

Научная статья
УДК 678.031:54-112
DOI: 10.37482/0536-1036-2025-1-197-209

Свойства коры березы, влияющие на сепарацию бересты от луба

Р.Г. Сафин, *д-р техн. наук, проф.*; *ResearcherID: [Q-8575-2017](https://orcid.org/0000-0002-5790-4532)*,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5790-4532>

К.В. Валеев[✉], *канд. техн. наук, доц.*; *ResearcherID: [HPC-5151-2023](https://orcid.org/0000-0002-5537-9332)*,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5537-9332>

Л.Р. Фахрутдинова, *инж.*; *ResearcherID: [HPC-5155-2023](https://orcid.org/0009-0003-9918-0397)*,

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-9918-0397>

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
ул. К. Маркса, д. 68, г. Казань, Россия, 420015; safin@kstu.ru, kirval116@mail.ru[✉],
lnazipova@internet.ru

Поступила в редакцию 14.03.24 / Одобрена после рецензирования 07.06.24 / Принята к печати 09.06.24

Аннотация. Рассматривается проблема использования березовой коры в Российской Федерации, где значительные запасы этого сырья применяются в основном в качестве твердого топлива. Представлены методы исследования измельчения и сепарации березовой коры, а также извлечения биологически активного вещества – бетулина – из бересты. Литературный обзор выявил: важность сепарации коры на луб и бересту; зависимость сепарируемости луба и бересты от влажности коры березы, степени измельчения и др.; необходимость изучения свойств коры березы. Получены зависимости: плотности бересты и луба от влажности; кинетические кривые водопоглощения при различных температурах; выхода бересты от степени измельчения. Установлено, что при влажности измельченной коры более 35 % происходит гравитационная сепарация бересты от луба в водной среде. Данные зависимости позволят оптимизировать процесс увлажнения коры. На основе изучения свойств коры, бересты и луба рекомендовано проведение сепарации в 2 стадии: механическое и гидростатическое разделение. Анализ результатов исследования свойств коры березы, влияющих на сепарацию бересты от луба, показал целесообразность измельчения коры в молотковой дробилке со скоростью вращения ротора 1500 об./мин с влажностью материала 42–52 % в течение 45–90 с при дальнейшей классификации измельченных частиц на 3 фракции: крупную с размерами частиц более 2 мм с преимущественным содержанием бересты; мелкую с частицами менее 1 мм с превалированием в составе луба; среднюю с размерами частиц 1–2 мм с более 30 % бересты. Бересту из средней фракции следует выделить гравитационным осаждением в воде в течении 3–10 мин. Выявленные оптимальные режимные параметры процесса сепарации бересты от луба дают возможность получить конечные продукты, в частности бетулин, более высокого качества.

Ключевые слова: кора, сепарация, береста, луб, измельчение, влажность

Для цитирования: Сафин Р.Г., Валеев К.В., Фахрутдинова Л.Р. Свойства коры березы, влияющие на сепарацию бересты от луба // Изв. вузов. Лесн. журн. 2025. № 1. С. 197–209. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2025-1-197-209>

Original article

The Properties of Birch Bark Affecting the Separation of Birch Bark from Bast

Rushan G. Safin, Doctor of Engineering, Prof.; ResearcherID: [Q-8575-2017](https://orcid.org/0000-0002-5790-4532),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5790-4532>

Kirill V. Valeev[✉], Candidate of Engineering, Assoc. Prof.;

ResearcherID: [HPC-5151-2023](https://orcid.org/0000-0002-5537-9332), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5537-9332>

Leysan R. Fakhrutdinova, Engineer; ResearcherID: [HPC-5155-2023](https://orcid.org/0009-0003-9918-0397),

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-9918-0397>

Kazan National Research Technological University, ul. K. Marksa, 68, Kazan, Republic of Tatarstan, 420015, Russian Federation; safin@kstu.ru, kirval116@mail.ru[✉], lnazipova@internet.ru

Received on March 14, 2024 / Approved after reviewing on June 7, 2024 / Accepted on June 9, 2024

Abstract. The article considers the problem of using birch bark in the Russian Federation, where significant reserves of this raw material are used mainly as solid fuel. The methods of studying the grinding and separation of birch bark, as well as the extraction of biologically active substance – betulin – from birch bark are presented. The literature review has revealed: the importance of separating the bark into bast and birch bark; the dependence of the separability of bast and birch bark on the moisture content of birch bark, the degree of grinding, etc.; the need to study the properties of birch bark. The dependencies of the density of birch bark and bast on moisture content, of the yield of birch bark on the degree of grinding, as well as the kinetic curves of water absorption at different temperatures have been obtained. It has been established that when the moisture content of the grinded bark is more than 35 %, the gravitational separation of birch bark from bast occurs in an aquatic medium. These dependencies will make it possible to optimize the bark moistening process. Based on the study of the properties of bark, birch bark and bast, it is recommended to carry out separation in 2 stages: mechanical and hydrostatic separation. An analysis of the results of the study of the properties of birch bark affecting the separation of birch bark from bast has shown the feasibility of grinding the bark in a hammer grinder with a rotor speed of 1500 rpm with a material moisture content of 42–52 % for 45–90 s with further classification of the grinded particles into 3 fractions: large with particle sizes of more than 2 mm with a predominant content of birch bark; fine with particles of less than 1 mm with a predominance of bast in the composition; medium with particle sizes of 1–2 mm with more than 30 % birch bark. Birch bark from the medium fraction should be separated by gravitational sedimentation in water for 3–10 min. The identified optimal operating parameters for separating birch bark from bast make it possible to obtain final products, in particular betulin, of higher quality.

