

ТЕХНОЛОГИЯ ЗАГОТОВКИ И МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ

УДК 674.817

DOI: 10.64430/1993-0135-2026-2-95-104

Хвойные бореальной зоны. 2026. Т. XLIV, № 2. С. 95–104

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПЛИТНОГО МАТЕРИАЛА РАЗЛИЧНОЙ ПЛОТНОСТИ ИЗ КОРЫ ЛИСТВЕННЫХ ПОРОД ДРЕВЕСИНЫ

А. И. Криворотова, В. Д. Эскин, В. Р. Эскина, Р. Р. Литвин

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газеты «Красноярский рабочий», 31
E-mail: aikrivorotova@mail.sibsau.ru

Аннотация. В работе представлены результаты исследований физико-механических свойств плитных материалов, изготовленных из гидродинамически обработанных корьевых масс лиственных пород древесины: березы и осины, а также их смеси. В исходном сырье первой группы плитных материалов на основе коры березы практически полностью преобладала внешняя часть коры (береста), во второй группе использовалась кора осины. В третьей группе образцов из смеси коры березы и осины содержание бересты и луба у березы не контролировалось, соотношение коры березы и осины составило 50/50. Плотность плитных материалов варьировалась от 850 до 1050 кг/м³. Прочность при изгибе для плотности 850 кг/м³ в зависимости от породного состава гидродинамически обработанной коревой массы составила от 16,7 до 17,8 МПа, для плотности 950 кг/м³ – от 19,4 до 20,1 МПа и для плотности 1050 кг/м³ – от 21,7 до 24,1 МПа. Показатели водопоглощения за 24 ч составили от 9,62 до 18,24 %, разбухания за 24 ч – от 6,93 до 13,81 % в зависимости от плотности плит и породного состава гидродинамически обработанной коревой массы. Сравнительный анализ свойств плитных материалов, изготовленных из коры лиственных пород древесины, измельченной с использованием метода гидродинамической обработки, показал, что физико-механические свойства плит незначительно зависят от породного состава коревой массы. В большей степени прочность при изгибе, водопоглощение и разбухание плит на основе гидродинамически обработанной коры лиственных пород зависят от плотности плит, чем от породного состава обрабатываемой коры.

Ключевые слова: кора, береза, осина, лиственные породы, луб, береста, измельчение, экстракция, плитный материал, физико-механические свойства, разбухание, водопоглощение, гидродинамическая обработка, прессование, отходы.

Conifers of the boreal area. 2026, Vol. XLIV, No. 2, P. 95–104

INVESTIGATION OF THE PROPERTIES OF HARDWOOD BARK BOARD MATERIAL WITH VARIOUS DENSITIES

A. I. Krivorotova, V. D. Eskin, V. R. Eskina, R. R. Litvin

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarskii rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
E-mail: aikrivorotova@mail.sibsau.ru

Abstract. The paper presents the results of the studies of the physico-mechanical properties of board materials made from hydrodynamically treated bark masses of hardwood species: birch and aspen, as well as their mixtures. The initial raw materials of the first group of board materials based on birch bark were almost dominated by the outer part of the bark (birch bark), aspen bark was used in the second group. In the third group of samples from a mixture of birch bark and aspen, the content of birch bark and bast in birch was not controlled, the ratio of birch bark and aspen was 50/50. The density of the board materials ranged from 850 to 1050 kg/m³. The bending strength for a density of 850 kg/m³, depending on the species composition of the hydrodynamically treated bark mass, ranged from 16.7 to 17.8 MPa, for a density of 950 kg/m³ – from 19.4 to 20.1 MPa, and for a density of 1050 kg/m³ – from 21.7 to 24.1 MPa. The water absorption indicators in 24 hours ranged from 9.62 to 18.24 %, swelling in 24 hours – from 6.93 to 13.81 % depending on the density of the boards and the species composition of the hydrodynamically treated bark mass. A comparative analysis of the properties of board materials made from hardwood bark milled with the help of the hydrodynamic

processing method has shown that the physical and mechanical properties of the boards slightly depend on the species composition of the bark mass. To a greater extent, the bending strength, water absorption and swelling of hydrodynamically treated hardwood bark board materials depend on the density of the boards rather than on the species composition of the bark.

Keywords: bark, birch, aspen, hardwoods, bast, birch bark, milling, extraction, board material, physical and mechanical properties, swelling, water absorption, hydrodynamic treatment, pressing, wastes.

ВВЕДЕНИЕ

Согласно данным Государственного лесного реестра общий запас древесины в 2024 году на территории Российской Федерации составлял 82,3 млрд м³. Наибольшую долю от площади лесов традиционно занимает лиственница (28,1 %), на втором месте по занимаемой площади находится сосна – 19,2 %, на долю березы приходится 16,4 % площади лесов [1]. Древесина хвойных пород перерабатывается в деловые пиломатериалы для строительства и производства столярных изделий (окна, двери, паркет, мебель). Лиственные породы древесины в основном используются в фанерном производстве для получения лушеного шпона. Объемы производства фанерных плит ежегодно увеличиваются ввиду высокого спроса внутри страны и на рынках Ближнего Востока и Азии. Суммарно 70 % всего объема экспортируемой фанеры приходится на Сингапур, Китай, Турцию, ОАЭ и Азербайджан [2]. По данным источника [3] начало 2024 года характеризовалось достаточно высоким ростом объемов производства фанеры на 21,4 %, что составляет 546 тыс. м³ готовой продукции. Повышение спроса на фанерные плиты также связано с разработкой новых видов продукции, например, высокопрочной композиционной фанеры, огнеупорной, ламинированной, декоративной и водостойкой фанеры. К отдельному виду фанерной продукции можно отнести латофлексы, применяемые при изготовлении мягкой мебели [4].

Высокие объемы производства приводят к генерированию значительного количества отходов. К основным технологическим отходам фанерного производства можно отнести шпон-рванину, карандаши, отторцовки бревен, мелкоразмерный кусковой шпон, не пригодный для ребросклеивания, и отходы коры. Подобные виды отходов за исключением коры могут быть переработаны в древесную стружку, щепу или муку для дальнейшего использования в технологических процессах производства древесно-стружечных или древесно-волоконистых плит, топливных брикетов и гранул, древесно-полимерных композитов. Отходы окорки в таких производствах остаются невостребованными.

