

## Исследование биоразлагаемости древесных пластиков без добавления связующих на основе древесины березы

А.В. Артемов<sup>a</sup>, А.С. Ершова<sup>b</sup>, А.В. Савиновских<sup>c</sup>, В.Г. Буриндин<sup>d</sup>, А.Б. Якимова<sup>e</sup>

Уральский государственный лесотехнический университет, ул. Сибирский Тракт, 37, Екатеринбург, Россия

<sup>a</sup> artemovav@m.usfeu.ru, <sup>b</sup> anuta-1997-29@mail.ru, <sup>c</sup> savinovskihav@m.usfeu.ru,

<sup>d</sup> buryndinv@gmail.com, <sup>e</sup> anastasiya\_yakimova02@mail.ru

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0001-6900-3435>, <sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0001-6248-0028>, <sup>c</sup> <https://orcid.org/0000-0001-7303-4912>,

<sup>d</sup> <https://orcid.org/0000-0001-6994-0154>, <sup>e</sup> <https://orcid.org/0000-0002-0954-6144>

Статья поступила 13.07.2022, принята 15.09.2022

Более ранними исследованиями установлено, что сырье для получения пластиков без добавления связующих веществ (ПБС) на основе мягких лиственных пород древесины (береза, осина, тополь) имеет хороший потенциал для применения. Было установлено, что такое пресс-сырье обладает большим количеством пентозанов, чем пресс-сырье на основе хвойных пород древесины, и тем самым обуславливает более высокую прочность и водостойкость материалов. Кроме того, анализ литературных данных показал возможность получения данных материалов на основе березы и ее коры (бересты) с антимикробными характеристиками. Данная работа посвящена исследованию возможности использования опилок березы для получения ПБС в закрытых пресс-формах с удовлетворительными физико-механическими свойствами, обладающих повышенными показателями биостойкости. Результаты определения физико-механических свойств показали, что ПБС на основе опилок березы обладают более высокими показателями физико-механических свойств, чем ПБС на основе опилок сосны. Оценка биостойкости пластика осуществлялась по потере массы образцов при экспозиции их в почвогрунте. Снижение массы у образцов ПБС на основе опилок из березы за 90 суток выдержки составило порядка 36 % (у образцов пластика на основе сосновых опилок данный показатель около 49 %). Результаты микроскопирования показали, что образцы ПБС после выдержки в почвогрунте были подвержены сильным изменениям, а именно изменению цвета, оттенка и наличию пигментных пятен; наблюдались изменения по толщине с появлением свищей и трещин. При этом менее ярко выраженными изменениями обладали образцы на основе березовых опилок.

**Ключевые слова:** пластик; древесные отходы; березовые опилки; биостойкость.

## Investigation of biodegradability of wood plastics without resins based on birch wood

A.V. Artyomov<sup>a</sup>, A.S. Ershova<sup>b</sup>, A.V. Savinovskikh<sup>c</sup>, V.G. Bryndin<sup>d</sup>, A.B. Yakimova<sup>e</sup>

Ural State Forest Engineering University; 37, Sibirsky Trakt St., Ekaterinburg, Russia

<sup>a</sup> artemovav@m.usfeu.ru, <sup>b</sup> anuta-1997-29@mail.ru, <sup>c</sup> savinovskihav@m.usfeu.ru,

<sup>d</sup> buryndinv@gmail.com, <sup>e</sup> anastasiya\_yakimova02@mail.ru

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0001-6900-3435>, <sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0001-6248-0028>, <sup>c</sup> <https://orcid.org/0000-0001-7303-4912>,

<sup>d</sup> <https://orcid.org/0000-0001-6994-0154>, <sup>e</sup> <https://orcid.org/0000-0002-0954-6144>

Received 13.07.2022, accepted 15.09.2022

Early studies have established that raw materials for the production of plastics without resins (PWR) based on soft hardwood (birch, aspen, poplar) have great potential for their use. Previously, it was found that such a press raw material has a greater number of pentosans than in the press raw materials based on softwood, thereby causing higher strength and water resistance of materials. In addition, the analysis of the literature data showed the possibility of obtaining these materials based on birch and its bark (birch bark) with antimicrobial characteristics. This work is devoted to the study of the possibility of using birch sawdust to obtain PWR in closed molds with satisfactory physical and mechanical properties and having increased indicators of biostability. The results of the determination of physico-mechanical properties have shown that PWR based on birch sawdust have higher physical and mechanical properties than PWR based on pine sawdust. The assessment of the biostability of plastic is carried out by the loss of mass of samples during their exposure in the soil. The weight reduction in PWR images based on birch sawdust for 90 days of exposure is about 36% (in plastic samples based on pine sawdust, this indicator is about 49%). The results of microscopy show that the samples of PWR after exposure in the soil are subject to strong changes, namely, changes in color, shade and the presence of pigment spots, there are changes in thickness – the appearance of fistulas and cracks. At the same time, samples based on birch sawdust have less pronounced changes.