Keywords: bark, separation, birch bark, bast, grinding, humidity

For citation: Safin R.G., Valeev K.V., Fakhrutdinova L.R. The Properties of Birch Bark Affecting the Separation of Birch Bark from Bast. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2025, no. 1, pp. 197–209. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2025-1-197-209>



Введение

В Российской Федерации на 2023 г. запасы стволовой древесины березы (не включая сухостой) составляли свыше 172 м³/га, а это 20 млрд м³, из них некондиционная древесина – это 20 %, она не перерабатывается, а используется только в качестве твердого топлива [3, 4]. Что касается деревообрабатывающих предприятий, например, на фанерно-мебельных, домостроительных комбинатах и других ведущих производствах страны ежедневно остается до 4,3 т невостробанной коры березы [14].

Содержание березовой коры составляет 10–12,5 % от массы дерева, на долю бересты приходится 16–20 % ее массы. Важной задачей для целлюлозно-бумажной, фанерной и деревообрабатывающей промышленности является создание безотходных технологий переработки древесины. Вопрос использования такого громадного количества березовой коры превращается в актуальную и серьезную проблему. Кору сжигают или вывозят в отвалы, в то время как береста – сильнейший природный антисептик и биостимулятор. Береста и луб березы обладают различными свойствами и поэтому имеют разное применение [2, 6].

Береста содержит до 50 % экстрактивных веществ, наиболее важным из которых является бетулин, обладающий немалым потенциалом как сырье для химической отрасли с целью получения новых продуктов и биологически активных добавок [1, 7–10, 12, 13, 15]. Для извлечения бетулина высокой степени чистоты требуется предварительная сепарация коры от луба.

Луб – основная часть березовой коры (около 80 %) – имеет в составе водорастворимые вещества, наиболее ценными из которых являются таниды – полифенольные соединения, обладающие дубящими свойствами, а также содержащие антоцианидиновые красители [5, 16].

В настоящее время ведется разработка методов сепарации коры березы на луб и бересту.

Способ переработки березовой коры представлен в патенте Г.В. Сироткина и др. [11]. Данный способ включает в себя измельчение коры в 2 стадии: на 1-й применяется корорубка или ножевая дробилка, на 2-й используется молотковая дробилка. Процесс проводится при влажности 55 %. После измельчения сепарация коры на луб и бересту также осуществляется в 2 стадии: разделение частиц на вибросите или любом другом известном устройстве, потом применяется пневматический классификатор. За измельчением и сепарированием следует экстракция бетулина из бересты березы.

И.Г. Поварнинным был предложен способ отделения бересты от березовой коры [8], при котором кору обрабатывают кипячением в воде около 2 ч до полного размягчения луба и древесины. После того, как луб и древесина размягчились, их соскабливают, или обкатывают, в барабане. Бересту подсушивают до влагосодержания 3–6 %.

Известен способ получения бересты [10], предложенный В.В. Балакшиным и А.Н. Чистяковым: сырую кору березы, оставшуюся после лущения на фанерных производствах, перебирают. Набухшую кору отправляют на измельчение в молотковую дробилку. В процессе измельчения происходит расслоение луба и пробковой ткани. После этого сырье просеивают через сито. Сепарация дает 2 фракции: частицы, не прошедшие сквозь отверстия – береста или берестяная стружка; частицы, прошедшие через отверстия – луб и мелкие частицы бересты. Сепарированную бересту отправляют на дальнейшую переработку.

Способ переработки березовой коры на бересту и луб, запатентованный В.Е. Воскресенским и др. [9], включает окорку чурака со снятием коры и одновременное измельчение с получением смеси бересты и луба необходимой фракции, а затем фрезерование фракции с целью отделения бересты от луба.

Способ комплексной переработки березовой коры, разработанный Б.Н. Кузнецовым и др. [12], предполагает измельчение коры любым известным способом, ее сепарацию на бересту и луб, экстракцию из них биологически активных веществ. При этом выход бетулина составляет 22,5 %, суберина – 31 % от общей массы бересты, порошка полифенолов – 10 % от общей массы луба.

Р.А. Krasutsky описал способ переработки коры [19]. Поднята проблема использования древесных отходов, а именно древесины березы. Отходы деревообрабатывающих предприятий Канады, США, Финляндии и Китая насчитывают по 40 т сырой коры ежедневно, что составляет 12 % от общей массы березы. 27,5 % коры березы применяется в качестве дешевого топлива. Важнейшая часть переработки коры березы заключается в отделении бересты от луба. Специально разработанные способы измельчения и просеивания коры позволяют получать наружную бересту хорошего качества, но с большими потерями в бересте. Также низкая насыпная плотность наружной бересты (~0,1 г/мл) делает это сырье дорогостоящим при транспортировке и неэффективным при извлечении. В городе Ту-Харборс, штат Миннесота, США, запущено первое в мире предприятие по производству гранул из бересты. Это можно считать началом промышленного периода переработки бересты.