Согласно источнику [5] на фанерно-мебельных комбинатах и иных ведущих предприятиях страны ежедневно образуется до 4,3 т неиспользуемой березовой коры и это несмотря на то, что березовая кора является ценным источником бетулина, суберина, таннидов, которые являются востребованным сырьем для химической отрасли [6–8]. Сложность переработки березовой коры для других отраслей заключается в том, что анатомический и химический состав лубяной части коры березы, составляющей ее основную часть (порядка 80 %), и бересты существенно различается

[9]. Вследствие этого для получения полезных продуктов из коры необходимо отделение луба от бересты в процессе ее переработки и, прежде всего, в процессе измельчения.

Качественное измельчение коры до однородной, гомогенной массы, обеспечивающей равномерность свойств в структуре материала, позволит вовлечь её в различного типа технологии, например, получение топливных брикетов и гранул, плитных материалов [10–12]. Существует целый ряд разработок, которые позволяют упростить процесс разделения бересты и луба, однако большая часть из них предназначена для дальнейшего извлечения экстрактивных веществ.

Для отделения лубяной части от бересты автором патента [13] предложен способ, при котором кору березы обрабатывают кипячением в воде в течение 2 часов с целью размягчения луба, после чего механическим воздействием (соскабливанием, прокатыванием коры в барабане) бересту отделяют от луба. Затем бересту сушат до влажности 3–6 %, после чего возможно извлечение из неё дёгтя.

В патенте [14] предложен способ получения бересты путем отбора березовой коры, не имеющей примесей древесины, подсушивание коры до влажности 20–25 % с последующим измельчением и просеиванием массы через сито для отделения луба от бересты. Измельчение производят в молотковой дробилке при скорости вращения вала не более 1800 об/мин. Согласно работе способ позволяет обеспечить получение биологически активных веществ.

Отделение бересты от луба позволяет повышать качество и чистоту извлекаемых из бересты и луба экстрактивных веществ, однако разделение частей коры труднореализуемо и организация такого высокопроизводительного предприятия затруднительна. В работе [15] предложен способ совмещенной переработки бересты и луба путем СВЧ-экстракции. Измельчение коры производилось на дробилке истирающего типа, после чего кора сортировалась по фракциям. В измельченную кору разных фракций добавляли 86%-й спирт и экстрагировали 10 минут. После чего вакуумом отфильтровывали экстракт и получали бетулин.

В работе [16] отмечено, что в процессе измельчения березовой коры без разделения бересты и луба с последующим фракционированием наблюдается явное разделение, береста остается в крупной фракции, частицы луба в большинстве переходят в мелкую фракцию. Данный факт может быть связан с существенными различиями физических свойств лубяной части коры и бересты. Сложности с измельчением коры березы обусловлены в первую очередь многослойным строением бересты [17; 18]. Благодаря слоистому строению береста при механическом воздей-

вии поглощает деформации, не разрушаясь, в отличие от коры хвойной древесины. Лубяная часть коры также обладает высокой прочностью, хотя в значительно лучшей степени подвергается измельчению. Как отмечено в работе [19], основная сложность измельчения заключается в строении березовой коры и её высокой сопротивляемости резанию. С целью получения из коры березы мелкодисперсной гомогенной шихты, применяемой для производства топливных гранул, авторами предложен способ предварительной термомодификации коры при температуре 250 °C с целью повышения её хрупкости.

Известен опыт получения топливных гранул отходов окорки [20]. Авторами получены топливные гранулы из коры сосны и березы. Предварительно кора измельчалась в роторном ножевом измельчителе, затем кора подвергалась воздействию микроволнового излучения, что вызывало выделение из коры водяных паров, после чего на пресс-грануляторе изготавливались топливные гранулы. Отмечается, что гранулы из коры березы более рыхлые и матовые, в сравнении с гранулами, полученными на основе сосновой коры.

Авторами работы [21] предложен способ получения топливных гранул из березовой коры с гомогенизацией и гранулированием после предварительной термомодификации коры. Авторы утверждают, что в процессе термомодификации кора превращается в хрупкое легко измельчаемое тело. Также отмечается, что теплопроводная способность березовой коры сравнима с традиционными древесными отходами (кроме стружки и щепы).

Таким образом, переработка березовой коры в топливные гранулы возможна и обладает существенным потенциалом, однако основной проблемой остаются высокие трудозатраты при подготовке коры к гранулированию.

Аналогичная проблема подготовки коры к использованию существует и в технологических процессах производства плитных материалов. В последнее десятилетие ведутся целенаправленные исследования по поиску возможностей адаптации традиционных подходов измельчения для коры, а также предлагается большое количество инновационных подходов к процессу переработки древесной коры в плитные материалы.

Использование березовой коры в качестве наполнителя или самостоятельного сырья для получения плитных материалов позволит прийти к решению целого ряда задач: снизить себестоимость готовой продукции за счет использования отходов производства, решить экологическую проблему утилизации и переработки отходов древесины, получить экологичную продукцию без использования синтетических связующих.

В работе [22] авторами получен плитный материал из внешней части березовой коры – бересты и коры сосны. Образцы материала изготавливались двумя способами: с использованием связующего (карбамидоформальдегидной смолы) и без использования связующих. Кора высушивалась и измельчалась с дальнейшей сортировкой. Для прессования брали частицы коры с размером от 20 до 40 мм. Измельченные час-

тицы укладывали между листами лущеного шпона. Прессование осуществлялось при 160 °C продолжительностью 20 мин. Средняя плотность образцов с использованием связующего составила порядка 717 кг/м³, без связующего – около 753 кг/м³. Авторами установлено, что при выдерживании образцов, изготовленных без связующего в течение 60 мин в воде, образцы разрушаются. Связующее в составе образцов позволяет повысить устойчивость материала к влаге.

В работе [23] получены плиты из березовой коры. Предварительно измельченная кора с размерами частиц не более 40 мм подвергалась прессованию при температуре 150 °C без использования связующих. Время выдержки 15 минут. Толщина плит составила 13,5 мм. Плотность – 716 кг/м³. Предел прочности при изгибе – 3,02 МПа. Авторы отмечают следующее: помимо низких прочностных показателей плит в процессе их изготовления происходит обугливание поверхностных слоев.

