частиц.

**Методика исследования.** В качестве сырья для исследования процессов экстракции использовалась береста берёзы, собранная в Республике Татарстан в период апрель–май 2025 года. Хранение сырья осуществлялось в герметичной ёмкости не более 10 суток. Фракционный состав сырья напрямую влияет на скорость извлечения и растворимость целевых веществ. Для определения выхода бетулина в зависимости от фракционного состава сырья, береста была измельчена в роторно-ножевом измельчителе до размеров 0,5–3,0 мм и отсортирована на вибро-ситовой установке Retsch AS 200 control. Каждые 10 минут отбиралась проба массой 10±1 г., которая упаривалась и взвешивалась для определения содержания экстрактивных веществ. Максимальный выход биологически активных веществ, экологичность процесса и высокое качество продукта достигаются комплексной оптимизацией параметров экстракции, включая подбор растворителя, температуры, фракционного состава сырья и гидромодуля.

Параметры процесса экстракции варьировались в следующих пределах: температура процесса извлечения бетулина от 60 до 110 °С; время экстракции от 10 до 100 мин; виды растворителей: этиловый спирт 95 %, изопропиловый спирт, ацетон, толуол; гидромодуль при извлечении бетулина 1:4, 1:6, 1:8, 1:10, 1:15, 1:20. При проведении исследований, каждые 10 минут отбиралась проба массой 10±1 г., которая упаривалась и взвешивалась для определения содержания экстрактивных веществ.

Представленная на рис. 1 установка является комплексной и включает в себя несколько функциональных модулей, что позволяет проводить не только саму экстракцию, но и последующие стадии очистки бетулина.

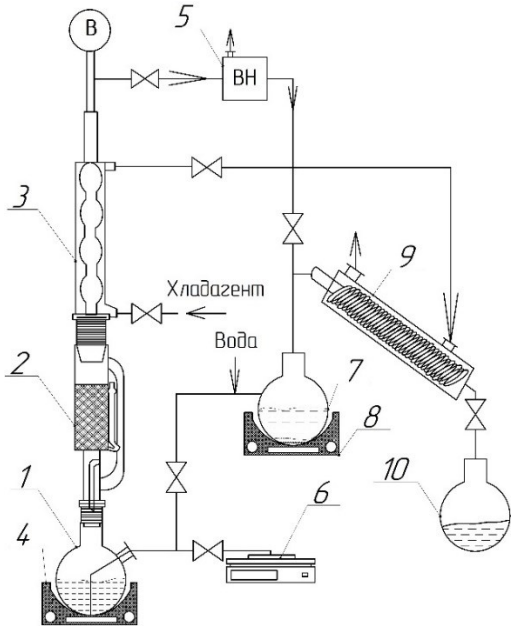


**Рис. 1.** Принципиальная схема лабораторной установки для комплексного исследования процесса извлечения бетулина из бересты березы: 1 – круглодонная колба (500 мл); 2 – резервуар; 3 – обратный холодильник; 4, 8 – колбонагреватель; 5 – вакуумный насос; 6 – весы GBL 2200; 7, 10 – буферная ёмкость; 9 – противоточный холодильник

Установка для извлечения бетулина включает в себя три основных узла. В нижней части находится круглодонная колба *1* объёмом 500 мл, заполненная экстрагентом. На ней установлен резервуар экстрактор Сокслета с резервуаром *2* с обратным холодильником *3*, обеспечивающим конденсацию паров растворителя. В резервуар *2* загружают подготовленную бересту, помещённую в бумажный картридж.

Колба *1*, заполненная экстрагентом, нагревается в колбонагревателе *4*. Пары экстрагента из колбы *1* под-

нимаются по паропроводу в холодильник *3*, где конденсируется. Сконденсировавшийся экстрагент каплями поступает в резервуар *2* с берестой, постепенно заполняя его. Когда уровень экстрагента достигает верхнего изгиба сифонной трубки резервуара, экстракт, обогащённый бетулином, переливается обратно в колбу *1*. При этом малолетучий бетулин остаётся в колбе, а чистый эктсрагент снова испаряется. Цикл повторяется многократно в течение нескольких часов, что обеспечивает практически полное извлечение целевого вещества из сырья.