В работе R.M. Carlson et al. [20] представлены 2 способа сепарации бересты от луба березы. Первый способ заключается в разделении путем просеивания смеси через сетку с отверстиями промежуточного размера между меньшими кусочками бересты и более крупными внешними кусочками коры. Более мелкие частицы коры проходят через сито и отделяются от бересты. Второй способ состоит в сепарации коры от бересты с помощью воздушного классификатора. Воздушный классификатор представляет собой устройство, которое работает по принципу различных свойств 2 компонентов (например коры и бересты) в потоке воздуха для осуществления физического разделения. Как правило, менее плотная часть коры – луб – переносится воздушным потоком на большее расстояние, чем более плотная часть – береста. В результате внутренняя и внешняя части коры могут быть разделены. После отделения бересты от луба обычно получают внешнюю березовую кору в количестве от 10 до 45 мас. % в зависимости от исходного содержания бересты.

Все разработанные способы и аппаратные оформления не имеют теоретической базы. Однако выявлено, что сепарируемость бересты от луба обуславливается влажностью коры, способами влагонасыщения, степенью измельчения и т. д., поэтому актуально систематизировать исследование этих параметров.

Влажность коры в свежесрубленной березе в зависимости от места произрастания варьирует в диапазоне 30–70 % и может превышать 100 %, влажность бересты при этом составляет 7–27 %. При транспортировке и складировании березы происходит ее естественная сушка. При этом влажность древесины снижается до 22–40 % в соответствии с временем года. Критической для фрик-

ционной окорки является влажность 42 %. Если значение ниже, то сырье не окоряется до тех пор, пока не увлажнится [17, 18]. Для достижения требуемой влажности коры (более 42 %) ее насыщают водой.

Степень измельчения для конкретного вида сырья зависит от конструкции измельчителя, скорости движения измельчающего элемента, размеров сита, установленных на выходе из измельчителя.

Целью данной работы является исследование свойств коры березы: плотности, влаго- и водопоглощения, степени измельчения, – влияющих на сепарируемость бересты от луба, и предложение рациональных режимных параметров сепарации бересты от коры.

В задачи исследования входило представление:

- кинетических зависимостей влаго- и водопоглощения коры, бересты, луба от температуры;
- кривых распределения измельченных частиц в зависимости от их влажности и продолжительности измельчения;
- зависимости плотности бересты и луба от влагосодержания;
- кинетических зависимостей скорости гравитационного осаждения бересты, луба от размеров частиц;
- рекомендаций по сепарации бересты от луба.

Объекты и методы исследования

В качестве сырья для исследования физических свойств использовались свежая и сухая кора березы, полученные с лущильного станка. Кинетику влаго- и водонасыщения коры определяли при температурах 25, 55, 90 и 100 °С.

Влажность коры березы, а также отдельно луба и бересты фиксировали путем замера массы образцов после погружения в воду или насыщения паром. Температура воды поддерживалась термостатом. Насыщение паром проводили при атмосферном давлении при 100 °С.

Получены экспериментальные кинетические зависимости водо- и водопоглощения коры березы при различных температурах. Влажность коры при пропитке вычисляли как отношение разности масс пропитанной ($m_{\text{вл}}$) и абсолютно сухой (m_c) коры к массе влажной коры ($m_{\text{вл}}$):

$$U = \frac{m_{\text{вл}} - m_c}{m_{\text{вл}}} 100 \%. \quad (1)$$

Для осуществления измельчения образцов применяли молотковую дробилку марки МД 2×2 со скоростью вращения ротора 1500 об./мин и выходным отверстием 5 мм. Продолжительность процесса определялась по максимальному значению выхода требуемой фракции. Начальная влажность образцов коры составляла 25, 35, 45 и 55 %. Сырье измельчалось до размеров 0,1–30,0 мм в течение 1, 2, 3 мин, затем проводился ситовый анализ на виброситовой установке Analysette 3 Pro. После сепарации каждая фракция с сита взвешивалась, и рассчитывалась ее доля – отношение массы фракции (m_i) к общей массе (Σm). По данным ситового анализа строились гистограммы распределения частиц по размерам при различных начальной влажности и продолжительности измельчения.

Плотность луба и бересты в зависимости от влажности материала определяли путем вымачивания образцов в воде при комнатной температуре. Плотность (ρ_U) каждого образца при влажности (U) в момент испытания вычислялась по соотношению:

$$\rho_U = \frac{m_{\text{вл}}}{V_U} = \frac{m_{\text{вл}}}{V_c (1 + \beta U)}, \quad (2)$$

где V_U – объем образца при влажности U ; V_c – объем абсолютно сухого образца; β – коэффициент разбухания, для луба – 0,77 [1]; для бересты – 0,28 [21].

Массу влажного материала можно выразить через массу сухого:

$$m_{\text{вл}} = \frac{m_c}{1 - U}. \quad (3)$$

Совместным решением (2) и (3) получаем аналитическое описание зависимости плотности луба и бересты от влажности через плотности абсолютно сухих образцов ρ_c :

$$\rho_U = \frac{\rho_c}{(1 + \beta U)(1 - U)}. \quad (4)$$

Кинетика гравитационного осаждения луба определяется визуально с помощью мензурок. В мензурку заливается вода, в нее погружается измельченная кора (смесь луба и бересты). В течение 10 мин наблюдают за осаждением частиц. Интенсивность осаждения луба (W) рассчитывается по формуле:

$$W = \frac{\Delta V}{\Delta \tau}, \quad (5)$$

где ΔV – изменение объема осажденных частиц луба за время $\Delta \tau$.

Экспериментальные значения, приведенные в работе, получены усреднением 3 повторных измерений.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты измерений кинетики водо- и влагопоглощения (1) при различных температурах представлены на рис. 1.