**Keywords:** plastic; wood waste; birch sawdust; biostability.

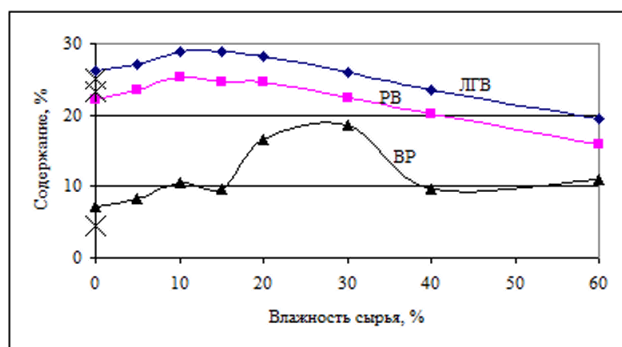
**Введение.** Качество пластиков без добавления связующих (ПБС) в значительной степени зависит от породы и влажности древесины, размера частиц, величины давления прессования, температуры и влажности

пресс-материала в момент прессования, длительности выдержки пресс-материала под давлением и повышенной температурой и других технологических факторов [1; 2].

Ранними работами [3] было установлено, что отличительные свойства ПБС на основе сосновых опилок от пластиков на основе березовых опилок объясняется различным химическим составом хвойных и лиственных пород древесины, который и предопределяет свойства ПБС.

Так, в работе [4] более высокое содержание пентозанов в пресс-материале обуславливает более высокую прочность и водостойкость ПБС. Т. е. пластики из лиственных пород (береза, ольха) обладают физико-механическими свойствами, превышающими свойства пластиков из хвойных пород (ель, сосна).

В работе [5] приведено изменение состава пластика от влажности исходного сырья (березовые опилки), образцы прессовались при температуре 190 °С, давлении 25 МПа и выдержке 2,5 мин/мм. На рис. 1 приведены значения показателей от влажности пресс-сырья.



**Рис. 1.** Изменение содержания водорастворимых веществ (ВР), редуцирующих веществ (РВ) и легкогидролизуемых веществ (ЛГВ) в пластике от влажности сырья (X — содержание в исходных опилках березы)

На рис. 1 видно, что наибольшие изменения химического состава древесины проходят, когда влажность пресс-материала составляет 10–20 %. При этих условиях процесс гидролиза идет наиболее интенсивно. Об этом свидетельствует увеличение в гидролизатах гексозных сахаров с 20 до 40 %, и среди них глюкозы с 10 до 20 %, одновременно уменьшается содержание пентозного сахара ксилозы с 70 до 60 %. Содержание пентозанов также уменьшается с 24,78 до 14,22 %, что свидетельствует о значительном изменении пентозных сахаров и их активном участии в формировании пластика. При получении ПБС из березы количество целлюлозы уменьшается с 43 до 28,84 %. Это свидетельствует о том, что при прессовании и целлюлоза принимает участие в образовании пластика, тогда как при пьезотермической обработке выделенной технической целлюлозы в этих условиях изменений не наблюдается [5].

Содержание РВ и ВРВ было определено и в пластике на основе березовой щепы, подвергнутой «паровому взрыву», или гидротермической обработке при 220 °С в течение 5 мин [6]. Свойства пресс-материалов зависят от РВ в образцах, подвергнутых длительной гидротермической обработке и от лигнина для образцов, подвергнутых «паровому взрыву».

Исследовано [7] влияние предварительного увлажнения древесины на свойства получаемого композиционного материала, полученного из гидролизованной древесины березы без добавления связующих компонентов методом взрывного автогидролиза. Увлажнение древесины перед баротермической обработкой улучшает структурную однородность композиционного материала.