Можно предположить, что неудовлетворительные показатели водостойкости и низкие показатели прочности материалов из коры березы, представленные в работах выше, обусловлены крупными размерами прессуемых частиц. Как результат поверхность контакта между такими частицами недостаточна для образования связей, способных сохранять свою прочность при воздействии влаги. Использование мелкоизмельченных частиц коры должно способствовать обеспечению высоких показателей прочности и водостойкости.

Работа [24] посвящена получению композиционного плитного материала на основе березовой коры, подвергнутой предварительной активации методом взрывного автогидролиза (ВАГ). Гидролизованная кора подвергалась горячему прессованию при температурах 170, 180 и 190 °C. Прочность при статическом изгибе образцов изменялась в диапазоне от 5,6 до 22,8 МПа, плотность от 947 до 1057 кг/м³. Отмечается, что при повышении температуры прессования возрастают показатели прочности. Авторы связывают это с тем, что увеличение температуры сопровождается вовлечением большого числа реакционноспособных групп в процесс поликонденсации, что приводит к увеличению количества связей и, как следствие, к увеличению прочности.

В работе [25] предложен вариант получения древесно-волоконистых плит на основе коры березы. Согласно работе предварительно измельченная березовая кора разделяется на луб и бересту, после чего бересту измельчают до степени помола 20–21 дефибратор-секунд. Далее измельченная кора, смешанная с водой, поступает на отлив. Прессование ковра осуществляется при температуре прессования 190 °C и давлении прессования 5,5 МПа в течение 8 минут. После прессования на поверхность плиты наносят связующее, в качестве которого выступает таловое масло. Затем плита высушивается при температуре 160 °C в течение 5–6 часов. Свойства плит, получаемых данным способом, следующие: предел прочности при изгибе – 55,2 МПа, водопоглощение за 24 часа – 11,8 %, набухание по толщине – 7,1 %.

Принципиально новым способом подготовки березовой коры к прессованию может служить гидродинамическая обработка с эффектом кавитации. В ранее проведенных работах [26; 27] установлена возможность предварительной подготовки коры хвойных пород древесины перед прессованием в гидродинамическом диспергаторе с целью получения однородной гомогенной массы, обладающей большой удельной поверхностью и способной к образованию прочных связей в процессе прессования материала.

Целью работы является исследование возможности получения плитного материала без связующих веществ из гидродинамически обработанной коры березы и осины без разделения лубяной части и бересты для березы с последующим определением основных физико-механических показателей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве сырья для плитного материала без связующих использовалась кора березы и осины, отобранная на предприятии, занимающимся выпуском фанерной продукции. Березовая кора для одной из групп изготовленных образцов не разделялась на луб и бересту, количество лубяной части не нормировалось. Для изготовления образцов другой группы отбиралась кора, в массе которой преобладала внешняя часть коры – береста. Количество древесины в коре не превышало 10 %. Влажность отходов окорки составила от 30 до 75 %. Кора березы и осины по отдельности измельчалась во влажном состоянии в мельнице молоткового типа до фракции не более 7 мм. Измельченная кора осины и березы предварительно замачивалась на 2 часа в воде, что позволяет существенно сократить цикл гидродинамической обработки в диспергаторе РГГД-1 [28]. Обработка при концентрации частиц коры в воде равной 8 % производится до образования однородной массы, не имеющей в составе включений крупных частиц. Размеры частиц коры березы и осины после гидродинамической обработки

составили менее 1 мм. Для обезвоживания используется отливное сито. После отлива влажность корьевых масс составляла от 350 до 500 % для березовой коры и от 420 до 600 % для осиновой коры.

После обезвоживания массы подпрессовывались в пресс-форме. Применение операции подпрессовки позволяет дополнительно отжать корьевую массу и снизить влажность пакета перед горячим прессованием. Металлическая пресс-форма имеет перфорированное дно, на которое уложена фильтровальная сетка, и пуансон. Давление подпрессовки 0,8 МПа. Влажность пакета плит перед прессованием составляет от 180 до 210 %. Корьевые пакеты прессовались согласно следующим режимным параметрам: температура прессования 210 °С, удельное давление 3 МПа; удельная продолжительность выдержки 3,1 мин/мм. Толщина изготовленных плит составила 8 мм, плотность варьировалась от 850 до 1050 кг/м³. После выдержки плит в течение 24 ч производилась форматная обрезка и изготовление образцов для проведения физико-механических испытаний.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ И ОБСУЖДЕНИЕ

В соответствии с представленной выше методикой для проведения сравнительного анализа свойств плит были изготовлены три группы образцов. Первая группа на основе коры березы, в составе которой практически полностью преобладала внешняя часть коры (береста). Вторая группа образцов была изготовлена из коры осины. Третья группа образцов из смеси коры березы и осины, при этом у березы содержание в коре бересты и луба не контролировалось. Соотношение коры березы и осины выдерживалось 50/50.

На рис. 1, 3, 5 представлены гистограммы сравнения показателей прочности при изгибе, водопоглощения лицевой поверхностью за 24 ч и разбухания за 24 ч образцов плитного материала плотностью 850, 950 и 1050 кг/м³.

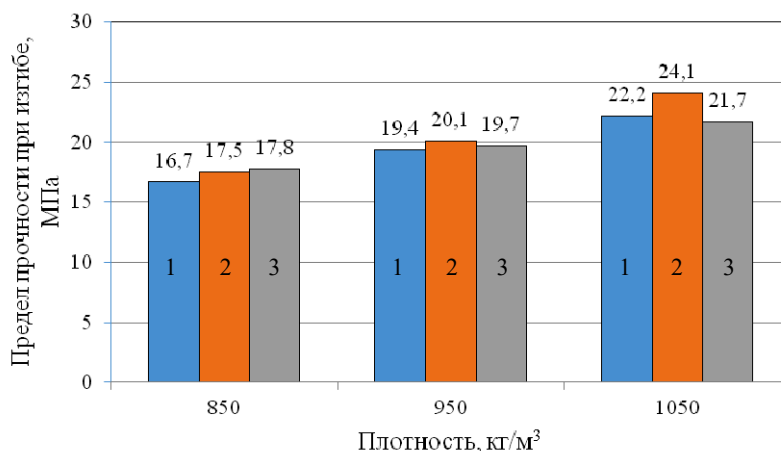


Рис. 1. Сравнительная гистограмма показателя прочности при изгибе образцов на основе гидродинамически обработанной коры:
1 – кора березы; 2 – кора осины; 3 – кора лиственных пород (береза, осина)