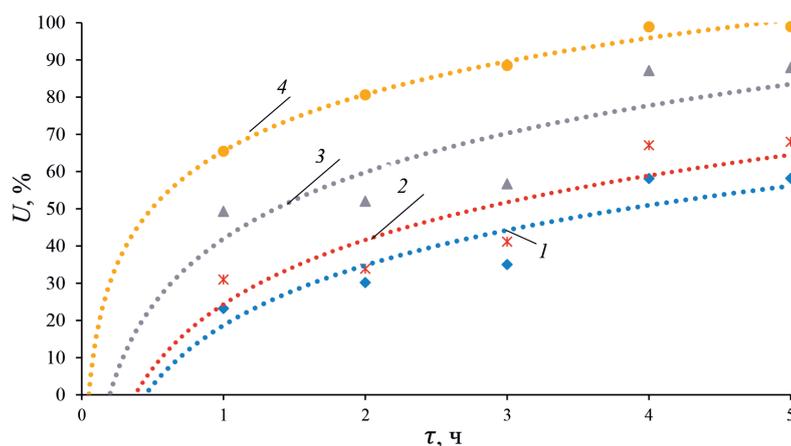


Рис. 1. Кинетика поглощения воды/влаги корой березы при различных температурах, °C: 1 – 25; 2 – 55; 3 – 90; 4 – 100

Fig. 1. The kinetics of water/moisture absorption by birch bark at different temperatures, °C: 1 – 25; 2 – 55; 3 – 90; 4 – 100

Анализ кривых рис. 1 показывает, что водопоглощение до влажности 55 % в воде без подогрева составляет 5 ч. Для ускорения процесса увлажнения сухой коры целесообразно вести его в среде влажного насыщенного пара при атмосферном давлении.

На рис. 2 представлены гистограммы распределения частиц, измельченных в молотковой дробилке при различной начальной влажности коры.

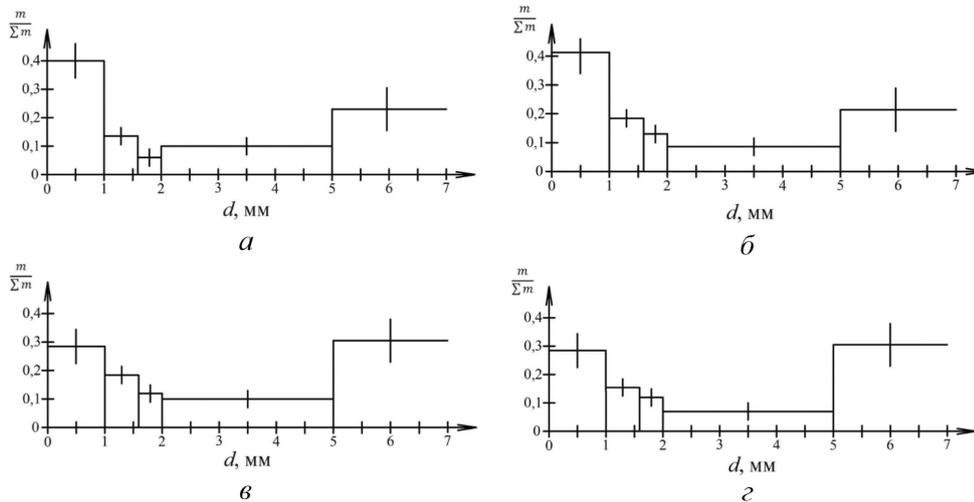


Рис. 2. Гистограмма распределения частиц коры, измельченных в молотковой дробилке при различной начальной влажности, %: *a* – 25; *б* – 35; *в* – 45; *г* – 55 (*d* – диаметр частиц)
 Fig. 2. The histogram of the distribution of bark particles grinded in a hammer grinder at different initial moisture content, %: *a* – 25; *б* – 35; *в* – 45; *г* – 55 (*d* – particle diameter)

Визуальный анализ частиц на ситах показывает, что частицы размером более 2 мм представляют практически чистую бересту, а частицы менее 1 мм – это в основном луб коры с небольшой примесью бересты. Поэтому сепарированность измельченных частиц целесообразно исследовать в диапазоне их размеров 1–2 мм. Для этих целей измельченные частицы коры распределены на 3 фракции: мелкая – менее 1 мм; средняя – 1–2 мм; крупная – более 2 мм.

Обработкой полученных гистограмм построены зависимости выхода удельных фракций от начальной влажности коры (рис. 3).

Анализ приведенных зависимостей свидетельствует, что в диапазоне влажности 42–52 % достигается максимальный размер крупной фракции $d > 2$ мм, в которой содержится большое количество бересты с бетулином и минимальна мелкая фракция, т. е. для повышения выхода бересты кору следует увлажнять до указанного значения.

На рис. 4 показаны экспериментальные и расчетные (4) зависимости плотности луба и бересты от влажности.

Среднеквадратичное отклонение расчетных зависимостей от экспериментальных данных не превышает 18 %. Анализ кривой говорит о том, что плотность луба при влажности больше 35 % превышает плотность воды, при этом плотность бересты составляет менее 590 кг/м³, т. е. при измельчении коры с влажностью 42–52 % возможна гравитационная сепарация в водной среде отстаиванием.