Для концентрирования экстракта используется колбонагреватель *7*, работающий в режиме обычного выпаривания. Для ускорения процесса удаления летучего растворителя и снижения температуры кипения система подключается к вакуумному насосу *5*. Создание вакуума позволяет отогнать основную часть экстрагента при щадящей температуре.

Концентрированный экстракт, полученный после отгонки экстрагента, представляет собой смесь бетулина со смолистыми веществами и другими липофильными компонентами бересты. Для очистки бетулина проводится его перекристаллизация. Концентрат переносят в ёмкость для осаждения *7*. Для этого его растворяют в небольшом количестве горячего полярного растворителя – этаноле, а затем медленно добавляют воду. При этом бетулин, имея ограниченную растворимость в новой смеси, выпадает в осадок в виде кристаллов, в то время как часть примесей остаётся в растворе. Осадок отфильтровывают, промывают и высушивают.

Пары растворителя, отогнанные на стадии концентрирования, направляются в противоточный холодильник *9*, где полностью конденсируются. Чистый конденсат собирается в специальной буферной ёмкости *10*.

Отбор проб и сушка экстракта для анализа проводились каждые 10 минут, взвешивание сухого остатка осуществляется с помощью аналитических весов GBL 2200 6. Это позволяет контролировать кинетику экстракции, определять выход продукта на различных стадиях и оценивать эффективность процесса.

Для определения степени чистоты выделенного бетулина применялся комплекс физико-химических методов анализа.

Для определения влияния гидромодуля на выход бетулина была разработана установка, представленная на рис. 2.

Для определения эффективного гидромодуля была проведена серия экспериментов при различных соотношениях «береста:экстрагент». В колбу *1* загружалась порция измельчённой бересты массой 20±1 г., туда же заливался экстрагент. Объём экстрагента варьировался в диапазоне 80÷400 г., значение гидромодуля варьировалось в пределах 1:4÷1:20. На колбу *1* устанавливался обратный холодильник *2*. Собранную конструкцию устанавливали на колбонагреватель *5* и начинали нагрев. Пары экстрагента поступали в обратный холодильник 2 и конденсировались обратно в колбу *1*. Каждые 10 минут проводился отбор проб через пробоотборник *3*. Пробы высушивались и взвешивались на весах GBL 2200 4. Отбор проб производился до тех пор, пока разница между результатами двух взвешиваний была не более 0,1 % массы.

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

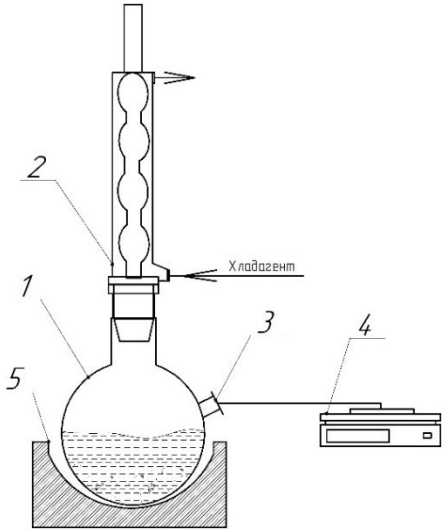


**Рис. 2.** Принципиальная схема лабораторной установки для исследования влияния гидромодуля на процесс извлечения бетулина: 1 – круглодонная колба (1000 мл); 2 – обратный холодильник; 3 – пробоотборник; 4 – весы GBL 2200; 5 – колбонагреватель

**Результаты исследований и их обсуждение.** На рис. 3 представлены результаты, дающие наглядное представление о выходе технического бетулина в зависимости от вида экстрагента.