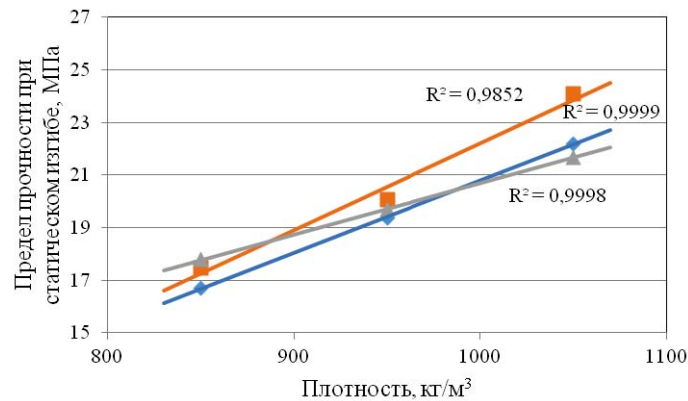


Рис. 2. График зависимости прочности при изгибе образцов на основе гидродинамически обработанной коры:
 ◆ – кора березы; ■ – кора осины; ▲ – кора лиственных пород (береза, осина)

Как видно из рис. 1 все образцы изготовленных плит имеют близкие показатели прочности при изгибе вне зависимости от породного состава коры. Разница в прочностных показателях для образцов плит одной группы плотности находится в диапазоне от 0,7 до 2,4 МПа. Более выражено прочность при изгибе меняется в зависимости от плотности образцов, что наглядно видно на рис. 2. Такой вид зависимости соответствует стандартным представлениям о влиянии плотности на прочность традиционных материалов на основе измельченных древесных частиц [29]. Диапазон изменения прочности при увеличении плотности от 850 до 1050 кг/м³ составляет в зависимости от породного состава коревой массы от 3,9 до 6,6 МПа. При этом графики линейных зависимостей расположены достаточно близко друг к другу, что также может свидетельствовать о том, что свойства плитных материалов на основе гидродинамически обработанной коры зависят, прежде всего, от степени измельчения коры и времени ее обработки, а также от условий прессования, и незначительно зависят от породного состава коревой массы.

Полученные в результате математической обработки экспериментальных данных уравнения регрессии имеют следующий вид:

– для образцов на основе коры березы:

$$\sigma_{\text{изг}} = -4,69167 + 0,0275 \cdot \rho;$$

– для образцов на основе коры осины:

$$\sigma_{\text{изг}} = -8,78333 + 0,033 \cdot \rho;$$

– для образцов на основе смешанного состава коры:

$$\sigma_{\text{изг}} = 3,20833 + 0,0195 \cdot \rho.$$

Коэффициенты регрессии составили соответственно: 0,985; 0,999; 0,999.

Важнейшим эксплуатационным показателем плитных материалов на основе измельченной древесины является их водостойкость. В зависимости от типа плит: древесно-стружечные, древесно-волоконные, МДФ, водостойкость нормируется через показатели водопоглощения и разбухания. Согласно стандартам [30–32] для древесно-волоконных плит мокрого способа производства нормируется показатель разбухания по толщине за 24 ч и показатель водопоглощения лицевой поверхностью за 24 ч; для

древесно-волоконных плит сухого способа производства – показатель разбухания по толщине за 24 ч; для древесно-стружечных плит данные показатели не нормируются, однако указывается, что плиты должны эксплуатироваться в сухих условиях.

На рис. 3 представлена сравнительная гистограмма показателя водопоглощения для рассматриваемых групп образцов. Наименьшими показателями водопоглощения обладают плиты на основе гидродинамически обработанной коры березы. В зависимости от плотности водопоглощение варьируется от 7,62 до 10,12 %. Наибольшими показателями обладает материал на основе гидродинамически обработанной смеси коры лиственных пород древесины (береза, осина) занимает промежуточное значение.

Низкие показатели водопоглощения материала на основе коры березы можно объяснить ее физическим строением и химическим составом. Как было отмечено выше, березовая кора имеет две четко определенные части – внешнюю и внутреннюю, которые имеют значительные отличия по химическому составу. Наибольшее количество экстрактивных веществ находится во внешней части коры бересты [33]. Экстрактивные вещества, извлекаемые из луба березовой коры, отличаются от экстрактивных веществ из бересты и количественным, и качественным составом. Физически береста обладает более плотной структурой, меньшей смачиваемостью поверхности, малой впитываемостью. Луб более пористый, менее плотный. Для экспериментальных исследований в образцы из коры березы в качестве исходного сырья большей частью отбиралась именно внешняя часть коры (береста), при изготовлении образцов материала на основе лиственных пород древесины использовались кора березы без предварительной сортировки. Такой способ отбора исходного сырья для образцов позволил провести сравнительный анализ свойств полученных плитных материалов и оценить степень необходимости отделения бересты от луба в производственном процессе как в случаях применения березовой коры для получения экстрактивных веществ.

Результаты математической обработки экспериментальных данных, описывающие зависимости водопоглощения следующие:

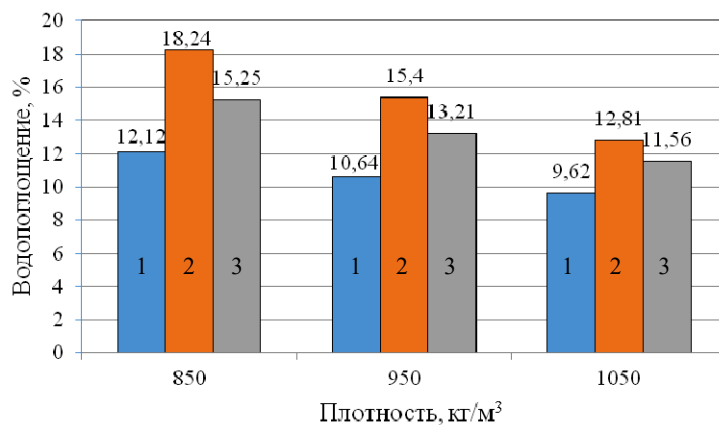


Рис. 3. Сравнительная гистограмма показателя водопоглощения образцов на основе гидродинамически обработанной коры:

1 – кора березы; 2 – кора осины; 3 – кора лиственных пород (береза, осина)

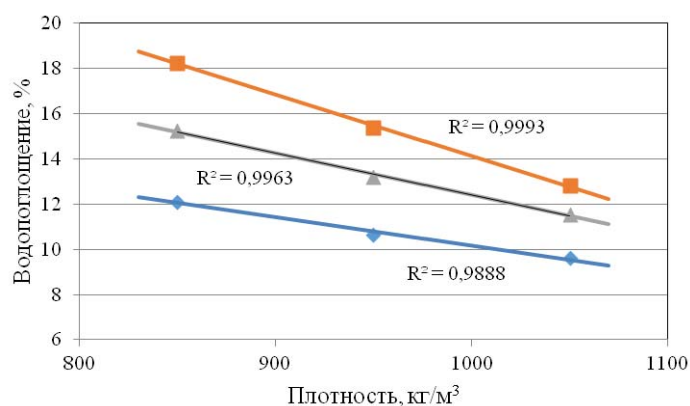


Рис. 4. График зависимости водопоглощения образцов на основе гидродинамически обработанной коры:

♦ – кора березы; ■ – кора осины; ▲ – кора лиственных пород (береза, осина)

– для образцов на основе коры березы:

$$W = 20,6683 - 0,0125 \cdot \rho; R^2 = 0,988;$$

– для образцов на основе коры осины:

$$W = 39,2758 - 0,02715 \cdot \rho; R^2 = 0,999;$$

– для образцов на основе смешанного состава коры:

$$W = 28,8675 - 0,01845 \cdot \rho; R^2 = 0,996.$$

На рис. 5 приведена сравнительная гистограмма показателя разбухания плит за 24 ч. Как видно из гистограммы тенденция изменения показателей разбухания соответствует картине изменения показателей водопоглощения. Наименьшие показатели разбухания наблюдаются у образцов плит из гидродинамически обработанной коры березы, наибольшие из обработанной коры осины. Минимальным показателем обладает плита на основе гидродинамически обработанной коры березы плотностью 1050 кг/м³ – 6,93 %, наибольшим показателем разбухания обладает плита на основе гидродинамически обработанной коры осины плотностью 850 кг/м³ – 13,81 %.

При описании зависимости показателя разбухания от плотности плит исследуемых образцов, рисунок 6, уравнения регрессии имели следующий вид:

– для образцов на основе коры березы:

$$\Delta = 15,0383 - 0,0097 \cdot \rho;$$

– для образцов на основе коры осины:

$$\Delta = 25,2358 - 0,01595 \cdot \rho;$$

– для образцов на основе смешанного состава коры:

$$\Delta = 19,1225 - 0,01095 \cdot \rho.$$

При исследовании показателей разбухания и водопоглощения было отмечено, что образцы плитных материалов на основе трех групп образцов отличались насыщенностью цвета плит после выдержки в воде, при этом центральная часть плитного материала цвет не изменяла. Это можно объяснить различной степенью смачиваемости поверхности плит, изготовленных на основе коры разного породного состава. Подтверждением данного предположения служат проведенные исследования по определению краевого угла смачивания поверхности плит, изготовленных из гидродинамически обработанной коры березы, осины и смеси данных пород. Краевой угол смачивания воды для плит на основе гидродинамически обработанной коры березы имеет наиболее высокие значения в сравнении с плитами на основе обработанной коры осины.

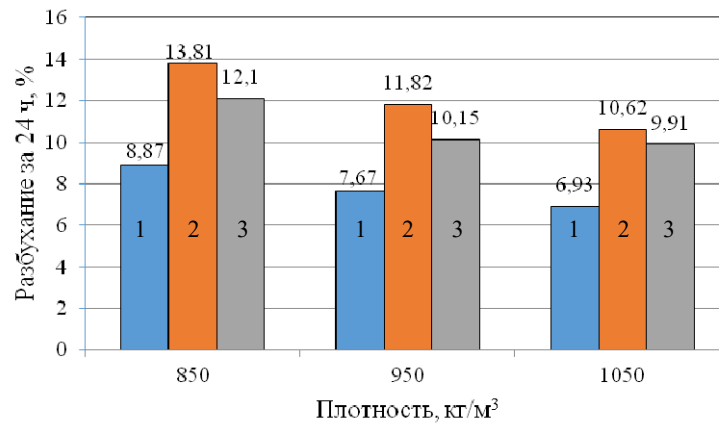


Рис. 5. Сравнительная гистограмма показателя разбухания образцов на основе гидродинамически обработанной коры:

1 – кора березы; 2 – кора осины; 3 – кора лиственных пород (береза, осина)

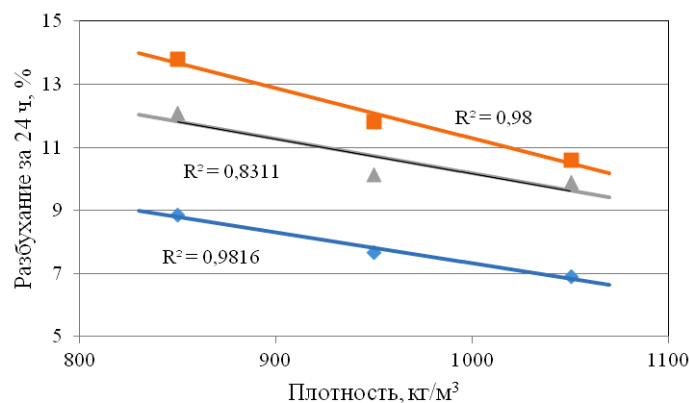


Рис. 6. График зависимости разбухания образцов на основе гидродинамически обработанной коры:

♦ – кора березы; ■ – кора осины; ▲ – кора лиственных пород (береза, осина)

ВЫВОДЫ

1. Сравнительный анализ свойств плитных материалов, изготовленных с использованием для измельчения коры основных лиственных пород, применяемых в фанерном производстве, метода гидродинамической обработки показал, что физико-механические свойства плит зависят, прежде всего, от степени измельчения коры и времени ее обработки, и незначительно зависят от породного состава коревой массы.

2. Наилучшими показателями обладают плиты на основе гидродинамически обработанной коры березы, в большей своей массе содержащей внешнюю часть коры бересты. Отличие в показателях водопоглощения плитного материала на основе коры березы объясняется ее физическим строением и химическим составом.