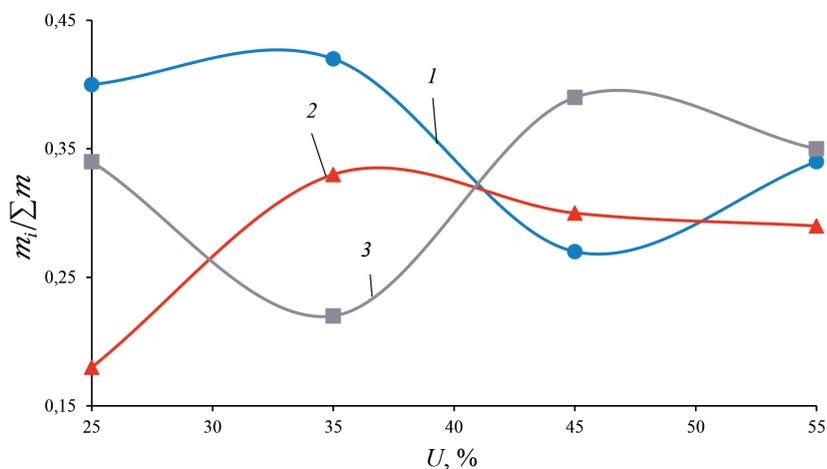


Рис. 3. Выход удельных фракций от начальной влажности коры: 1 – мелкая фракция; 2 – средняя; 3 – крупная

Fig. 3. The yield of specific fractions from the initial moisture content of the bark: 1 – fine fraction; 2 – medium; 3 – large

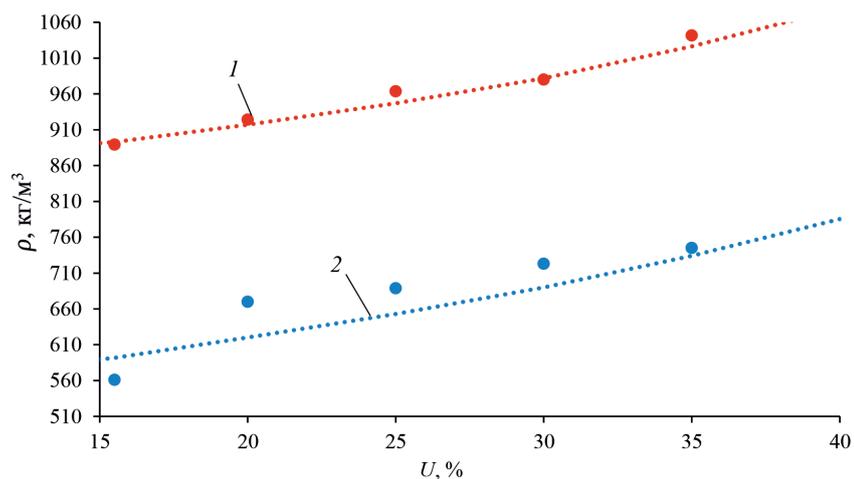


Рис. 4. Зависимость плотности от влажности частиц: 1 – луб; 2 – береста

Fig. 4. The dependence of density on moisture content in the particles: 1 – bast; 2 – birch bark

На рис. 5 приведены экспериментальные кривые влагопоглощения для луба и бересты при нормальной температуре.

Анализ кривых свидетельствует, что береста в отличие от луба значительно медленнее поглощает воду. Это связано с тем, что в бересте содержится до 40 % нерастворимого в воде бетулина. Вышеприведенное позволяет сделать вывод о возможности сепарации бересты от луба путем погружения измельченной коры в воду.

На рис. 6 представлены кривые зависимости среднего выхода удельных масс фракций от продолжительности измельчения в молотковой дробилке, полученные обработкой гистограмм распределения частиц коры с начальной влажностью 42–55 %.