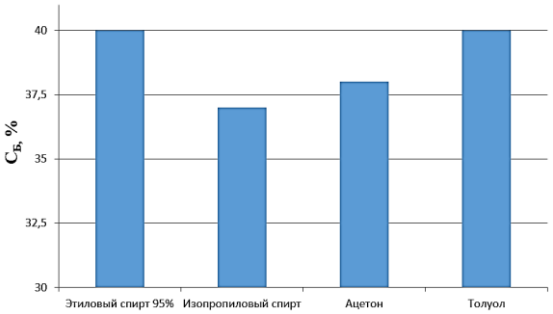


**Рис. 3.** Зависимость выхода технического бетулина от вида экстрагента

Анализ приведённых данных показывает, что максимальный выход бетулина наблюдается при использовании 95 %-го этилового спирта или толуола. Минимальный выход (37 % от общей массы сырья) зафиксирован при использовании изопропилового спирта, чья растворяющая способность по отношению к бетулину недостаточна.

Этиловый спирт и толуол являются наиболее эффективными экстрагентами. Однако с учётом того, что толуол марки «А» ГОСТ 9880-2019 дешевле этилового спирта марки «ЭКСТРА» в 3 раза, можно считать толуол предпочтительным выбором для разработки технологичного и безопасного процесса [29, 30].

На рис. 3 приведена зависимость выхода бетулина от фракционного состава при экстрагировании толуолом.

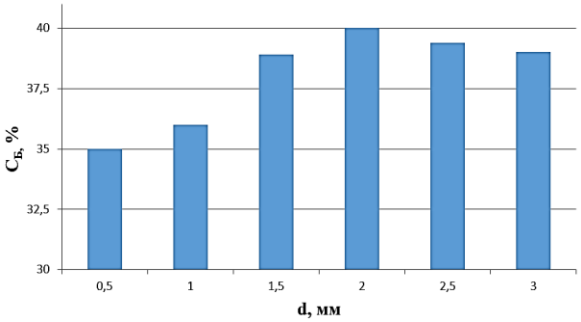


**Рис. 4.** Зависимость выхода технического бетулина от фракционного состава сырья

Анализ данных показывает, что при использовании частиц от 0,5 до 2 мм наблюдается устойчивый рост выхода бетулина с увеличением размера частиц. Это объясняется тем, что чрезмерно мелкие частицы (менее 0,5 мм) склонны к агрегации и образованию плотного слоя, затрудняющего диффузию экстрагента внутрь материала и отвод экстракта.

Дальнейшее увеличение размера частиц с 2 до 3 мм приводит к снижению выхода бетулина, что напрямую связано с уменьшением удельной поверхности сырья и, как следствие, сокращением площади контакта с растворителем.

Результаты проведённых исследований показывают, что размеры частиц 2 мм являются оптимальными для достижения эффективного выхода бетулина из бересты.

На рис. 5 приведена зависимость выхода технического бетулина от гидромодуля.

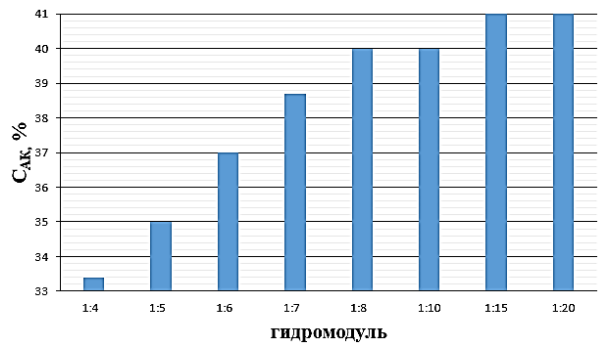


**Рис. 5.** Зависимость выхода технического бетулина от гидромодуля процесса

Анализ приведённых данных показывает, что при увеличении количества экстрагента выход технического бетулина закономерно растёт: от 33,4 до 40 %. Дальнейшее увеличение гидромодуля более 1:10 не приводит к заметному росту выхода, который стабилизируется на уровне 40 %. Последующее увеличение до 1:20 экономически нецелесообразно из-за повышенного расхода на регенерацию растворителя.