3. Плиты на основе гидродинамически обработанной коры лиственных пород древесины имеют близкие значения показателей водопоглощения и разбухания, следовательно, можно говорить, что водостойкость получаемых материалов мало зависит от породного состава используемой для гидродинамической обработки коры.

4. Прочностные свойства, водопоглощение, разбухание плит на основе гидродинамически обработанной коры лиственных пород в большей степени зависят от плотности плит, чем от породного состава обрабатываемой коры.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Федеральное агентство лесного хозяйства [Электронный ресурс] // Рослесхоз: запасы древесины в 2024 году. URL: <https://rosleshoz.gov.ru/news/federal/rosleskhoz-zapas-drevesiny-v-2024-godu-vyros-na-16-mln-m3/> (дата обращения: 08.10.2025).
2. ЛесПромИнформ [Электронный ресурс]. 2025. № 4 (188) // Российский рынок фанеры после кризиса. URL: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=6878> (дата обращения: 08.10.2025).
3. BUMANS [Электронный ресурс] // Динамика производства и экспорта фанеры в России в 2024 году. URL: <https://bumans.ru/stati/dinamika-proizvodstva-i-eksporta-fanery-v-rossii-v-2024-godu/> (дата обращения: 14.10.2025).
4. ЛесПромИнформ [Электронный ресурс]. 2023. № 4 (174). // Фанерные предприятия России: состояние и перспективы. URL: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=6533> (дата обращения: 14.10.2025).
5. Инженерная методика расчета установки извлечения бегулина из бересты березы / А. В. Сафина, Д. Ф. Зиятдинова, Л. Р. Назипова [и др.] // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2024. № 1 (397). С. 195–207.
6. Решетник Е. И., Максимюк В. А. Перспективы использования экстракта коры березы в технологии функциональных продуктов питания // Агропромыш-

ленный комплекс: проблемы и перспективы развития : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. Году экологии в России. В 2-х ч., Благовещенск, 05 апреля 2017 года. Ч. 1. Благовещенск : Дальневосточ. гос. аграр. ун-т, 2017. С. 149–152.

7. Тургунбаев Ш. Ш., Хаитбаев А. Х. Получение экстрактивных веществ березы // *Universum: химия и биология*. 2020. № 8-1(74). С. 27–31.

8. Suberin Fatty Acids from Outer Birch Bark: Isolation and Physical Material Characterization / J. Heinämäki, U. Paaver, K. Kogermann [et al.] // *Journal of Natural Products*. 2017. Vol. 80, No. 4. P. 916–924.

9. 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.

10. Conversion of birch bark to biofuels / I. Kumaniaev, K. Navare, N. Crespo Mendes [et al.] // *Green Chemistry*. 2020. Vol. 22, No. 7. P. 2255–2263.

11. Renewable pellets obtained from aspen and birch bark / R. Dumitrascu, A. Lunguleasa, C. Spirchez // *BioRes*. 2018. 13(3). P. 6985–7001.

12. The effect of birch-bark addition on the elemental composition and combustion characteristics of different types of biomass pellets / I. Barmina, M. Zake, R. Valdmanis [et al.] // *Chemical Engineering Transactions*. 2014. Vol. 39, Special Issue. P. 1525–1530.

13. Авторское свидетельство № 78328 А1 СССР, МПК В27J 3/00, В27K 1/02, В27L 1/00. Способ отделения бересты от березовой коры : № 393230 : заявл. 12.03.1949 : опубл. 01.01.1949 / И. Г. Поварнин.

14. Патент № 2288093 С2 Российская Федерация, МПК В27L 11/02. Способ получения бересты : № 2004136877/12 : заявл. 16.12.2004 : опубл. 27.11.2006 / В. В. Балакшин, А. Н. Чистяков ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью «Березовый мир».

15. Совмещенная переработка бересты и луба / А. И. Бадогина, С. И. Третьяков, Н. А. Кутакова [и др.] // Новейшие достижения в области инновационного развития в химической промышленности и производстве строительных материалов : Международная научно-техническая конференция, Минск, 18–20 ноября 2015 года. Минск : Белорусский государственный технологический университет, 2015. С. 370–372.

16. Extraction of betulin from the birch bark balance at pulp and paper production / E. N. Koptelova, N. A. Kutakova, S. I. Tretjakov [et al.] // *Wood Research*. 2020. Vol. 65, No. 5. P. 833–842.

17. Shibui H., Sano Y. Structure and formation of phellem of *Betula maximowicziana* // *IAWA Journal*. 2018. Vol. 39, No. 1. P. 18–36.

18. Krasutsky P. A. Birch bark research and development // *Natural Product Reports*. 2006. Vol. 23, No. 6. P. 919–942.

19. Энергетический потенциал биотоплива из коры лиственных пород древесины / В. И. Мелехов, О. Д. Мюллер, Н. Г. Пономарева [и др.] // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. 2019. № 3. С. 28–37.

20. Федосенко И. Г. Оценка возможности использования коры деревьев, произрастающих в Республи-

ке Беларусь, для производства гранул // Труды БГТУ. Серия 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2021. № 2(246). С. 284–289.

21. Пономарева, Н. Г. Переработка древесной коры в энергоэффективное топливо / Н. Г. Пономарева, Т. В. Тюрикова // Форум молодых ученых. 2017. № 2(6). С. 214–218.

22. Коновалов К. Э., Микрюкова Е. В. Определение водостойкости плитных материалов из березовой и сосновой коры // Состояние и перспективы развития лесного комплекса в странах СНГ : сб. ст. II Междунар. науч.-техн. конф. в рамках Международного молодежного форума по лесопромышленному образованию (Лес–Наука–Инновации–2022), Минск, 06–09 декабря 2022 года / Белорусский государственный технологический университет. Минск : Белорусский государственный технологический университет, 2022. С. 110–113.

23. Семенова, Е. Г. Изготовление плитных материалов из березовой коры / Е. Г. Семенова // Молодые исследователи агропромышленного и лесного комплексов – регионам : сб. науч. тр. по результатам работы V Междунар. молодежной науч. практ. конф., Вологда–Молочное, 23 апреля 2020 года. Т. 3, ч. 1. Вологда–Молочное : Вологод. гос. молочнохозяйственная акад. им. Н. В. Верещагина, 2020. С. 252–255.

24. Плитный композиционный материал, полученный из коры березы после предварительной активации методом взрывного автогидролиза / Ю. Г. Скурыдин, Е. М. Скурыдина, В. В. Коньшин, Н. Ж. Юку // Новые достижения в химии и химической технологии растительного сырья : материалы VII Всерос. конф. с междунар. участием, Барнаул, 24–28 апреля 2017 года. Барнаул : Алтайский гос. ун-т, 2017. С. 337–338.

25. Патент № 2240334С1 Российская Федерация, МПК С08L 97/02. Композиция на древесной основе: №2003118707/04: заявл. 25.06.2003: опубл.20.11.2004/ Ю. И. Стернин, И. В. Юрченко, А. И. Загоруйко ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью «ТрансПлюс».

26. Эскин В. Д., Криворотова А. И., Ермолин В. Н. Влияние мелкодисперсной фракции на основные свойства пресс-массы и плитного материала без связующих веществ из коры *Pinus sylvestris* // Хвойные бореальной зоны. 2025. Т. 43, № 1. С. 78–84.

27. Эскин В. Д., Ермолин В. Н., Криворотова А. И. Конструкционные плиты из гидродинамически активированной коры сосны (*Pinus sylvestris*) без связующих веществ // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2024. № 5(401). С. 175–187.

28. Патент № 2818825 С1 Российская Федерация, МПК В27N 3/04. Способ изготовления корьевой плиты : № 2024105657 : заявл. 05.03.2024 : опубл. 06.05.2024 / В. Д. Эскин, А. И. Криворотова ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева».

29. Шварцман Г. М., Щедро Д. А. Производство древесностружечных плит. 4-е изд. перераб. и доп. М. : Лесная пром-сть, 1987. 320 с.

30. ГОСТ 10632–2014. Плиты древесно-стружечные. Технические условия. М. : Стандартинформ, 2014. 14 с.

31. ГОСТ 4598–2018. Плиты древесно-волоконистые мокрого способа производства. Технические условия. М. : Стандартинформ, 2019. 12 с.

32. ГОСТ 32274–2021. Плиты древесно-волоконистые сухого способа производства. Технические условия. М. : Российский институт стандартизации, 2021. 21 с.

33. Белякова А. Ю., Погребняк А. В., Погребняк Л. В. Физико-химические и биологические свойства компонентов внешней коры березы // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2-2. С. 492.

REFERENCES

1. Federal'noe agenstvo lesnogo hozyajstva [Elektronnyj resurs] // Rosleskhoz: zapasy drevesiny v 2024 godu. URL: <https://rosleskhoz.gov.ru/news/federal/rosleskhoz-zapas-drevesiny-v-2024-godu-vyros-na-16-mln-m3/> (data obrashcheniya: 08.10.2025).
2. LesPromInform [Elektronnyj resurs]. 2025. № 4 (188) // Rossijskij rynek fanery posle krizisa. URL: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=6878> (data obrashcheniya: 8.10.2025).
3. BUMANS [Elektronnyj resurs] // Dinamika proizvodstva i eksporta fanery v Rossii v 2024 godu. URL: <https://bumans.ru/stati/dinamika-proizvodstva-i-eksporta-fanery-v-rossii-v-2024-godu/> (data obrashcheniya: 14.10.2025).
4. LesPromInform [Elektronnyj resurs]. 2023. № 4 (174) // Fanernye predpriyatiya Rossii: sostoyanie i perspektivy. URL: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=6533> (data obrashcheniya: 14.10.2025).
5. Inzhenernaya metodika rascheta ustanovki izvlecheniya betulina iz beresty berezy / A. V. Safina, D. F. Ziatdinova, L. R. Nazipova [i dr.] // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Lesnoj zhurnal. 2024. № 1(397). S. 195–207.
6. Reshetnik E. I., Maksimyuk V. A. Perspektivy ispol'zovaniya ekstrakta kory berezy v tekhnologii funkcional'nyh produktov pitaniya // Agropromyshlennyy kompleks: problemy i perspektivy razvitiya : materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchennoj Godu ekologii v Rossii. V 2-h chastyah, Blagoveshchensk, 05 aprelya 2017 goda. Tom Chast' 1. Blagoveshchensk : Dal'nevostochnyj gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2017. S. 149–152.
7. Turgunbaev Sh. Sh., Haitbaev A. H. Poluchenie ekstraktivnyh veshchestv berezy // Universum: himiya i biologiya. 2020. № 8-1(74). S. 27–31.
8. Suberin Fatty Acids from Outer Birch Bark: Isolation and Physical Material Characterization / J. Heinämäki, U. Paaver, K. Kogermann [et al.] // Journal of Natural Products. 2017. Vol. 80, No. 4. P. 916–924.
9. Safin R. G., Valeev K. V., Fahrudinova L. R. Svoystva kory berezy, vliyayushchie na separatsiyu beresty ot luba // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Lesnoj zhurnal. 2025. № 1(403). S. 197–209.
10. Conversion of birch bark to biofuels / I. Kumaniaev, K. Navare, N. Crespo Mendes [et al.] // Green Chemistry. 2020. Vol. 22, No. 7. P. 2255–2263.
11. Dumitrascu R., Lunguleasa A., Spirchez C. Renewable pellets obtained from aspen and birch bark // BioRes. 2018. 13(3). P. 6985–7001.
12. The effect of birch-bark addition on the elemental composition and combustion characteristics of different types of biomass pellets / I. Barmina, M. Zake, R. Valdmans [et al.] // Chemical Engineering Transactions. 2014. Vol. 39, Special Issue. P. 1525–1530.
13. Avtorskoe svidetel'stvo № 78328 A1 SSSR, MPK B27J 3/00, B27K 1/02, B27L 1/00. Spособ otdeleniya beresty ot berezovoy kory : № 393230 : zayavl. 12.03.1949 : opubl. 01.01.1949 / I. G. Povarnin.
14. Patent № 2288093 C2 Rossijskaya Federaciya, MPK B27L 11/02. spособ polucheniya beresty : № 2004136877/12 : zayavl. 16.12.2004 : opubl. 27.11.2006 / V. V. Balakshin, A. N. Chistyakov ; zayavitel' Obshchestvo s ogranichennoj otvetstvennost'yu "Berezovyy mir".
15. Sovmeshchennaya pererabotka beresty i luba / A. I. Badogina, S. I. Tret'yakov, N. A. Kutakova [i dr.] // Novejshe dostizheniya v oblasti innovacionnogo razvitiya v himicheskoy promyshlennosti i proizvodstve stroitel'nyh materialov : Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferenciya, Minsk, 18–20 noyabrya 2015 goda. Minsk : Belorusskij gosudarstvennyj tekhnologicheskij universitet, 2015. S. 370–372.
16. Extraction of betulin from the birch bark balance at pulp and paper production / E. N. Koptelova, N. A. Kutakova, S. I. Tret'yakov [et al.] // Wood Research. 2020. Vol. 65, No. 5. P. 833–842.
17. Shibui H., Sano Y. Structure and formation of phellem of *Betula maximowicziana* // IAWA Journal. 2018. Vol. 39, No. 1. P. 18–36.
18. Krasutsky P. A. Birch bark research and development // Natural Product Reports. 2006. Vol. 23, No. 6. P. 919–942.
19. Energeticheskij potencial biotopliva iz kory listvennyh porod drevesiny / V. I. Melekhov, O. D. Myuller, N. G. Ponomareva [i dr.] // Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Materialy. Konstrukcii. Tekhnologii. 2019. № 3. S. 28–37.
20. Fedosenko I. G. Ocenka vozmozhnosti ispol'zovaniya kory derev'ev, proizrastayushchih v Respublike Belarus', dlya proizvodstva granul // Trudy BGTU. Seriya 1: Lesnoe hozyajstvo, prirodnopol'zovanie i pererabotka vobnovlyayemykh resursov. 2021. № 2(246). S. 284–289.
21. Ponomareva N. G., Tyurikova T. V. Pererabotka drevesnoj kory v energoeffektivnoe toplivo // Forum molodyh uchenykh. 2017. № 2(6). S. 214–218.
22. Konovalov K. E., Mikryukova E. V. Opredelenie vodostojkosti plitnyh materialov iz berezovoy i sosnovoy kory // Sostoyanie i perspektivy razvitiya lesnogo kompleksa v stranah SNG : sbornik statej II Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii v ramkah Mezhdunarodnogo molodezhnogo foruma po lesopromyshlennomu obrazovaniyu (Les–Nauka–Innovacii–2022), Minsk, 06–09 dekabrya 2022 goda / Belorusskij gosudarstvennyj tekhnologicheskij universitet. Minsk: Belorusskij gosudarstvennyj tekhnologicheskij universitet, 2022. S. 110–113.
23. Semenova E. G. Izgotovlenie plitnyh materialov iz berezovoy kory // Molodye issledovateli agropromyshlen-

nogo i lesnogo kompleksov – regionam : Sbornik nauchnyh trudov po rezul'tatam raboty V Mezhdunarodnoj molodezhnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Vologda–Molochnoe, 23 aprelya 2020 goda. T. 3, Chast' 1. Vologda–Molochnoe : Vologodskaya gosudarstvennaya molochnohozyajstvennaya akademiya im. N. V. Vereshchagina, 2020. S. 252–255.

24. Plitnyj kompozicionnyj material, poluchennyj iz kory berezy posle predvaritel'noj aktivacii metodom vzryvnogo avtogidroliza / Yu. G. Skurydin, E. M. Skurydina, V. V. Kon'shin, N. Zh. Yuku // Novye dostizheniya v himii i himicheskoy tekhnologii rastitelnogo syr'ya : materialy VII Vserossijskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem, Barnaul, 24–28 aprelya 2017 goda. Barnaul : Altajskij gosudarstvennyj universitet, 2017. S. 337–338.

25. Patent № 2240334C1 Rossijskaya Federaciya, MPK S08L 97/02. Kompoziciya na drevesnoj osnove: №2003118707/04: zayavl. 25.06.2003: opubl.20.11.2004/ Yu. I. Stermin, I. V. Yurchenko, A. I. Zagorujko; zayavitel' Obshchestvo s ogranichennoj otvetstvennost'yu “TransPlyus”.

26. Eskin V. D., Krivorotova A. I., Ermolin V. N. Vliyanie melkodispersnoj frakcii na osnovnye svojstva press-massy i плитного материала без связующих веществ из коры *Pinus sylvestris* // Hvojnye boreal'noj zony. 2025. T. 43, № 1. S. 78–84.

27. Eskin V. D., Ermolin V. N., Krivorotova A. I. Konstrukcionnye plity iz gidrodinamicheski aktivirovan-

noj kory sosny (*Pinus sylvestris*) без связующих веществ // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Lesnoj zhurnal. 2024. № 5(401). S. 175–187.

28. Patent № 2818825 C1 Rossijskaya Federaciya, MPK B27N 3/04. Sposob izgotovleniya kor'евой плиты : № 2024105657 : zayavl. 05.03.2024 : opubl. 06.05.2024 / V. D. Eskin, A. I. Krivorotova ; zayavitel' Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya “Sibirskij gosudarstvennyj universitet nauki i tekhnologii imeni akademika M. F. Reshetneva”.

29. Shvarcman G. M., Shchedro D. A. Proizvodstvo drevesno-struzhechnyh плит. Izdanie 4-e pererabotannoe i dopolnennoe. M. : Lesnaya promyshlennost', 1987. 318 s.

30. GOST 10632–2014. Plity drevesno-struzhechnye. Tekhnicheskie usloviya. M. : Standartinform, 2014. 14 s.

31. GOST 4598–2018. Plity drevesno-voloknistye mokrogo sposoba proizvodstva. Tekhnicheskie usloviya. M. : Standartinform, 2019. 12 s.

32. GOST 32274–2021. Plity drevesno-voloknistye suhogo sposoba proizvodstva. Tekhnicheskie usloviya. M. : Rossijskij institut standartizacii, 2021. 21 s.

33. Belyakova A. Yu., Pogrebnyak A. V., Pogrebnyak L. V. Fiziko-himicheskie i biologicheskie svojstva komponentov vneshnej kory berezy // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2015. № 2-2. S. 492.

© Криворотова А. И., Эскин В. Д.,
Эскина В. Р., Литвин Р. Р., 2026

Поступила в редакцию 05.11.2025
Принята к печати 27.04.2026