



«УТВЕРЖДАЮ»

Первый проректор ФГБОУ ВО
«Уральский государственный
лесотехнических университет»,

кандидат педагогических наук, доцент

Егорова Лилия Евгеньевна

«11» ноября 2025 года

Отзыв

ведущей организации – федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнических университет» на диссертационную работу Фахрутдиновой Лейсан Рамилевны, выполненную на тему «Технология и аппаратурное оформление процесса извлечения бетулина из коры берёзы», представленную в диссертационный совет 24.2.312.10 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Казанский национальный исследовательских технологический университет» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 4.3.4. Технологии, машины и оборудование для лесного хозяйства и переработки древесины

Актуальность темы. Представленная к защите диссертационная работа посвящена решению задачи, имеющей существенное значение для лесопромышленного комплекса Российской Федерации. Актуальность темы обусловлена наличием значительных объемов неиспользуемых отходов деревообработки в виде березовой коры, которые на сегодняшний день утилизируются неэффективно. Одновременно с этим существует острая необходимость в импортозамещении высоколиквидного продукта – бетулина, потребность внутреннего рынка в котором оценивается в 3 тыс. кг в месяц при собственном производстве всего 1 тыс. кг. Существующие методы извлечения бетулина, включая традиционную экстракцию органическими растворителями и гидротермальные методы, обладают рядом существенных недостатков: низкая скорость процесса, высокие энергозатраты, использование больших объемов токсичных растворителей или недостаточная чистота конечного продукта. Разработка новых, интенсифицированных и экологически безопасных технологических решений для переработки коры березы соответствует стратегическим направлениям развития биоэкономики и циркулярного производства, заявленным в Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации.

Научная новизна. Разработан и запатентован новый способ сепарации бересты от луба, основанный на установлении и научном обосновании строго определенного диапазона режимных параметров: начальная влажность коры 42 – 52 %, продолжительность измельчения 45 – 90 с, выделение целевой фракции размером

1 – 2 мм и ее последующее гравитационное осаждение в воде в течение 3 – 10 мин. Такой комплексный подход к сепарации, основанный на глубоком изучении физико-химических свойств компонентов коры, ранее в литературе не описывался. В работе впервые экспериментально установлена и математически описана зависимость коэффициента массопроводности бересты от температуры в процессе ее пропитки толуолом, что имеет фундаментальное значение для кинетического описания процесса. Разработана комплексная математическая модель процесса извлечения бетулина, которая описывает сопряженные процессы прогрева, пропитки и экстракции с учетом изменения граничных условий во времени и пространстве. Модель адекватно отражает реальную схему процесса и позволяет прогнозировать распределение концентраций не только по сечению частицы, но и по высоте аппарата.

На основе математического моделирования и экспериментальной проверки выявлены и научно обоснованы рациональные режимные параметры процесса экстракции: температура 110 °С, модуль экстракции 1:2,5, продолжительность стадий. Новизна заключается в комплексном обосновании этих параметров, вытекающем из анализа физической картины процесса. Разработана технология и аппаратное оформление комплексной переработки коры березы, новизна которой заключается в создании завершенного технологического цикла, интегрирующего все этапы с минимизацией отходов.

Степень обоснованности и достоверности. Представленные в диссертации научные положения, выводы и рекомендации обоснованы и достоверны. Обоснованность выводов обеспечивается проведенным аналитическим обзором современных литературных и патентных источников, применением современных методов теоретического исследования, включая математическое моделирование процессов тепло- и массопереноса на основе фундаментальных законов Фурье и Фика, корректным планированием эксперимента с использованием стандартизированных и сертифицированных методик и оборудования. Комплексный подход, сочетающий физическое и математическое моделирование, позволяет верифицировать результаты разными, независимыми методами. Достоверность полученных результатов подтверждается большим объемом экспериментальных данных, удовлетворительным совпадением результатов математического моделирования с экспериментальными данными, статистической обработкой результатов, включая расчет среднеквадратичных отклонений и проверку адекватности модели. Расхождения между расчетными и экспериментальными кривыми концентрации толуола при пропитке не превышают 13 %, а для процесса экстракции составляют 15 – 20 %, что является хорошим показателем для сложных многофазных процессов. Верификация модели на различных стадиях процесса и патентная чистота разработанных технических решений являются подтверждением их достоверности и практической значимости.

Значимость для науки и практики. Работа обладает существенной научной и практической значимостью. Теоретическая значимость заключается в развитии

научных основ процессов экстракции биологически активных веществ из растительных материалов. Разработанная математическая модель вносит вклад в теорию тепломассопереноса в пористых средах. Полученные данные о коэффициенте массопроводности и его температурной зависимости расширяют базу знаний о физико-химических свойствах бересты. Выявленная необходимость третьей, стабилизационной стадии экстракции способствует развитию технологии экстракционных процессов. Практическая значимость работы подтверждена конкретными результатами. Разработана и апробирована на опытно-промышленном уровне ресурсосберегающая технология получения бегулина, характеризующаяся высокой степенью извлечения и чистотой продукта. Предложены инженерные методики расчета основного технологического оборудования, которые могут быть использованы при проектировании промышленных установок. Составлено технико-экономическое обоснование, доказывающее высокую рентабельность проекта со сроком окупаемости 1,5 года и годовой прибылью порядка 75 млн рублей, что является убедительным аргументом для потенциальных инвесторов. Результаты работы приняты к внедрению в производственный процесс АО «Ласкрафт» (г. Казань), о чем имеется соответствующий акт. Материалы диссертации используются в учебном процессе ФГБОУ ВО «КНИТУ», что способствует подготовке высококвалифицированных кадров для лесопромышленного комплекса.