На рис. 6 представлены экспериментальные данные по исследованию влияния температуры и продолжительности процесса на выход технического бетулина.

Анализ приведённых зависимостей показывает, что с повышением температуры крутизна начальных участков кривых значительно возрастает. Это указывает на увеличение константы скорости экстракции, что согласуется с законом Аррениуса и объясняется снижением вязкости растворителя, увеличением коэффициента диффузии и энергии молекул. Повышение температуры не только ускоряет процесс, но и увеличивает предельный выход бетулина. Кривые для более высоких температур (90, 100, 110 °C) стремятся к более высоким значениям выхода по сравнению с кривыми для низких температур (60, 70 °C). Это свидетельствует о том, что растворимость бетулина в толуоле и степень десорбции из матрицы бересты являются эндотермическими процессами.

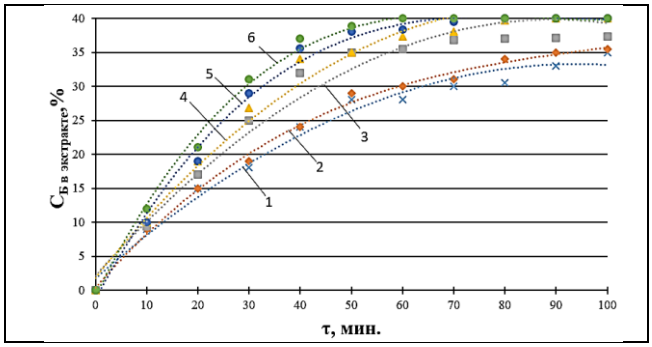


**Рис. 6.** Зависимость выхода технического бетулина при различных температурах процесса экстракции: 1 – 60 °C, 2 – 70 °C, 3 – 80 °C, 4 – 90 °C, 5 – 100 °C, 6 – 110 °C

Для повышения чистоты технического бетулина был применён комплекс физико-химических методов очистки. Первичную оценку проводили визуально, фиксируя белый цвет и кристаллическую морфологию вещества, а также определяя температуру плавления, которая варьировалась в диапазон 248–250 °C без значительного его расширения. Качественный анализ содержания примесей в экстракте выполнялся методом тонкослойной хроматраграфии, где критерием чистоты является наличие единственного детектируемого пятна. Количественное содержание основного вещества устанавливают с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии, где доля площади основного пика на хроматограмме составляла 98 %.

**Заключение.** Аналитический анализ результатов научных исследований показал, что береста берёзы представляет источник ценного биологически активного вещества – бетулина.

По результатам экспериментальных исследований определены рациональные режимные параметры процесса извлечения бетулина: сырьё – береста берёзы; температура экстракции – 110 °C; время экстрагирования – 50 мин; вид экстрагента – толуол; размер частиц $-2{,}0^{+0{,}25}_{-0{,}5}$ мм; гидромодуль процесса – 1:10. Выход технического бетулина составил 40 % от общей массы сырья с чистотой 81 %. После очистки бетулина от примесей выход составил 32 % с чистотой 98 %.