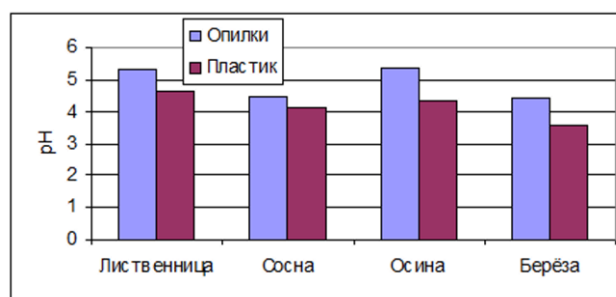
Для улучшения свойств древесины мягких пород (береза, осина, ольха) их пластифицируют аммиаком и уплотняют. Такой материал называют лигномон. По свойствам он приближается к свойствам древесины твердых пород [8].

Установлено [9], что пластики на основе щепы древесины березы (возраст 40 лет) с размерами 0,2x1x2 см и влажностью 7,5–8,0 %, полученные в условиях высокотемпературной гидротермической обработки, имеют удовлетворительные прочностные свойства (прочность на изгиб больше 20,0 МПа) при добавлении в пресс-материал 10–35 % мочевины.

В работах [10; 11] установлено положительное влияние катализаторов типа полиоксометаллатов на процесс образования ПБС на основе лиственных и хвойных пород древесины (березы обыкновенной и сосны обыкновенной). Полученные результаты показали, что более положительное влияние данных катализаторов на увеличение физико-механических свойств как раз проявляется именно с ПБС на основе березовых опилок, и данный эффект достигается за счет снижения температуры прессования.

Исследованы [12] физико-механические характеристики плитных композиционных материалов, полученных из древесины березы после ее обработки методом взрывного автогидролиза в присутствии катализатора. В качестве катализатора гидролиза использована перекись водорода, взятая в количестве от 0,165 до 33 % к массе исходной древесины. Увеличение количества катализатора приводит к ухудшению прочностных характеристик, что является следствием доминирования деструктивных процессов над процессами межмолекулярной сшивки.

На рис. 2 показаны значения pH водных вытяжек исходного сырья и пластика, полученного из этого сырья [13].



**Рис. 2.** Показатель pH водной среды опилок и пластика у различных пород древесины

На рис. 2 видно, что pH в готовом пластике всегда ниже pH опилок, из которых он сделан. У хвойных пород древесины эта разница равна 10,2 %, а у лиственных — 18,9 %. Можно предположить, что нет особой

разницы в показатель рН древесины хвойных и лиственных пород.

Изучено [14], в частности, влияние холодного и горячего прессования на характер молекулярной подвижности и особенности кристаллического строения древесины березы пушистой. Показано, что горячее прессование увеличивает динамический модуль сдвига древесины при комнатной температуре, смещает в область более высоких температур фазовый переход, соответствующий плавлению кристаллических областей целлюлозы.

На рис. 3, согласно работе [5], показано влияние температуры прессования на изменение химического состава (влажность исходного сырья — 10 %, давление прессования — 25 МПа, выдержка — 2,5 мин/мм).

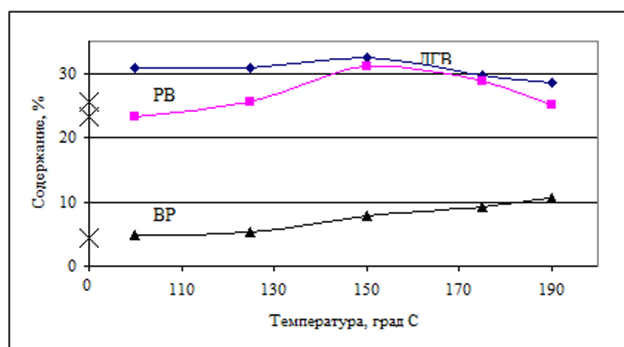


Рис. 3. Изменение состава древесины (березовые опилки) от температуры прессования (X — состав исходного сырья)

Наиболее существенное изменение в химсоставе древесины происходит при температурах 140–160 °С. При температурах 170–190 °С количество ЛГВ уменьшается, и наблюдается изменение в составе моносахаридов. Содержание пентозных сахаров в гидролизатах уменьшается с 80 до 70 %, ксилозы с 70 до 50 %. При температуре 190 °С выход пентозного сахара арабинозы несколько увеличивается по сравнению с содержанием ее в гидролизате исходной древесины.

Количество ПВ в процессе прессования в закрытой форме растет. Особенно значителен рост в диапазоне температур 125–150 °С, затем их количество уменьшается аналогично с ЛГВ. По-видимому, при этих температурах протекают более усиленно не только реакции гидролиза и пиролиза, но и реакции поликонденсации и полимеризации с образованием высокомолекулярных соединений [5].