Соответствие автореферата диссертации. Проведенный сравнительный анализ текста диссертации и автореферата позволяет сделать однозначный вывод о их полном соответствии. Автореферат адекватно и в полном объеме отражает основное содержание диссертационной работы: ее цель, задачи, методы исследования, научные положения, выносимые на защиту, основные результаты и выводы. В автореферате корректно изложены элементы научной новизны и практической значимости. Объем и структура автореферата соответствуют предъявляемым требованиям. Все положения, выносимые на защиту, нашли подробное и точное отражение в автореферате, что позволяет соискателю в полной мере представить научному сообществу результаты своего исследования.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Основные результаты диссертационной работы соответствуют паспорту специальности 4.3.4. Технологии, машины и оборудование для лесного хозяйства и переработки древесины: п. 2. «Химия, физико-химия и биохимия 12 основных компонентов биомассы дерева и иных одревесневших частей растений, композиты, продукты лесохимической переработки» (пункты 1, 2, 3 научной новизны); п. 4. «Технология и продукция в производствах: лесохозяйственном, лесозаготовительном, деревообрабатывающем, целлюлозно-бумажном, лесопильном, лесохимическом и сопутствующих им производствах» (пункты 4, 5 научной новизны).

Рекомендации по использованию результатов диссертационного исследования.

Для деревообрабатывающих предприятий рекомендуется внедрение разработанной технологии сепарации коры березы и организации цехов по

производству бетулина. Особый интерес представляет использование отходов фанерных производств для получения ценного биологически активного вещества.

Научно-исследовательским организациям будут полезны математические модели процессов экстракции, которые могут быть адаптированы для получения других ценных соединений из растительного сырья. Также перспективным направлением является дальнейшее изучение свойств бетулина и его производных.

Для органов государственного управления результаты работы важны при формировании программ развития биоэкономики и оценке инвестиционных проектов в области глубокой переработки древесного сырья.

Вопросы и замечания:

1. В работе обоснована температура экстракции 110 °С как температура кипения толуола. Исследовалось ли влияние более низких температур (90 – 100 °С) на скорость процесса и качество конечного продукта? Это могло бы снизить энергозатраты и уменьшить термическую деградацию сопутствующих биологически активных веществ.
2. В математической модели принято допущение о взаимной нерастворимости бересты и растворителя. Однако известно, что органические растворители могут вызывать набухание лигноцеллюлозной матрицы. Насколько эффект набухания может влиять на достоверность прогноза модели, в частности, на значения коэффициента массопроводности? Рассматривалась ли возможность учета этого эффекта в модели, например, через зависимость пористости от времени?
3. Процесс экстракции проводится при температуре кипения толуола (110 °С), а последующая перегонка с водяным паром также в условиях нагрева. В литературе есть указания на чувствительность тритерпеноидов к термоокислительной деградации. Необходимо предоставить данные, подтверждающие отсутствие разложения бетулина в ходе предлагаемого технологического процесса. Было бы целесообразно применить ВЭЖХ или ТСХ для анализа конечного продукта на предмет возможных продуктов деградации.
4. Каков фактический процент возврата толуола в процессе регенерации? Проводилась ли оценка потерь растворителя за полный цикл и их влияния на себестоимость продукции?
5. В диссертационной работе показано, что к концу второй стадии экстракции наблюдается неравномерность распределения бетулина по высоте аппарата. Насколько существенно это влияет на общий выход продукта? Проводилась ли оценка потерь бетулина, связанных с этой неравномерностью, и насколько введение третьей стадии позволяет снизить эти потери?
6. Известно, что свойства коры (толщина, состав, содержание бетулина) могут варьироваться в зависимости от породы березы, места произрастания, времени заготовки. Проводились ли исследования влияния вариабельности свойств сырья на эффективность предложенного способа сепарации и параметры экстракции?

Представленные выше замечания и рекомендации носят уточняющий и рекомендательный характер, направлены на перспективы дальнейшего развития исследования и не снижают общую ценность представленной работы.

Заключение

Диссертационная работа Фахрутдиновой Лейсан Рамилевны представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой решена актуальная задача по разработке технологии и аппаратурного оформления процесса извлечения бетулина из коры березы. Основные результаты диссертации опубликованы в 17 печатных работах, в том числе в 5 статьях в рецензируемых научных изданиях из Перечня ВАК, 1 статье в журнале, индексируемом в Scopus, и 2 патентах на изобретение, что удовлетворяет требованиям ВАК. Диссертация, автореферат и опубликованные работы корректно отражают основные научные результаты исследования.

Диссертация соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (в текущей редакции), а её автор Фахрутдинова Лейсан Рамилевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 4.3.4. "Технологии, машины и оборудование для лесного хозяйства и переработки древесины".

Диссертация Фахрутдиновой Лейсан Рамилевны рассмотрена на заседании кафедры Высшей школы биотехнологии Уральского государственного лесотехнического университета (протокол № 3 от 11.11.2025г.)

Отзыв подготовил:

профессор кафедры высшей школы
биотехнологии ФГБОУ ВО «Уральский
государственный лесотехнический
университет», доктор технических наук,
(05.21.03 Технология и оборудование
химической переработки биомассы дерева;
химия древесины), профессор, Юрьев Юрий Леонидович

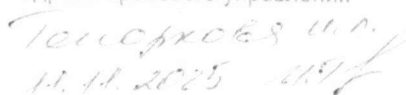
 Юрьев Ю.Л.

«11» ноября 2025 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Уральский государственный лесотехнический
университет», 620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, д.
37; телефон: 8 (343) 221-21-00, электронная почта: general@m.usfeu.ru,
<https://usfeu.ru/>

ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ


Ведущий специалист по кадрам
Кадрово-правового управления


11.11.2025

Вход. № 05-8686
« 03 » 12 2025 г.
подпись 