**Работа выполнена за счёт 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).**

*Литература*


1. Агапкина Т.А. Деревья в славянской народной традиции: очерки. М.: Институт славяноведения РАН, Индрик, 2019. 654 с.
2. Мусин Х.Г. Развитие лесопромышленного комплекса Республики Татарстан: проблемы и перспективы // Экономика региона. 2020. № 1 (16). С. 278–292.
3. Фахрутдинов Р.И. Растительный мир Татарстана: учеб. пособие: Изд-во Казанского университета, 2019. 312 с.
4. Лесной план Республики Татарстан: утв. постановлением Кабинета Министров РТ от 15.12.2022 № 1234. Казань, 2022. 187 с.
5. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и об охране окружающей среды Республики Татарстан в 2022 году / под ред. А.В. Шиляева. Казань: Министерство экологии и природных ресурсов РТ, 2023. 254 с.
6. Хусаинов Р.Ш. Современное состояние и перспективы глубокой переработки древесины березы в Республике Татарстан // Промышленность Республики Татарстан: сборник научных трудов. Фолиант, 2021. С. 145–156.
7. Фазлиев Ф.Х. Народные промыслы татар: история и современность (на примере берестяного ремесла) // Вестник Казанского государственного университета культуры и искусств. 2017. № 4. С. 88–92.
8. Шевелев Л.Н., Симонов А.А. Технология фанерного производства: учебник для вузов. Изд-во МГУЛ, 2015. 408 с.
9. Абаимов В.А., Петров Н.Г. Биология и лесоводственные особенности березы повислой (*Betula pendula Roth*) в Среднем Поволжье // Лесной вестник. 2018. № 4 (22). С. 15–21.
10. Бабкин В.А., Сухорукова О.В. Бетулин – уникальный природный биосовместимый липофильный соединение // Химия растительного сырья. 2019. № 2. С. 5–28.
11. Яковлева О.В., Новиков С.М. Биологическая активность бетулина и его производных // Экспериментальная и клиническая фармакология. 2020. № 5 (83). С. 39–47.
12. Тимофеев К.Л., Исаева М.С. Методы очистки и получения производных бетулина // Химия гетероциклических соединений. 2017. № 5. С. 499–505.
13. Исаева А.Ю., Гребенщиков А.В. Использование бетулина в технологии пищевых продуктов // Успехи соврем. естествознания. 2012. № 6. 133 с.
14. Ивахнюк Г.К., Скрипник И.Л., Воронин С.В. Исследование возможности применения бетулина для очистки воды от вредных примесей // Вестн. МАНЭБ. 2020. Т. 25, № 1. С. 55–61.
15. Сафин Р.Г. Валеев К.В., Фахрутдинова Л.Р. Свойства коры березы, влияющие на сепарацию бересты от луба // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2025. № 1 (403). С. 197–209. DOI 10.37482/0536-1036-2025-1-197-209.
16. Сафина А.В., Зиатдинова Д.Ф., Назипова Л.Р., Сафин Р.Г., Валеев К.В. Инженерная методика расчёта установки извлечения бетулина из бересты берёзы // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2024. № 1(397). С. 195–207. DOI 10.37482/0536-1036-2024-1-195-207.
17. Бадогина А.И., Третьяков С.И., Кутакова Н.А., Коптелова Е.Н. Исследование кинетических закономерностей процесса СВЧ-экстракции луба в сравнении с берёзовой корой // Изв. вузов. Лесн. журн. 2017. № 3. С. 164–175. DOI 10.17238/issn0536-1036.2017.3.164.
18. Левданский В.А., Кузнецов Б.Н., Полежаева Н.И. Влияние активации коры березы перегретым паром на выход и состав экстрактов, содержащих бетулин и дубильные вещества // Химия растительного сырья. 2005. № 2. С. 15–20.
19. Сафина А.В., Сайфутдинов Д.М., Хайрутдинова А.Р., Валеев К.В. Комплексная переработка биомассы березы // Деревообрабатывающая промышленность. 2017. № 4. С. 11–17.
20. Гончарова Н.В., Лунева Н.П. Изучение экстракции бетулина из бересты берёзы повислой // Химия растительного сырья. 2008. № 3. С. 45–50.
21. Кобыляков А.А., Федоров Д.В., Медведева С.И. Влияние предварительной обработки бересты на выход бетулина // Известия вузов. Лесной журнал. 2014. № 6. С. 112–120.
22. Плотникова Е.В., Калугина Н.С. Интенсификация процесса экстракции бетулина ультразвуком // Журнал прикладной химии. 2016. № 5 (89). С. 645–651.
23. Сафонов А.В., Долганова М.П., Белова И.Р. Применение микроволнового излучения для экстракции тритерпеноидов из бересты // Химико-фармацевтический журнал. 2015. № 11 (49). С. 38–42.
24. Егорова А.Е., Тарасов И.А. Экстракция бетулина субкритической водой // Суперкритические Флюиды: Теория и Практика. 2018. № 2 (13). С. 56–65.
25. Ананьев В.В., Попова Н.Н. Сверхкритическая экстракция бетулина диоксидом углерода // Российский журнал физической химии. 2016. № 8 (90). С. 1250–1255.
26. Лебедева О.И., Шкитова Т.В., Казаков А.С. Сочетание ультразвуковой и щелочной обработки для повышения выхода бетулина // Известия Санкт-Петербургского лесотехнического университета. 2013. № 204. С. 167–174.
27. Петров А.С., Лаврова Г.В., Соколов И.М. Сравнительная характеристика растворителей для экстракции бетулина // Бутлеровские сообщения. 2011. № 7 (26). С. 95–100.
28. Timofeev K.L., Isaeva M.S. Metody ochistki i poluche-niya proizvodnyh betulina // Himiya geterociklicheskih soedinenij. 2017. № 5. S. 499–505.
29. Химические реактивы осч, хч, технические [Электронный ресурс] https://himreactiv.ru/catalog/khimreaktivy_1/khimicheskie_reaktivy_osch_khch_chda_tekhnicheskie/toluol_kamennougolnyy_marka_a_gost_9880_76/?ysclid=mi8x3pp2z4156079886 (Дата обращения 20.06.2025).
30. Спирт «Экстра» [Электронный ресурс] https://spirt.site/catalog/spirt/extra/ (Дата обращения 21.06.2025).