При температурах 190 °С выход ПВ уменьшается по сравнению с их выходом при стационарном гидролизе при той же температуре. Так, выход при стационарном гидролизе достигает 43,2 %, а в случае прессования в замкнутом пространстве при высоком давлении составляет 25,6 % [5].

В работе [15] предлагается получение фенолоформальдегидной смолы путем замещения фенола жидкими продуктами быстрого пиролиза древесины березы. Испытания на прочностные показатели показали, что при замещении 60%-ного фенола пиролизной жидкостью в составе феноло-формальдегидной смолы прочность увеличивается на 6 % по сравнению с контрольным образцом.

Продукты пиролиза материалов на основе древесины березы в химическом составе жидких фракций и фракции сушки содержали в основном алифатические и фенольные экстрактивные вещества, а также легкие углеводороды, фракции торрефикации были обогащены сахаристыми соединениями, образующимися в результате разложения гемицеллюлозы и целлюлозы [16–19]. Данные химические соединения могут положительно сказываться на процесс образования ПБС.

Кроме самой древесины березы сегодня широко ведутся исследования по использованию ее коры (бересты) в продуктах дальнейшей обработки, таких как шпон для безопасных и кредитных карт, фанера для мебели дизайнерской формы и пиломатериалы или фанера для антимикробных предметов интерьера [20–23].

Таким образом, целью данного исследования являлась проработка вопросов по исследованию ПБС на основе неликвидных отходов производств (лесозаготовительных, деревообрабатывающих и фанерных) в виде опилок березы с получением материалов, обладающих высокими физико-механическими свойствами и способностью к деструкции в естественных условиях.

**Методика исследований.** В качестве сырья для получения ПБС на основе лигноцеллюлозного сырья были использованы отходы в виде древесных опилок от ленточной пилорамы, характеристика которых представлена в табл. 1.

Таблица 1. Характеристика исходного сырья

Сырье	Показатель		
	Источник	Фракция, мм	Влажность, %
Опилки березы	Отходы пилорамы	0,7	12
Опилки сосны (в качестве объекта сравнения)	Отходы пилорамы	0,7	12

На основе вышеуказанного сырья методом горячего компрессионного прессования были получены образцы в виде дисков толщиной 3 мм и диаметром 90 мм. Технологические режимы получения образцов представлены в табл. 2.

Таблица 2. Режим прессования образцов-дисков ПБС

Параметр	Показатель
Давление прессования, МПа	40
Температура прессования, °С	180
Время прессования, мин	10
Время охлаждения под давлением, мин	10

После кондиционирования (в течение 24 ч в комнатных условиях) проводилось определение физико-механических свойств: плотность, модуль упругости при изгибе и твердость по вдавливанию шарика. После испытаний на жесткость образцы-диски распиливались на 4 части, где центральные части образца (полоски) использовались для определения прочности при изгибе, а «горбушки» — на показатели водостойкости (водопоглощение и разбухание).

Оценка биостойкости материалов на основе ПБС проводилась по изменению массы, толщины и внешнего вида образцов при экспозиции их в почвогрунте. В качестве почвогрунта был принят грунт для рассады (ТУ 0392-001-59264059-03).

Время выдержки образцов в грунте при комнатной температуре ( $20 \pm 2$  °С) и средней влажности грунта 40 % составило 90 суток. После экспозиции (7, 14, 21, 30, 60, 90 суток), образцы изымались из грунта, промывались и высушивались при комнатной температуре в течение суток. У высушенных образцов определялись масса и линейные размеры, проводилась визуальная оценка изменения внешнего вида образцов, а также микроскопирование лицевой поверхности и бокового среза. Микроскопирование проводилось с помощью микроскопа «Микромед 3» при увеличении 1:400.

**Результаты исследований.** Физико-механические свойства полученных образцов ПБС на основе березовых опилок (ПБС-Б) и сосновых опилок (ПБС-С) представлены в табл. 3.

**Таблица 3.** Физико-механические свойства ПБС

Показатель	Исходная влажность пресс-сырья, %		
	8	12	16
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	954	1 052	1 117
	1 090	1 108	1 110
Прочность при изгибе, МПа	25	17	11
	12	8	7
Твердость, МПа	42	45	60
	44	29	25
Водопоглощение, %	58,0	53,3	41,2
	76,5	59,1	65,7
Разбухание, %	5,1	2,7	3,9
	7,8	6,0	5,8

*Примечание.* В числителе приведены свойства ПБС-Б, в знаменателе — ПБС-С.

По данным табл. 3 можно сделать следующие выводы.