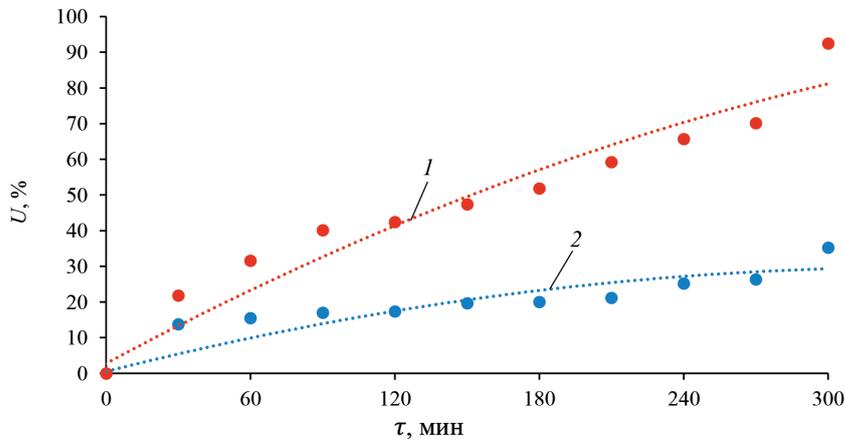


Рис. 5. Кинетика влагопоглощения: 1 – луб; 2 – береста

Fig. 5. The kinetics of moisture absorption: 1 – bast; 2 – birch bark

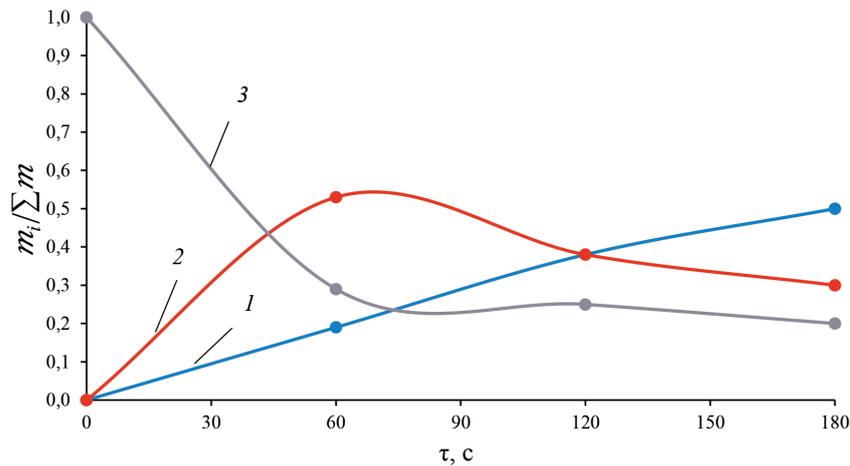


Рис. 6. Зависимость выхода удельных масс фракций от продолжительности измельчения в молотковой дробилке: 1 – мелкая фракция; 2 – средняя; 3 – крупная

Fig. 6. The dependence of the yield of specific gravities of the fractions on the duration of grinding in a hammer grinder: 1 – fine fraction; 2 – medium; 3 – large

Анализ кривых говорит о том, что с увеличением продолжительности измельчения коры более 90 с растет удельный выход мелкой фракции, который приводит к большим потерям бересты. При измельчении в течение менее 45 с в частицах с размерами более 5 мм визуализируется наличие луба, т. е. происходит некачественная сепарация. Оптимальная продолжительность процесса при использовании молотковой дробилки со скоростью вращения ротора 1500 об./мин составляет 45–90 с, при этом наблюдается максимальный выход средней фракции. Рациональная продолжительность измельчения в молотковых дробилках других типов может быть определена в соответствии с приведенным примером.

На рис. 7 показаны гистограммы интенсивности осаждения измельченной коры различных размеров во времени. Интенсивность осаждения характеризуется объемом частиц луба (см^3), выпавших в осадок за единицу времени (с), и определяется в соответствии с соотношением (5).

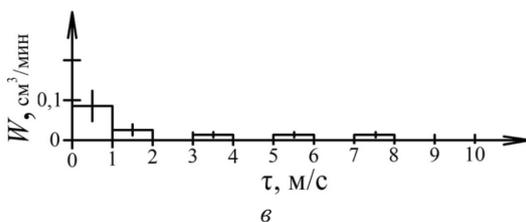
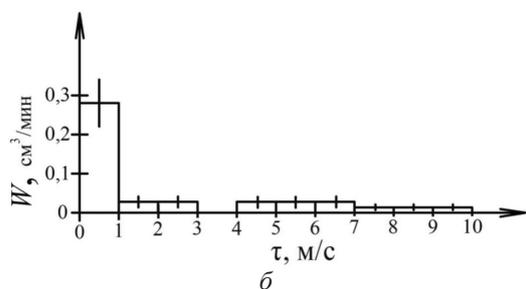
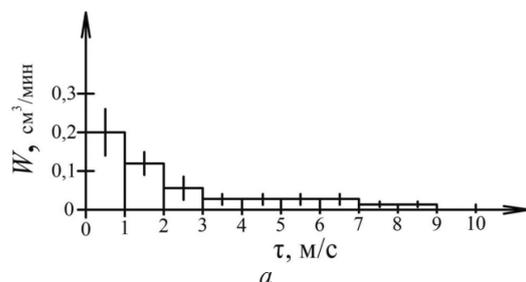


Рис. 7. Гистограммы интенсивности осаждения измельченной коры: *a* – мелкая фракция; *б* – средняя; *в* – крупная
Fig. 7. The histograms of the intensity of sedimentation of grinded bark: *a* – fine fraction; *б* – medium; *в* – large

Анализ приведенных данных показывает, что интенсивность осаждения луба различается в зависимости от размеров частиц. Частицы луба быстро впитывают в себя воду и уходят в осадок в течение 8–10 мин. За это время береста, при ее наличии, не успевает набрать влагу, ее плотность меньше плотности воды, и она всплывает на поверхность.

При размере частиц менее 1 мм (рис. 7, *a*) наблюдается плавное снижение интенсивности осаждения луба в течение 9 мин, что объясняется плохой впитываемостью слоя мелких частиц без их предварительного перемешивания. Мелкие частицы обладают большей адгезией между собой, делая слой частиц менее проницаемым для воды.

При размере частиц 1–2 мм (рис. 7, *б*) наблюдается массовое осаждение измельченных частиц луба в течение 1-й минуты. Это объясняется более быстрой смачиваемостью средней фракции вследствие всплывания бересты из слоя измельченных частиц коры и возникающего при этом естественного перемешивания. Объем всплывших частиц в данном случае составляет $\approx 30\%$.

При размере частиц более 2 мм (рис. 7, *в*) по причине небольшого содержания луба интенсивность осаждения частиц мала. Объем осажденного луба из крупной фракции не превышает 4 %.

Заключение

Получена кинетическая зависимость влаго- и водопоглощения коры березы от температуры процесса измельчения, позволяющая рекомендовать рациональный режим увлажнения сухой коры березы.

Выявлена влажность коры березы, при которой отмечается максимальный выход фракции, подлежащей сепарации.

Получены зависимости плотности бересты и луба от влажности, показывающие, что при влажности измельченной коры более 35 % происходит гравитационная сепарация бересты от луба в водной среде.