*References*


1. Agapkina T.A. Trees in the Slavic Folk Tradition: Essays. Moscow: Institute of Slavic Studies, Russian Academy of Sciences, Indrik, 2019. 654 p.
2. Musin H.G. Development of the Forestry Complex of the Republic of Tatarstan: Problems and Prospects // Economy of the Region. 2020. No. 1 (16). Pp. 278–292.
3. Fakhrutdinov R.I. Flora of Tatarstan: A Textbook: Kazan University Publishing House, 2019. 312 p.
4. Forest Plan of the Republic of Tatarstan: Approved by Resolution of the Cabinet of Ministers of the Republic of Tatarstan dated December 15, 2022, No. 1234. Kazan, 2022. 187 p.
5. State report on the state of natural resources and environmental protection of the Republic of Tatarstan in 2022 / edited by A.V. Shilyaev. Kazan: Ministry of Ecology and Natural Resources of the Republic of Tatarstan, 2023. 254 p.
6. Khusainov R.Sh. Current state and prospects for deep processing of birch wood in the Republic of Tatarstan // Industry of the Republic of Tatarstan: collection of scientific papers: Foliant, 2021. pp. 145–156.
7. Fazliev F.Kh. Tatar folk crafts: history and modernity (using birch bark craft as an example) // Bulletin of the Kazan State University of Culture and Arts. 2017. No. 4. pp. 88–92.
8. Shevelev L.N., Simonov A.A. Plywood production technology: textbook for universities. Publishing house of Moscow State University of Forestry, 2015. 408 p.

9. Abaimov V.A., Petrov N.G. Biology and silvicultural features of silver birch (Betula pendula Roth) in the Middle Volga region // Lesnoy Vestnik. 2018. No. 4 (22). Pp. 15–21.
10. Babkin V.A., Sukhorukova O.V. Betulin – a unique natural biocompatible lipophilic compound // Chemistry of plant raw materials. 2019. No. 2. Pp. 5–28.
11. Yakovleva O.V., Novikov S.M. Biological activity of betulin and its derivatives // Experimental and clinical pharmacology. 2020. No. 5 (83). Pp. 39–47.
12. Timofeev K.L., Isaeva M.S. Methods for the purification and preparation of betulin derivatives // Chemistry of heterocyclic compounds. 2017. No. 5. pp. 499–505.
13. Isaeva A.Yu., Grebenshchikov A.V. Use of betulin in food technology // Advances in modern natural science. 2012. No. 6. 133 p.
14. Ivakhnyuk G.K., Skripnik I.L., Voronin S.V. Study of the possibility of using betulin to purify water from harmful impurities // Vestn. MANEB. 2020. Vol. 25, No. 1. pp. 55–61.
15. Safin R.G. Valeev K.V., Fakhrutdinova L.R. Properties of Birch Bark Affecting the Separation of Birch Bark from Bast // News of Higher Educational Institutions. Forestry Journal. 2025. No. 1 (403). Pp. 197–209. DOI 10.37482/0536-1036-2025-1-197-209.
16. Safina A.V., Ziatdinova D.F., Nazipova L.R., Safin R.G., Valeev K.V. Engineering Methodology for Calculating a Unit for Extracting Betulin from Birch Bark // News of Higher Educational Institutions. Forestry Journal. 2024. No. 1 (397). Pp. 195-207. DOI 10.37482/0536-1036-2024-1-195-207.
17. Badogina A.I., Tretyakov S.I., Kutakova N.A., Koptelova E.N. Study of kinetic regularities of the process of microwave extraction of bast in comparison with birch bark // Izvestiya Universiteta. Lesn. Zh. 2017. No. 3. pp. 164–175. DOI 10.17238/issn0536-1036.2017.3.164.
18. Levdansky V.A., Kuznetsov B.N., Polezhaeva N.I. The Effect of Birch Bark Activation with Superheated Steam on the Yield and Composition of Extracts Containing Betulin and Tannins // Chemistry of Plant Raw Materials. 2005. No. 2. pp. 15–20.
19. Safina A.V., Saifutdinov D.M., Khairutdinova A.R., Valeev K.V. Complex Processing of Birch Biomass // Woodworking Industry. 2017. No. 4. pp. 11–17.
20. Goncharova N.V., Luneva N.P. Study of Betulin Extraction from Silver Birch Bark // Chemistry of Plant Raw Materials. 2008. No. 3. pp. 45–50.
21. Kobylyakov A.A., Fedorov D.V., Medvedeva SI Effect of Birch Bark Pretreatment on Betulin Yield // News of Universities. Forestry Journal. 2014. No. 6. pp. 112–120.
22. Plotnikova E.V., Kalugina N.S. Intensification of Betulin Extraction Process by Ultrasound // Russian Journal of Applied Chemistry. 2016. No. 5 (89). pp. 645–651.
23. Safonov A.V., Dolganova M.P., Belova I.R. Use of Microwave Radiation for Extraction of Triterpenoids from Birch Bark // Chemical and Pharmaceutical Journal. 2015. No. 11 (49). pp. 38–42.
24. Egorova A.E., Tarasov I.A. Extraction of betulin with subcritical water // Supercritical Fluids: Theory and Practice. 2018. No. 2 (13). P. 56–65.
25. Ananyev V.V., Popova N.N. Supercritical extraction of betulin with carbon dioxide // Russian Journal of Physical Chemistry. 2016. No. 8 (90). P. 1250–1255.
26. Lebedeva O.I., Shkitova T.V., Kazakov A.S. Combination of ultrasonic and alkaline treatment to increase the yield of betulin // Bulletin of the St. Petersburg Forest Engineering University. 2013. No. 204. P. 167–174.
27. Petrov A.S., Lavrova G.V., Sokolov I.M. Comparative characteristics of solvents for betulin extraction // Butlerov communications. - 2011. No. 7 (26). P. 95–100.
28. Timofeev K.L., Isaeva M.S. Metody ochistki i poluche-niya proizvodnyh betulina // Himiya geterociklicheskih soedinenij. 2017. № 5. S. 499–505.
29. Chemical reagents of special purity, chemically pure, technical grade [Electronic resource] https://himreactiv.ru/catalog/khim-reaktivy_1/khimicheskie_reaktivy_osch_khch_chda_tekhnicheskie/toluol_kamennougolnyy_marka_a_gost_9880_76/?ysclid=mi8x3pp2z4156079886 (Accessed 20.06.2025).
30. Alcohol "Extra» [Electronic resource] https://spirt.site/ catalog/spirt/extra/ (Accessed 21.06.2025).