1. У образцов ПБС-Б и ПБС-С, полученных при влажности исходного пресс-сырья 8 %, достигаются наилучшие прочностные показатели. При этом показатели водопоглощения и разбухания также имеют максимальные значения. Таким образом, можно говорить, что при заданных параметрах исследований невозможно получение образцов на основе ПБС-Б и ПБС-С, которые сочетали бы в себе и высокие показатели по прочности, и низкие показатели по водопоглощению.

2. Сравнивая между собой образцы на основе разного пресс-материала, можно отметить, что ПБС-Б обладает более высокими показателями физико-механических свойств. Например, для ПБС-Б при влажности исходного пресс-сырья 8 % прочность при изгибе составляет 25 МПа, а для ПБС-С — 12 МПа.

Для оценки биостойкости далее были использованы образцы пластиков, полученные при оптимальной влажности пресс-сырья (исходя из максимальной водостойкости): для ПБС-Б — 8 % и для ПБС-С — 12 %.

Результаты изменения массы (%) при экспозиции образцов в почвогрунте за 90 суток представлены в табл. 4.

**Таблица 4.** Результаты изменения массы (%) при испытании на биоразлагаемость

Пластик	Продолжительность выдержки, суток					
	7	14	21	30	60	90
ПБС-Б	+4,7	-1,4	-2,9	-6,3	-9,7	-36,2
ПБС-С	+6,2	-0,2	-0,3	-1,6	-7,9	-49,4

На основании табл. 3 можно сделать следующие выводы.

1. Для образцов ПБС наблюдается первичное увеличение массы в первые 7 суток. Первоначальное увеличение массы можно объяснить впитыванием материалом избыточной влаги из грунта. Наибольшее первичное водопоглощение наблюдается у ПБС-С (6,2 %).

2. После первичного водонасыщения образцов в первоначальное время после 7 суток наблюдается снижение массы образцов за счет своей деструкции. Это снижение наблюдается за все оставшееся время (до 90 суток). Наибольшие изменения массы у образцов ПБС-С (49,4 %).

Результаты изменения толщины (%) при экспозиции образцов в почвогрунте за 90 суток представлены в табл. 5.

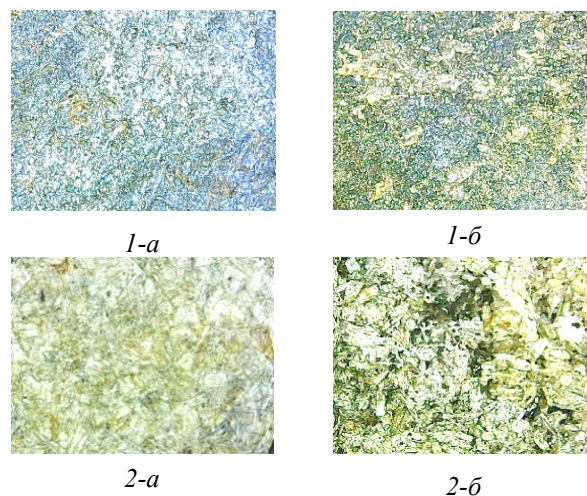
**Таблица 5.** Результаты изменения толщины (%) при испытании на биоразлагаемость

Пластик	Продолжительность выдержки, суток					
	7	14	21	30	60	90
ПБС-Б	+10,6	+20,1	+22,4	+26,2	+23,4	+8,8
ПБС-С	+35,9	+48,3	+37,5	+56,6	+76,1	---

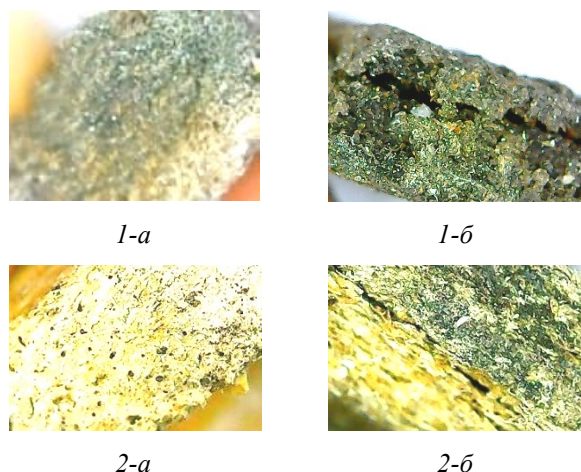
*Примечание.* «---» — образцы были непригодны для испытаний ввиду сильного расслоения.

На основании табл. 5 видно, что максимальное увеличение линейных размеров наблюдалось у ПБС-С (76,1 %), и данное изменение достигалось при выдержке за 60 суток.

Результаты микроскопирования лицевой поверхности образцов и в срезе за 90 суток выдержки в почвогрунте представлены на рис. 4, 5.



**Рис. 4.** Результаты микроскопирования лицевой поверхности образцов: 1 — ПБС-Б; 2 — ПБС-С; а) контроль; б) 90 суток выдержки



**Рис. 5.** Результаты микрофотографирования бокового среза образцов: 1 — ПБС-Б; 2 — ПБС-С; а) контроль, б) 90 суток выдержки

Результаты микрофотографирования показали, что образцы ПБС были подвержены сильным изменениям, а именно изменению цвета и расслоению.

#### Литература

- Петри В.Н. Плитные материалы и изделия из древесины и других одресневевших остатков без добавления связующих. М.: Лесная пром-сть, 1976. 360 с.
- Получение полимерных материалов из вторичного лигноцеллюлозного сырья: моногр. / под общ. ред. В.В. Глухих. Екатеринбург: УГЛТУ, 2022. 187 с.
- Ершова А.С., Артемов А.В., Савиновских А.В., Буриндин В.Г. Влияние вида сырья на свойства древесных пластиков без добавления связующих // Системы. Методы. Технологии. 2020. № 3 (47). С. 74-80.
- Минин А.Н. Производство пьезотермопластиков из древесных отходов без добавления связующих. М.: УИНТИ бумажной и деревообрабатывающей пром-сти, 1961. 38 с.
- Минин А.Н. Технология термопезопластиков. М.: Лесная пром-сть, 1965. 296 с.
- Базарнова Н.Г., Галочкин А.И., Крестьянников В.С. Влияние гидротермической обработки древесины на свойства древесных прессованных материалов // Химия растительного сырья. 1997. № 1. С. 11-16.
- Скурыдин Ю.Г., Скурындина Е.М. Структурные особенности композиционных материалов из гидролизованной древесины березы // Лесной вестн. 2021. Т. 25. № 4. С. 89-98.
- Дамье-Вульфсон В.Н. Устройство полов из паркета и линолеума. М.: Высш. школа, 1991. 192 с.
- Базарнова Н.Г., Галочкин А.И., Крестьянников В.С. Влияние мочевины на свойства прессованных материалов из древесины, подвергнутой гидротермической обработке // Химия растительного сырья. 1997. № 1. С. 17-21.
- Герасимова А.Д., Быкова О.В., Сафонова М.Е. Исследование влияния изометилтетрагидрофталиевого ангидрида на свойства древесного пластика без добавления связующих на основе древесины лиственных пород // Системы. Методы. Технологии. 2021. № 1 (49). С. 117-122.
- Буриндин В.Г., Артемов А.В., Савиновских А.В., Шкуро А.Е. Исследование получения древесных пластиков без добавления связующих на основе древесины лиственных пород в присутствии катализаторов типа полиоксометаллатов // Системы. Методы. Технологии. 2020. № 2 (46). С. 70-75.
- Скурыдин Ю.Г., Скурындина Е.М., Хабибуллина А.Р., Байгильдеева Е.И. Физико-механические характеристики

**Заключение.** По результатам выполненной работы можно сделать следующие выводы.

1. ПБС-Б обладает более высокими показателями физико-механических свойств при сравнении с образцами ПБС-С, полученными при аналогичных условиях. При этом большее значение оказывает исходная влажность пресс-сырья, которая обеспечивает в процессе прессования материала соответствующие условия для гидролиза соединений целлюлозы и пентазанов.

2. Экспозиция в течение 90 суток в почвенном грунте привела к внешним изменениям образцов ПБС-Б и ПБС-С. Образцы ПБС-Б продемонстрировали менее выраженное биологическое разрушение по сравнению с образцами ПБС-С: имелись изменения только по поверхности и боковому срезу, в то время как пластик на основе сосны характеризовался изменениями по всему образцу.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования в рамках научного проекта «FEUG-2020-0013».*

- композиционных материалов из древесины березы, гидролизованной в присутствии перекиси водорода // Деревообрабатывающая пром-сть. 2022. № 1. С. 41-54.
- Антакова В.Н., Глумова В.А., Луговых Ю.М. Изучение изменений pH древесины при трансформации её в ЛУДП // Технология древесных плит пластиков: межвуз. сб. Свердловск, 1978. Вып. 5. С. 10-16.
- Скурыдин Ю.Г., Скурындина Е.М. Сравнительная оценка влияния факторов физического воздействия на молекулярную подвижность и степень кристалличности древесины березы // Системы. Методы. Технологии. 2020. № 4 (48). С. 119-126.
- Забелкин С.А., Грачев А.Н., Бикбулатова Г.М. Резольная феноло-формальдегидная смола с добавлением нейтрализованных жидких продуктов быстрого пиролиза древесины березы // Клеи. Герметики. Технологии. 2017. № 10. С. 19-23.
- Fagernas L., Kuoppala E., Tillikkala K., Oasmaa A. Chemical composition of birch wood slow pyrolysis products // Energy & Fuels. 2012. V. 26. № 2. P. 1275-1283.
- Leena Fagnäs, Eeva Kuoppala, Pekka Simell. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Birch Wood Slow Pyrolysis // Products Energy & Fuels. 2012. V. 26 (11). P. 6960-6970.
- Lindqvist I., Lindqvist B., Tiilikkala K., Hagner M., Penttinen O.-P., Pasanen T., Setälä H. Birch tar oil is an effective mollusc repellent: field and laboratory experiments using *Arianta arbustorum* (Gastroboda: Helicidae) and *Arion lusitanicus* (Gastroboda: Arionidae) // Agric. Food Sci. 2010. V. 19. P. 1-12.
- Qing Zhao, Marko Mäkinen, Antti Haapala, Janne Jänis. Thermochemical conversion of birch bark by temperature-programmed slow pyrolysis with fractional condensation // Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. 2020. V. 150. P. 104843.
- Alonso-Serra J., Safronov O., Lim K., Fraser-Miller S.J., Blokhina O.B., Campilho A., Chong S., Fagerstedt K., Haavikko R., Helariutta Y., Immanen J., Kangasjärvi J., Kauppi T.J., Lehtonen M., Ragni L., Rajaraman S., Räsänen R., Safdari P., Tenkanen M., Yli-Kauhaluoma J.T., Teeri T.H., Strachan C.J., Nieminen K., Salojärvi J. Tissue-specific study across the stem reveals the chemistry and transcriptome dynamics of birch bark // New Phytol. 2019. V. 222. P. 1816-1831.
- Verkasalo E., Heräjärvi H., Möttönen V., Haapala A., Brännström H., Vanhanen H., Miina J. Current and future products as the basis for value chains of birch in Finland //

Natural resources and bioeconomy studies, Natural Resources Institute Finland, Luke. 2017. P. 81-96.

22. Murwanashyaka N., Pakdel H., Roy C. Step-wise and one-step vacuum pyrolysis of birch-derived biomass to monitor the evolution of phenols // *J ANAL APPL PYROL.* 2001. 60. P. 219-231.
  23. Murwanashyaka J.N., Pakdela H., Roy C. Separation of syringol from birch wood-derived vacuum pyrolysis oil // *Separation and Purification Technology.* 2001. V. 24. P. 575.
- References*
1. Petri V.N. Plate materials and products made of wood and other desalinated residues without the addition of binders. M.: Lesnaya prom-st', 1976. 360 p.
  2. Obtaining polymer materials from secondary lignocellulose raw materials: monogr. / pod obshch. red. V.V. Gluhih. Ekaterinburg: UGLTU, 2022. 187 p.
  3. Ershova A.S., Artemov A.V., Savinovskih A.V., Buryndin V.G. The influence of the type of raw materials on the properties of wood plastics without the addition of binders // *Systems. Methods. Technologies.* 2020. № 3 (47). P. 74-80.
  4. Minin A.N. Production of piezothermoplastics from wood waste without the addition of binders. M.: UINTI bumazhnoj i derevoobrabatyvayushchej prom-sti, 1961. 38 p.
  5. Minin A.N. Technology of thermopiezoplastics. M.: Lesnaya prom-st', 1965. 296 p.
  6. Bazarnova N.G., Galochkin A.I., Krest'yannikov V.S. The influence of hydrothermal wood processing on the properties of wood pressed materials // *Khimija Rastitel'nogo Syr'ja (Chemistry of plant raw material).* 1997. № 1. P. 11-16.
  7. Skurydin YU.G., Skuryndina E.M. Structural features of composite materials from hydrolyzed birch wood // *Forestry Bulletin.* 2021. V. 25. № 4. P. 89-98.
  8. Dam'e-Vul'fson V.N. The device of parquet and linoleum floors. M.: Vyssh. shkola, 1991. 192 p.
  9. Bazarnova N.G., Galochkin A.I., Krest'yannikov V.S. The influence of urea on the properties of pressed materials from wood subjected to hydrothermal treatment // *Khimija Rastitel'nogo Syr'ja (Chemistry of plant raw material).* 1997. № 1. P. 17-21.
  10. Gerasimova A.D., Bykova O.V., Safonova M.E. Investigation of the effect of isomethyltetrahydrophthalic anhydride on the properties of wood plastic without the addition of binders based on hardwood // *Systems. Methods. Technologies.* 2021. № 1 (49). P. 117-122.
  11. Buryndin V.G., Artemov A.V., Savinovskih A.V., SHkuro A.E. Investigation of the production of wood plastics without the addition of binders based on hardwood in the presence of catalysts such as polyoxometallates // *Systems. Methods. Technologies.* 2020. № 2 (46). P. 70-75.
  12. Skurydin YU.G., Skuryndina E.M., Habibullina A.R., Bajgil'deeva E.I. Physico-mechanical characteristics of composite materials made of birch wood hydrolyzed in the presence of hydrogen peroxide // *Derevoobrabatativaushaya promishlennost' (Woodworking industry).* 2022. № 1. P. 41-54.
  13. Antakova V.N., Glumova V.A., Lugovyh YU.M. The study of changes in the pH of wood during its transformation into LUDP // *Tekhnologiya drevesnyh plit plastikov: mezhvuz. sb. Sverdlovsk, 1978. Vyp. 5. P. 10-16.*
  14. Skurydin YU.G., Skuryndina E.M. Comparative assessment of the influence of physical factors on the molecular mobility and degree of crystallinity of birch wood // *Systems. Methods. Technologies.* 2020. № 4 (48). P. 119-126.
  15. Zabelkin S.A., Grachev A.N., Bikbulatova G.M. Resolute phenol-formaldehyde resin with the addition of neutralized liquid products of rapid pyrolysis of birch wood // *Adhesives. Sealing. Technologies.* 2017. № 10. P. 19-23.
  16. Fagernas L., Kuoppala E., Tillikkala K., Oasmaa A. Chemical composition of birch wood slow pyrolysis products // *Energy&Fuels.* 2012. V. 26. № 2. P. 1275-1283.
  17. Leena Fagnäs, Eeva Kuoppala, Pekka Simell. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Birch Wood Slow Pyrolysis // *ProductsEnergy & Fuels.* 2012. V. 26 (11). P. 6960-6970.
  18. Lindqvist I., Lindqvist B., Tiilikkala K., Hagner M., Penttinen O.-P., Pasanen T., Setälä H. Birch tar oil is an effective mollusc repellent: field and laboratory experiments using *Arianta arbustorum* (Gastroboda: Helicidae) and *Arion lusitanicus* (Gastroboda: Arionidae) // *Agric. Food Sci.* 2010. V. 19. P. 1-12.
  19. Qing Zhao, Marko Mäkinen, Antti Haapala, Janne Jänis. Thermochemical conversion of birch bark by temperature-programmed slow pyrolysis with fractional condensation // *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis.* 2020. V. 150. P. 104843.
  20. Alonso-Serra J., Safronov O., Lim K., Fraser-Miller S.J., Blokhina O.B., Campilho A., Chong S., Fagerstedt K., Haavikko R., Helariutta Y., Immanen J., Kangasjärvi J., Kauppi T.J., Lehtonen M., Ragni L., Rajaraman S., Räsänen R., Safdari P., Tenkanen M., Yli-Kauhaluoma J.T., Teeri T.H., Strachan C.J., Nieminen K., Salojärvi J. Tissue-specific study across the stem reveals the chemistry and transcriptome dynamics of birch bark // *New Phytol.* 2019. V. 222. P. 1816-1831.
  21. Verkasalo E., Heräjärvi H., Möttönen V., Haapala A., Brännström H., Vanhanen H., Miina J. Current and future products as the basis for value chains of birch in Finland // *Natural resources and bioeconomy studies, Natural Resources Institute Finland, Luke.* 2017. P. 81-96.
  22. Murwanashyaka N., Pakdel H., Roy C. Step-wise and one-step vacuum pyrolysis of birch-derived biomass to monitor the evolution of phenols // *J ANAL APPL PYROL.* 2001. 60. P. 219-231.
  23. Murwanashyaka J.N., Pakdela H., Roy C. Separation of syringol from birch wood-derived vacuum pyrolysis oil // *Separation and Purification Technology.* 2001. V. 24. P. 575.