Анализ результатов исследований свойств коры березы, влияющих на сепарацию бересты от луба, выявил целесообразность измельчения коры в молотковой дробилке со скоростью вращения ротора 1500 об./мин с влажностью материала 42–52 % в течение 45–90 с при дальнейшей классификации измельченных частиц на 3 фракции: крупную с размерами частиц более 2 мм с преимущественным содержанием бересты; среднюю с размерами частиц 1–2 мм с содержанием бересты более 30 %; мелкую с частицами менее 1 мм с превалированием в составе луба.

Бересту из средней фракции следует выделить гравитационным осаждением в воде в течение 3–10 мин.

Предложенные оптимальные режимные параметры сепарации бересты от луба позволяют получить конечные продукты, в частности бетулин, более высокого качества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Артемов В.А., Ершова А.С., Буриндин В.Г., Власов Н.Г. Исследование влияния содержания луба коры древесины березы на физико-механические свойства пластиков без связующих // Системы. Методы. Технологии. 2024. № 1. С. 171–177.

Artyomov V.A., Ershova A.S., Buryndin V.G., Vlasov N.G. Investigation of the Effect of Birch Bark Bast Content on the Physical and Mechanical Properties of Plastics without Resins. *Sistemy. Metody. Tekhnologii* = Systems. Methods. Technologies. 2024, no. 1, pp. 171–177. (In Russ.). <https://doi.org/10.18324/2077-5415-2024-1-171-177>

2. Бадогина А.И., Третьяков С.И., Кутакова Н.А., Коптелова Е.Н. Исследование кинетических закономерностей процесса СВЧ-экстракции луба в сравнении с березовой корой // Изв. вузов. Лесн. журн. 2017. № 3. С. 164–175.

Badogina A.I., Tret'yakov S.I., Kutakova N.A., Koptelova E.N. The Comparison of Kinetics of Microwave-Assisted Extraction of Bast and Birch Bark. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2017, no. 3, pp. 164–175. (In Russ.). <https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2017.3.164>

3. Барталев С.А., Стыценко Ф.В. Спутниковая оценка гибели древостоев от пожаров по данным о сезонном распределении пройденной огнем площади // Лесоведение. 2021. № 2. С. 115–122.

Bartalev S.A., Stytsenko F.V. An Assessment of the Forest Stands Destruction by Fires Based on the Remote Sensing Data on a Seasonal Distribution of Burnt Areas. *Lesovedenie* = Russian Journal of Forest Science, 2021, no. 2, pp. 115–122. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S0024114821020029>

4. Гаврилюк Е.А., Королева Н.В., Карпухина Д.А., Соколова Е.Н., Ершов Д.В. Геопространственное моделирование биометрических и структурных характеристик лесов

Брянской области на основе спутниковых и выборочных лесотаксационных данных // Лесоведение. 2021. № 6. С. 609–626.

Gavrilyuk E.A., Koroleva N.V., Karpukhina D.A., Sochilova E.N., Ershov D.V. Geospatial Modeling of Biometric and Structural Forest Attributes in the Bryansk Oblast Based on Satellite Imagery and Selective Inventory Data. *Lesovedenie* = Russian Journal of Forest Science, 2021, no. 6, pp. 609–626. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S002411482106005X>

5. Житков А.В., Мазарский С.М. Хранение и подготовка древесного сырья в целлюлозно-бумажном производстве. М.: Лесн. пром-сть, 1980. 224 с.

Zhitkov A.V., Mazarskij S.M. *Storage and Preparation of Wood Raw Materials in Pulp and Paper Production*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1980. 224 p. (In Russ.).

6. 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 растит. сырья. 2005. № 2. С. 15–20.

Levdanskij V.A., Kuznetsov B.N., Polezhaeva N.I. The Effect of Activation of Birch Bark with Superheated Steam on the Yield and Composition of Extracts Containing Betulin and Tannins. *Khimija Rastitel'nogo Syr'ja*, 2005, no. 2, pp. 15–20. (In Russ.).

7. Павлова О.О. Возможности применения бетулина у больных хроническим гепатитом С // Вят. мед. вестн. 2006. № 2. С. 53.

Pavlova O.O. Possibilities of Using Betulin in Patients with Chronic Hepatitis C. *Vyatskij meditsinskij vestnik* = Medical Newsletter of Vyatka, 2006, no. 2, p. 53.

8. Патент № 78328. Способ отделения бересты от березовой коры: № 393230: заявл. 12.03.1949; опубл. 01.01.1950 / И.Г. Поварин; заявитель И.Г. Поварин.

Povarin I.G. *Method for Separating Birch Bark from Birch Bark*. Patent USSR, no. 78328, 1950. (In Russ.).

9. Патент №1428576. Способ переработки березовой коры на бересту и луб: № 1219356: заявл. 20.04.1987; опубл. 30.04.1989 / В.Е. Воскресенский, М.Б. Маркович, Г.Д. Кзак, К.Н. Токарева; заявитель Ленинградск. лесотехн. акад. им. С.М. Кирова.

Voskresenskij V.E., Markovich M.B., Kzak G.D., Tokareva K.N. *Method of Processing Birch Bark into Birch Bark and Bast*. Patent USSR, no. 1428576, 1989. (In Russ.).

10. Патент № 2288093 С1 РФ, МПК В27L 11/02. Способ получения бересты: № 2004136877/12: заявл. 16.12.2004; опубл. 27.11.2006. Бюл. № 33 / В.В. Балакшин, А.Н. Чистяков; заявитель ООО «Березовый мир».

Balakshin V.V., Chistyakov A.N. *Method of Obtaining Birch Bark*. Patent RF, no. 288093 С1, 2006. (In Russ.).

11. Патент № 2305550 С1 РФ, МПК А61К 36/13. Способ переработки березовой коры: № 2006137030/15: заявл. 19.10.2006; опубл. 10.09.2007. Бюл. № 25 / Г.В. Сироткин, А.Р. Мифтахов, Ю.А. Кульгашов, Н.Н. Махова, М.В. Толина; заявитель Г.В. Сироткин.

Sirotkin G.V., Miftakhov A.R., Kul'gashov Yu.A., Makhova N.N., Tolina M.V. *Method of Processing Birch Bark*. Patent RF, no. 2305550 С1, 2007. (In Russ.).

12. Патент № 2618892, МПК А61К 36/185, В01D 11/02, А61К 129/00. Способ комплексной переработки коры березы: № 2016120506: заявл. 25.05.2016; опубл. 11.05.2017. Бюл. № 14 / Б.Н. Кузнецов, И.Г. Судакова, С.А. Кузнецова, Л.И. Гришечко, Г.П. Скворцова, Е.В. Веприкова, В.А. Левданский; заявитель ФИЦ КНЦ СО РАН.

Kuznetsov B.N., Sudakova I.G., Kuznetsova S.A., Grishechko L.I., Skvortsova G.P., Veprikova E.V., Levdanskij V.A. *Method of Complex Processing of Birch Bark*. Patent RF, no. 2618892, 2017. (In Russ.).

13. Патент № 2683634 С1 РФ, МПК С07J 53/00, С07J 63/00, В01D 11/04. Способ получения бетулина: № 2018116921: заявл. 07.05.2018; опубл. 29.03.2019 / А.В. Сафина, Д.Ф. Зиатдинова, Н.Ф. Тимербаев, Д.М. Сайфутдинов, Р.Р. Сафин, Р.Г. Сафин, Г.Р. Арсланова, Д.А. Шайхутдинова, Д.Р. Абдуллина; заявитель ФГБОУ ВО «КНИТУ».

Safina A.V., Ziatdinova D.F., Timerbaev N.F., Sajfutdinov D.M., Safin R.R., Safin R.G., Arslanova G.R., Shajkhutdinova D.A., Abdullina D.R. *Method of Betulin Extraction*. Patent RF, no. 2683634 C1, 2019. (In Russ.).

14. Сафина А.В., Зиятдинова Д.Ф., Назипова Л.Р., Сафин Р.Г., Валеев К.В. Инженерная методика расчета установки извлечения бетулина из бересты березы // Изв. вузов. Лесн. журн. 2024. № 1. С. 195–207.

Safina A.V., Ziatdinova D.F., Nazipova L.R., Safin R.G., Valeev K.V. The Engineering Procedure for Calculating the Plant for Betulin Extraction from Birch Bark. *Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal*, 2024, no. 1, pp. 195–207. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2024-1-195-207>

15. Третьяков С.И., Коптелова Е.Н., Кутакова Н.А., Владимирова Т.М., Богданович Н.И. Бетулин: получение, применение, контроль качества: моногр. Архангельск: САФУ, 2015. 180 с.

Tret'yakov S.I., Koptelova E.N., Kutakova N.A., Vladimirova T.M., Bogdanovich N.I. *Betulin: Production, Application, Quality Control*: Monograph. Arkhangelsk, Northern (Arctic) Federal University Publ., 2015. 180 p. (In Russ.).

16. Черняева Г.Н., Долгодворова С.Я., Бондаренко С.М. Экстрактивные вещества березы. Красноярск: Ин-т леса и древесины СО РАН, 1986. 123 с.

Chernyaeva G.N., Dolgodvorova S.Ya., Bondarenko S.M. *Extractive Substances of Birch*. Krasnoyarsk, Institute of Forest and Wood (Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences), 1986. 123 p. (In Russ.).

17. Шегельман И.Р., Кузнецов А.В. Эффективное использование лесных ресурсов. Петрозаводск: ПетрГУ, 2008. 88 с.

Shegel'man I.R., Kuznetsov A.V. *Efficient Use of Forest Resources*. Petrozavodsk, Petrozavodsk State University Publ., 2008. 88 p. (In Russ.).

18. Шегельман И.Р., Скадорва И.В. Комплексное использование лесных ресурсов. Петрозаводск: ПетрГУ, 2000. 40 с.

Shegel'man I.R., Skadorva I.V. *Integrated Use of Forest Resources*. Petrozavodsk, Petrozavodsk State University Publ., 2000. 40 p. (In Russ.).

19. Krasutsky P.A. Birch Bark Research and Development. *Natural Product Reports*, 2006, vol. 23, iss. 6, pp. 919–942. <https://doi.org/10.1039/B606816B>

20. Krasutsky P.A., Carlson R.M., Nesterenko V.V., Kolomitsyn I.V., Edwardson C.F. *Birch Bark Processing and the Isolation of Natural Products from Birch Bark*. Patent US, no. 2002/0043577 A1, 2002.

21. Réh R., Krišťák L., Sedláčik J., Bekhta P., Božiková M., Kunecová D., Vozárová V., Tudor E.M., Antov P., Savov V. Utilization of Birch Bark as an Eco-Friendly Filler in Urea-Formaldehyde Adhesives for Plywood Manufacturing. *Polymers*, 2021, vol. 13, no. 4, art. no. 511. <https://doi.org/10.3390/polym13040511>

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest