

Исследование влияния гидролизного лигнина на биостойкость пластиков без связующих веществ на основе древесины березы

А.В. Артемов^а, А.С. Ершова^б, В.Г. Буриндин^с, А.Б. Якимова^д

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

^а artemovav@m.usfeu.ru, ^б ershovaas@m.usfeu.ru, ^с buryndinvg@m.usfeu.ru, ^д yakimovaab@m.usfeu.ru

^а <https://orcid.org/0000-0001-6900-3435>, ^б <https://orcid.org/0000-0001-6248-0028>,

^с <https://orcid.org/0000-0001-6994-0154>, ^д <https://orcid.org/0000-0002-0954-6144>

Статья поступила 10.01.2023, принята 19.05.2023

Данной научно-исследовательской работой было выполнено исследование влияния добавки гидролизного лигнина на биостойкость пластиков без связующих веществ (ПБС) на основе древесины березы. Было установлено, что наличие гидролизного лигнина в древесном пресс-сырье положительно влияет на показатели водостойкости (водопоглощение и разбухание) ПБС. Это обуславливается гидрофобностью самого гидролизного лигнина. При этом же с увеличением доли содержания гидролизного лигнина в исходном пресс-сырье параллельно наблюдается снижение прочностных показателей. На основании выполненного анализа полученных экспериментальных данных предложена рецептура получения ПБС на основе древесного наполнителя в виде березовых опилок с добавлением гидролизного лигнина до 40–60 масс. %. Также было установлено, что добавка гидролизного лигнина к древесному наполнителю повышает биостойкость ПБС по отношению к почвогрунту. В течение 90 суток выдержки наблюдались наименьшая потеря массы образцов и наименьшие изменения их линейных размеров (толщины). При этом визуальная оценка морфологических характеристик внешнего вида ПБС с большим содержанием гидролизного лигнина так же показала минимальные изменения, связанные с расслоением, разбуханием и разрыхлением материала. Аналогичная картина изменения внешних признаков наблюдалась и при испытании образцов на водостойкость в течение 90 суток. Это показывает, что в первую очередь деструкция данных материалов в почвогрунте происходит за счет их водонасыщения избыточной влагой из грунта и, как следствие, происходит разрушение внутренних связей в самом материале. При этом на основании выполненного микроскопирования было установлено, что в первую очередь в пластике деструктирует именно древесный наполнитель.

Ключевые слова: пластик; древесные отходы; березовые опилки; гидролизный лигнин; биостойкость.

Investigation of the effect of hydrolysis lignin on the biostability of plastics without resins based on birch wood

A.V. Artyomov^а, A.S. Ershova^б, V.G. Buryndin^с, A.B. Yakimova^д

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

^а artemovav@m.usfeu.ru, ^б ershovaas@m.usfeu.ru, ^с buryndinvg@m.usfeu.ru, ^д yakimovaab@m.usfeu.ru

^а <https://orcid.org/0000-0001-6900-3435>, ^б <https://orcid.org/0000-0001-6248-0028>,

^с <https://orcid.org/0000-0001-6994-0154>, ^д <https://orcid.org/0000-0002-0954-6144>

Received 10.01.2023, accepted 19.05.2023

This research work is carried out to study the effect of the addition of hydrolytic lignin on the biostability of plastics without resins (PWR) based on birch wood. It is found that the presence of hydrolytic lignin in wood press raw materials has a positive effect on the indicators of water resistance (water absorption and swelling) of PWR. This is due to the hydrophobicity of the hydrolyzed lignin itself. However, in parallel, there is also a decrease in strength indicators with an increase in the proportion of hydrolytic lignin content in the initial press raw materials. Based on the analysis of the experimental data obtained, a formulation is proposed for obtaining PWR based on wood filler in the form of birch sawdust with the addition of hydrolysis lignin up to 40-60 wt.%. It is also found that the addition of hydrolysis lignin to wood filler increases the biostability of PWR in relation to the soil. During 90 days of exposure, the least mass loss of samples and the smallest changes in their linear dimensions (thickness) are observed. At the same time, a visual assessment of the morphological characteristics of the appearance of PWR based on a high content of hydrolytic lignin also show minimal changes associated with the stratification, swelling and loosening of the material. A similar pattern of changes in external signs is observed when testing samples for water resistance for 90 days. This suggests that, first of all, the destruction of these materials in the soil-soil occurs due to their water saturation of excess moisture from the soil and the destruction of internal bonds in the material itself. At the same time, based on the performed microscopy, it is found that, first of all, it is the wood filler that is destroyed in the soil.

Keywords: plastic; wood waste; birch sawdust; hydrolysis lignin; biostability.

Введение. В настоящее время отходы производства гидролизной и целлюлозно-бумажной промышленности в виде лигноцеллюлозных отходов более целесообразно считать важнейшим вторичным сырьевым ис-

точником, который находит и может находить применение в различных отраслях экономики нашей страны [1–3].

Интерес к переработке представляют гидролизный лигнин и лигносодержащие соединения из-за больших объемов образования, природного происхождения (биополимеры) и высокой реакционной способности к модификации их химической и химико-физической структуры [4].

Одним из распространенных методов утилизации лигнинсодержащих веществ как у нас в стране, так и за рубежом является их применение в качестве исходного вторичного сырья с целью получения полимерных композиционных материалов [5–7].

В работе [8] лигнин был использован в качестве матрицы, армирующего наполнителя и связующего агента в различных термопластах. В основном, он был исследован с использованием полипропиленовых и полиэтиленовых матриц. Несколько свойств термопластичных композитов были оценены с акцентом на влияние добавления лигнина в их различных концентрациях.

В статье [9] авторы уделяют внимание фракционированию лигнина из черного щелока с целью уменьшения его неоднородности, которая оказывает негативное воздействие на полимерные композиционные материалы на его основе. Лигнин растворяли в уксусной кислоте для получения раствора лигнина с низкой вязкостью и дифференцировали на фракции с определенной молекулярной массой путем последовательной ультрафильтрации. Были охарактеризованы фракционированные лигнины и оценена их пригодность в композитах «полиэтилен – лигнин». Группы лигнинов с самой низкой молекулярной массой и большим количеством фенольных гидроксильных групп оказывали положительное влияние на механические свойства композита «полиэтилен – лигнин».

Авторами [10] было показано, что композиты, полученные с добавлением гидролизного лигнина и металла в качестве компатибилизатора, существенно превосходят традиционные композиты на основе ПЭНД и древесной муки. Были оценены такие показатели физико-механических свойств, как ударная вязкость, твердость по Бринеллю, контактный модуль упругости при сжатии, водопоглощение за 24 ч и за 30 суток. Свойства изучаемых композитов были сопоставимы по показателям предела прочности при изгибе и предела прочности при растяжении с эталонными образцами традиционных композитов.

В статье [11] делается вывод, что благодаря растительному происхождению лигнина, перспективным направлением является его использование в качестве наполнителя для биоразлагаемого полимерного композита.

Было установлено [12], что при использовании мелкодисперсного лигнина, при содержании полиэтилена в исходной смеси 20–40 %, возможно получение композиционного материала с высокой прочностью и низким водопоглощением.

Кроме применения гидролизного лигнина для получения композитов и материалов с термопластичными синтетическими полимерами, они широко используются для получения древесно-композиционных матери-

алов (например, ДСтП, фанера) [13], а также возможно их применение в качестве связующих [14] или для модификации существующих связующих веществ [15].

Выполненное исследование [14] показало возможность получения древесных плитных материалов с высокими физико-механическими характеристиками при использовании гидролизного лигнина в качестве связующего. В данном исследовании предлагается химическая модификация лигнина путем его щелочной и окислительной обработки.

В работе [15] рассмотрена возможность изготовления фанеры и ДСтП на основе лигнинсодержащих фенолкарданолформальдегидных смол с заменой до 11 % фенола на лигнин и карданол в разных соотношениях.

Возможно получение различных материалов на основе лигнина и древесины (например, древесные опилки, волокно) без применения полимерного наполнителя и синтетических связующих.

В статье [16] представлены результаты исследований влияния механоактивации лигнина для получения топливных брикетов из древесных отходов. Было установлено влияние фракционного состава, теплотворной способности и структуры лигнина на требуемые качества топливного брикета. Установленные закономерности позволяют варьировать композиционный состав и технологические параметры брикетирования.

За счет смешения лигнина с волокнами древесины можно получить материал, перерабатываемый литьем в формы. Получаемый материал (биопластик) имеет устойчивость к механическим воздействиям, способен выдерживать большие нагрузки [17].

В работе [18] указывается, что путем добавления лигнина режимы прессования ДВП становятся более технологичными. В случае замены 15 % древесной пресс-массы гидролизным лигнином плиты имеют свойства, аналогичные ДВП марки Т-400.

Добавление гидролизного лигнина при получении пьезотермопластиков (пластиков без связующих (ПБС)) позволяет снизить давление прессования до 12–15 МПа, щелочного лигнина — до 2–3 МПа. При этом температура прессования ПБС с гидролизным лигнином снижается с 190 до 125 °С по сравнению с прессованием ПБС на основе древесного наполнителя в виде березовых опилок. Добавление в древесное пресс-сырье гидролизного или щелочного лигнина позволяет повысить пластические свойства древесного наполнителя, и при этом становится возможным смягчение режимов прессования ПБС [19].

Авторы [20] делают вывод, что применение гидролизного лигнина оказывает положительное влияние на экспозиционные свойства ПБС, увеличивая срок их сохранности во времени при комнатных условиях.

Ранними исследованиями было установлено [21; 22], что пресс-сырье для получения ПБС на основе мягких лиственных пород древесины (например, березы), имеет высокий потенциал для применения.

Исследование [23] водостойкости плитных материалов из коры сосны и березы показало, что физико-механические свойства материала, такие как прочность на изгиб, водопоглощение и разбухание, материала без использования связующих, были ниже показателей

плитного материала с использованием карбамидоформальдегидной смолы.

Комбинируя соотношение гидролизного лигнина и березовых опилок, можно получать пластик с относительно высокими показателями по прочности и водостойкости [19]. Например, при соотношении 1:1 гидролизного лигнина и древесных опилок образцы ПБС обладают сравнительно высокой прочностью и низким водопоглощением. Так, например, прочность ПБС только на основе гидролизного лигнина в 3–4,5 раза меньше прочности ПБС из березовых опилок, а водопоглощение меньше в 2–4,5 раза, чем у пластика из березовых опилок.

При изучении [22] биоразлагаемости ПБС было установлено, что образцы ПБС на основе опилок березы имели менее ярко выраженные морфологические изменения, а также обладали наименьшей потерей массы по результатам выдержки в почвогрунте по сравнению с образцами ПБС на основе опилок сосны.

Таблица 1. Показатели исходного пресс-сырья

Сырье	Показатель		
	Источник	Фракция, мм	Влажность, %
ОБ	Отходы пилорамы (г. В. Пышма, Свердловская обл.)	0,7	9,1
ГЛ	Отходы гидролизного производства (г. Тавда, Свердловская обл.)	0,7	3,4

Таблица 2. Рецептúra изготовления пресс-композиций для получения образцов ПБС

Номер рецептуры	Содержание, масс. %		
	ОБ	ГЛ	Вода
1	100	0	12
2	80	20	12
3	60	40	12
4	40	60	12
5	20	80	12
6	0	100	12

Таблица 3. Условия и режим получения образцов ПБС

Показатель	Единицы измерения	Величина
Давление прессования	МПа	40
Температура прессования	°С	180
Продолжительность прессования	мин	10
Продолжительность охлаждения под давлением	мин	10
Продолжительность кондиционирования в комнатных условиях	ч	24

Образцы ПБС после кондиционирования были подвергнуты испытаниям на физико-механические свойства (плотность, модуль упругости при изгибе по прогибу образца-диска, прочность при изгибе, твердость по вдавливанию шарика, водопоглощение по объему за 24 ч, разбухание по толщине за 24 ч). Испытание образцов осуществлялось в соответствии с действующими методиками исследований на физико-механические свойства с использованием аттестованного испытательного оборудования.

Испытание на биостойкость осуществлялось путем экспозиции образцов ПБС (принимались в виде квадратов 20x20 мм) в почвенной среде (почвогрунт для расады на основе навоза крупного рогатого скота со-

Таким образом, на основании выполненного анализа, целью данного исследования являлось изучение влияния гидролизного лигнина на биостойкость ПБС на основе древесины березы по отношению к почвогрунту. Актуальность данного исследования составляет создание научного задела по решению вопросов исследования данных композитов для получения максимально биостойкого и качественного материала.

Методика исследований. В данном исследовании для получения ПБС было использовано пресс-сырье в виде опилок березы (ОБ) и гидролизного лигнина (ГЛ), свойства которых представлены в табл. 1.

Конкретная рецептура пресс-композиций, принятая в каждом из опытов исследования, показана в табл. 2.

Согласно принятой рецептуре были получены образцы-диски ПБС толщиной 2,5 мм методом горячего компрессионного прессования в герметичной пресс-форме диаметром 90 мм. Условия получения и технологический режим прессования образцов представлены в табл. 3.

гласно ТУ 0392-001-59264059-03) при комнатной температуре и средней влажности почвогрунта 60 %. Общая продолжительность выдержки образцов в почвогрунте составляла 90 суток.

После экспозиции 30, 60 и 90 суток образцы ПБС изымались из почвенной среды и подвергались первичной обработке (промывка и сушка при комнатной температуре в течение 24 ч). После кондиционирования выполнялась оценка морфологических характеристик внешнего вида и определялось изменение массы и линейных размеров (толщины) каждого образца. Визуальная оценка внешних изменений образцов выполнялась с использованием микроскопа «Микромед 3»

(1x400). Микроскопированию подвергались лицевая поверхность образцов и их боковой срез.

С целью оценки влияния избыточной воды (влажности) почвогрунта на процесс биоразлагаемости ПБС образцы были подвергнуты параллельным испытаниям на водостойкость (водопоглощение по объему и разбухание по толщине) за 30, 60 и 90 суток.

Таблица 4. Показатели физико-механических свойств ПБС из различных рецептур

Показатель	Номер рецептуры					
	1	2	3	4	5	6
Плотность, кг/м ³	957	945	932	816	764	758
Модуль упругости при изгибе (по прогибу образца), МПа	2 654	2 242	2 042	1 458	1 242	1 212
Прочность при изгибе, МПа	10,5	8,8	7,6	4,6	3,3	1,4
Твердость (по вдавливанию шарика), МПа	17,3	17,3	17,2	17,1	17,1	17,0
Число упругости, %	34,6	28,5	27,2	25,7	23,2	21,3
Водопоглощение за 24 ч, %	56	48	42	26	20	10
Разбухание по толщине за 24 ч, %	23,5	20,2	14,7	11,6	6,5	3,2

На основании данных, приведенных в табл. 4, можно сделать следующие выводы:

1. Повышение содержания гидролизного лигнина в исходном пресс-сырье приводит к снижению прочностных показателей, получаемых ПБС: плотность материала снижается на 20,8 %, прочность при изгибе — на 86,7 %.

2. По показателям модуля упругости при изгибе и числа упругости можно косвенно судить о хрупкости получаемого материала. С увеличением содержания гидролизного лигнина в пресс-композиции хрупкость ПБС увеличивается: модуль упругости при изгибе снижается на 54,3 %, число упругости — на 38,4 %.

3. При этом с увеличением доли содержания гидролизного лигнина в древесном наполнителе наблюдается увеличение показателей водостойкости: снижение водопоглощения на 82,1 %, разбухание — на 86,4 %. Это предопределяется свойствами гидролизного лигнина, за счет его аморфной структуры и гидрофобности.

Таким образом, добавление гидролизного лигнина в пресс-композицию из опилок березы позволяет получать более водостойкий материал на основе ПБС, но при этом обладающий более низкими прочностными показателями и высокой хрупкостью.

Среднеарифметические значения изменения массы и линейных размеров (толщины) при испытаниях на

Результаты исследований. Среднеарифметические значения показателей физико-механических свойств образцов ПБС, полученных из различных рецептур на основе опилок березы и гидролизного лигнина, представлены в табл. 4.

биостойкость ПБС по отношению к почвогрунту представлены в табл. 5.

На основании данных, приведенных в табл. 5, можно сделать следующие выводы:

1. Добавка гидролизного лигнина позволяет уменьшить потерю массы образцов ПБС при выдержке их в почво-грунте до 90 суток. Так, уменьшение массы образцов только на древесном наполнителе составляет 49,8 %, при содержании гидролизного лигнина 40 масс. % в древесном наполнителе — 19,3 %, а при содержании 60 масс. % — 15,6 %.

2. Изменение толщины образцов ПБС при выдержке в почвогрунте протекает идентично, в зависимости от содержания в исходном пресс-сырье гидролизного лигнина: с увеличением его содержания происходит замедление уменьшения толщины материала. Данные изменения наблюдаются до 60 суток выдержки. Далее при выдержке уже более 60 суток наблюдается тенденция к увеличению толщины образцов по каждой композиции. Такой рост толщины образцов можно объяснить проявлением коробления образцов ПБС, появлением внутренних полостей и свищей, которые подтверждались визуальной оценкой.

Среднеарифметические значения результатов изменения показателей водопоглощения и разбухания образцов при испытании на водостойкость ПБС представлены в табл. 6.

Таблица 5. Результаты испытаний на биостойкость ПБС

Номер рецептуры	Время выдержки, суток					
	30	60	90	30	60	90
	Изменения, %					
	масса			толщина		
1	20,0	30,1	49,8	31,0	8,5	9,6
2	17,2	27,6	39,2	28,3	7,9	8,6
3	13,2	16,3	29,6	19,7	7,0	7,6
4	10,7	13,2	19,3	15,1	6,2	6,8
5	7,5	8,7	15,6	13,6	4,9	6,4
6	6,9	7,5	8,6	10,1	3,7	5,2

Таблица 6. Результаты испытаний на водостойкость ПБС

Номер рецептуры	Время выдержки, суток					
	30	60	90	30	60	90
	Показатель водостойкости, %					
	водопоглощение			разбухание по толщине		
1	45,3	49,3	56,3	20,2	16,4	18,5
2	42,5	46,5	50,9	18,2	14,9	16,3
3	39,5	42,3	46,8	16,3	12,5	13,9
4	36,4	38,2	40,1	15,5	11,9	13,5
5	28,2	31,3	33,6	15,1	11,5	12,9
6	22,3	26,2	29,3	12,1	9,3	10,5

На основании данных, приведенных в табл. 6, можно сделать следующие выводы:

1. Поведение образцов при испытаниях на водостойкость за 90 суток аналогично испытаниям на биостойкость: добавление гидролизного лигнина в пресс-композиции по различным рецептурам позволяет достигнуть снижения водопоглощения и разбухания образцов ПБС.

2. Наблюдается увеличение разбухания по толщине после 60 суток выдержки (аналогично увеличению толщины образцов ПБС после выдержки 60 суток в почвогрунте). Визуальная оценка показала, что увеличение толщины образцов обусловлено внутренними напряжениями, возникшими при их избыточном водонасыщении, повлекшими за собой вторичное разбухание, а также расслоение и ослизнение.

Микрофотографии лицевой поверхности исходных образцов ПБС и после испытаний их на биостойкость и водостойкость по различным рецептурам представлены на рисунке.

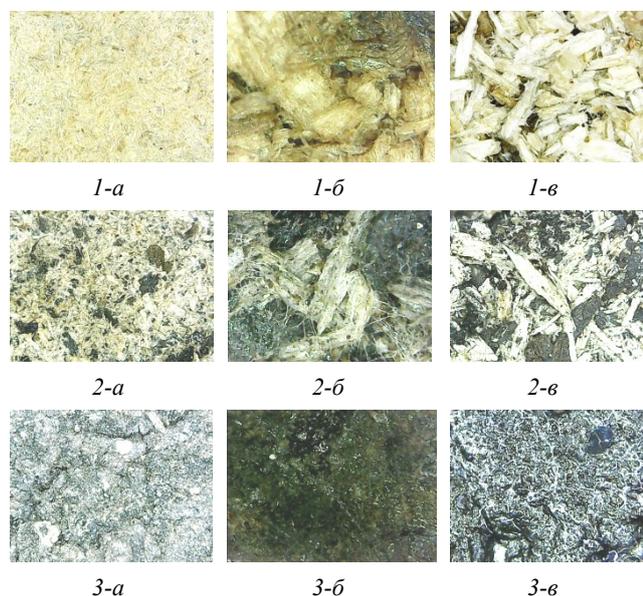


Рис. Микрофотографии лицевой поверхности образцов: 1 — ПБС на основе рецептуры № 1; 2 — ПБС на основе рецептуры № 3; 3 — ПБС на основе рецептуры № 6 (а — исходный (контроль); б — после 90 суток выдержки в почвогрунте; в — после 90 суток выдержки в воде)

Литература

1. Варанкина Г.С., Русаков Д.С., Иванова А.В., Иванов А.М. Снижение токсичности древесных клееных материалов,

На основании данных, приведенных на рис. 1, можно сделать следующие выводы:

1. При прессовании ПБС на основе гидролизного лигнина или с добавлением его к древесному наполнителю не удается получить монолитный материал (рис. 1.2-а и 1.3-а): на лицевой поверхности материала наблюдаются микротрещины, неоднородные включения.

2. Выдержка ПБС 90 суток в почвогрунте и в воде приводит к изменению внешней и внутренней структуры материала, при этом большому воздействию подвергается наполнитель на основе древесины (рис. 1.1-б, 1.1-в, 1.2-б, 1.2-в)

Заключение. По результатам выполненной работы можно сделать следующие выводы:

1. Добавка в виде гидролизного лигнина к древесному наполнителю в виде опилок березы для получения ПБС оказывает влияние на показатели их физико-механических свойств. С увеличением содержания гидролизного лигнина в пресс-сырье происходит увеличение показателей водостойкости, но при этом отмечается снижение прочностных свойств.

2. Наличие гидролизного лигнина в древесном наполнителе повышает биостойкость ПБС по отношению к почвогрунту за 90 суток. С увеличением содержания гидролизного лигнина в исходном пресс-сырье наблюдается уменьшение снижения потери массы и линейных размеров образцов.

3. Аналогичное поведение наблюдается при испытаниях образцов на водостойкость за 90 суток — с увеличением содержания гидролизного лигнина в древесном наполнителе водостойкость ПБС увеличивается.

4. Начальная (выдержка до 60 суток) деструкция образцов ПБС в почвогрунте протекает за счет избыточного водонасыщения и, как следствие, разрыва внутренних связей пластика, что подтверждается микроскопированием и визуальной оценкой образцов.

5. На основании выполненных исследований на физико-механические свойства, биостойкость и водостойкость предложена рациональная рецептура получения ПБС на основе древесного наполнителя в виде опилок березы с добавлением гидролизного лигнина в интервале 40÷60 масс. %.

на основе модифицированных лигносульфонатами карбамидоформальдегидных смол // Системы. Методы. Технологии. 2016. № 3 (31). С. 154-160.

2. Суsoева И.В., Вахнина Т.Н., Ибрагимов А.М. Оценка ресурсного потенциала использования пылевидных лигноцеллюлозных отходов для производства строительных композиционных материалов // Изв. высш. учеб. заведений. Технология текстильной пром-сти. 2019. № 3 (381). С. 37-41.
3. Удадьцов В.А., Вураско А.В. Свойства целлюлозных волокон, полученных в варочной системе гидроксид калия - гидразин - изобутиловый спирт - вода из древесины берёзы // Вестн. Технологического ун-та. 2017. Т. 20. № 17. С. 24-28.
4. Zevallos Torres L.A., Lorenci Woiciechowski A., De Andrade V.O. Tanobe Lignin as a potential source of high-added value compounds: A review // Journal of Cleaner Production. 2020. V. 263. P. 121499.
5. Dias O.A.T., Negrão D.R., Gonçalves D.F.C. Recent approaches and future trends for lignin-based materials // Molecular Crystals and Liquid Crystals. 2017. V. 655. № 1. P. 204-223.
6. Klapiszewski L., Jesionowski T. Novel lignin-based materials as products for various applications // Handbook of Composites from Renewable Materials, 2017. P. 519-554.
7. Collins M.N., Mcloughlin A., Strózyk M.A. Valorization of lignin in polymer and composite systems for advanced engineering applications - A review // International Journal of Biological Macromolecules. 2019. V. 131. P. 828-849.
8. Faruk O., Tjong J., Sain M., Obaid N. Lignin Reinforcement in Thermoplastic Composites // Lignin in Polymer Composites, 2015. P. 95-118.
9. Huang C., He J., Yong Q. Characterization of Kraft Lignin Fractions Obtained by Sequential Ultrafiltration and Their Potential Application as a Biobased Component in Blends with Polyethylene // ACS Sustainable Chemistry and Engineering. 2017. V. 5. № 12. P. 11770-11779.
10. Ступак Д.П., Шкуро А.Е., Артемов А.В. Получение и исследование свойств древесно-полимерных композитов с гидролизным лигнином // Деревообрабатывающая пром-сть. 2020. № 1. С. 72-80.
11. Погодина Я.Д., Сафина А.В. Исследования в области промышленного применения лигнина // Науч.-исследовательские публикации. 2022. № 2. С. 44-46.
12. Капустина И.Б., Якимцов В.П., Казаян В.И. Применение гидролизного лигнина для получения композиционных материалов // Химия в интересах устойчивого развития. 2003. Т. 11. № 3. С. 489-492.
13. Плотникова Г.П., Симонян С.Х. Повышение эффективности изготовления древесно-композиционных материалов конструкционного назначения // Системы. Методы. Технологии. 2017. № 3 (35). С. 131-137.
14. Судакова И.Г., Гаврилов Ю.Ю., Фетисова О.Ю., Кузнецов Б.Н. Использование химически модифицированных гидролизных лигнинов в качестве связующих при получении древесных композитов // Журнал Сибирского федер. ун-та. Сер. Химия. 2022. Т. 15. № 4. С. 518-528.
15. Шишлов О.Ф., Баулина Н.С., Глухих В.В. Лигнинсодержащие фенолкарданолформальдегидные смолы для фанеры и древесностружечных плит // Деревообрабатывающая пром-сть. 2019. № 4. С. 40-45.
16. Александров А.В., Афанасова А.В., Руденко А.П. Исследование механоактивации технического гидролизного лигнина как компонента топливного брикета // Химия растительного сырья. 2020. № 1. С. 355-363.
17. Тунцев Д.В., Ковернинский И.Н., Филиппова Ф.М. Биопластики на основе лигнина // Вестн. Казанского технологического ун-та. 2014. Т. 17. № 15. С. 192-194.
18. Бабина М.Д., Попова Г.И., Перескокова И.И. Об использовании гидролизного лигнина в составе для изготовления древесноволокнистых плит // Технология древесных плит и пластиков: межвуз. сб. Свердловск, 1982. Вып. IX. С. 155-160.
19. Минин А.Н. Технология термопезопластиков. М.: Лесная пром-сть, 1965. 296 с.
20. Артемов А.В., Бурындин В.Г., Савиновских А.В. Влияние гидролизного лигнина на экспозиционные свойства пластиков без связующего // Древесные плиты и фанера: теория и практика: материалы XXIV Всерос. науч.-практической конф. (17-18 марта 2021 г.). СПб.: Политехпресс, 2021. С. 86-91.
21. Скурыдин Ю.Г., Скурыдина Е.М., Сафина А.В., Хабибулина А.Р. Структурные особенности композиционных материалов из древесины березы, гидролизованной в присутствии пероксида водорода // Деревообрабатывающая пром-сть. 2021. № 4. С. 98-108.
22. Артемов А.В., Ершова А.С., Савиновских А.В. Исследование биоразлагаемости древесных пластиков без добавления связующих на основе древесины березы // Системы. Методы. Технологии. 2022. № 3 (55). С. 92-97.
23. 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.-технической конф. в рамках Междунар. молодежного форума по лесопромышленному образованию (6-9 дек. 2022 г.). Минск: Белорус. гос. технологический ун-т, 2022. С. 110-113.

References

1. Varankina G.S., Rusakov D.S., Ivanova A.V., Ivanov A.M. Reducing the toxicity of wood glued materials based on modified carbamide-formaldehyde resins with lignosulfonates // Systems. Methods. Technologies. 2016. № 3 (31). P. 154-160.
2. Susoeva I.V., Vahnina T.N, Ibragimov A.M. Assessment of the resource potential of the use of pulverized lignocellulose waste for the production of building composite materials // Proceedings of higher education institutions. Textile industry technology. 2019. № 3 (381). P. 37-41.
3. Udalcov V.A., Vurasko A.V. Properties of cellulose fibers obtained in the cooking system potassium hydroxide - hydrazine - isobutyl alcohol - water from birch wood // Bulletin of the Technological University. 2017. V. 20. № 17. P. 24-28.
4. Zevallos Torres L.A., Lorenci Woiciechowski A., De Andrade V.O. Tanobe Lignin as a potential source of high-added value compounds: A review // Journal of Cleaner Production. 2020. V. 263. P. 121499.
5. Dias O.A.T., Negrão D.R., Gonçalves D.F.C. Recent approaches and future trends for lignin-based materials // Molecular Crystals and Liquid Crystals. 2017. V. 655. № 1. P. 204-223.
6. Klapiszewski L., Jesionowski T. Novel lignin-based materials as products for various applications // Handbook of Composites from Renewable Materials, 2017. P. 519-554.
7. Collins M.N., Mcloughlin A., Strózyk M.A. Valorization of lignin in polymer and composite systems for advanced engineering applications - A review // International Journal of Biological Macromolecules. 2019. V. 131. P. 828-849.
8. Faruk O., Tjong J., Sain M., Obaid N. Lignin Reinforcement in Thermoplastic Composites // Lignin in Polymer Composites, 2015. P. 95-118.
9. Huang C., He J., Yong Q. Characterization of Kraft Lignin Fractions Obtained by Sequential Ultrafiltration and Their Potential Application as a Biobased Component in Blends with Polyethylene // ACS Sustainable Chemistry and Engineering. 2017. V. 5. № 12. P. 11770-11779.
10. Stupak D.P., SHkuro A.E, Artemov A.V. Obtaining and studying the properties of wood-polymer composites with hydrolyzed lignin // Derevoobrabatavushaya promishlennost' (Woodworking industry). 2020. № 1. P. 72-80.
11. Pogodina YA.D., Safina A.V. Research in the field of industrial application of lignin // Journal of Scientific Research Publications. 2022. № 2. P. 44-46.

12. Kapustina I.B., YAkimcov V.P., Kazazyan V.I. The use of hydrolytic lignin for the production of composite materials // Chemistry for Sustainable Development. 2003. V. 11. № 3. P. 489-492.
13. Plotnikova G.P., Simonyan S.H. Improving the efficiency of manufacturing wood-composite materials for structural purposes // Systems. Methods. Technologies. 2017. № 3 (35). P. 131-137.
14. Sudakova I.G., Gavrilov YU.YU., Fetisova O.YU., Kuznecov B.N. The use of chemically modified hydrolysis lignins as binders in the production of wood composites // SibFU Journal. Chemistry. 2022. V. 15. № 4. P. 518-528.
15. SHishlov O.F., Baulina N.S., Gluhih V.V. Lignin-containing phenolcardanolformaldehyde resins for plywood and particle boards // Derevoobrabativaushaya promishlennost' (Woodworking industry). 2019. № 4. P. 40-45.
16. Aleksandrov A.V., Afanasova A.V., Rudenko A.P. Investigation of mechanical activation of technical hydrolysis lignin as a component of a fuel briquette // Khimija Rastitel'nogo Syr'ja (Chemistry of plant raw material). 2020. № 1. P. 355-363.
17. Tuncev D.V., Koverninskij I.N., Filippova F.M. Bioplastics based on lignin // Herald of Kazan Technological University. 2014. V. 17. № 15. P. 192-194.
18. Babina M.D., Popova G.I., Pereskokova I.I. On the use of hydrolytic lignin in the composition for the manufacture of fiberboard // Tekhnologiya drevesnyh plit i plastikov: mezhvuz. sb. Sverdlovsk, 1982. Vyp. IX. P. 155-160.
19. Minin A.N. Technology of thermopiezoplastics. M.: Lesnaya prom-st', 1965. 296 p.
20. Artemov A.V., Buryndin V.G., Savinovskih A.V. The influence of hydrolysis lignin on the exposure properties of plastics without binder // Drevesnye plity i fanera: teoriya i praktika: materialy XXIV Vseros. nauch.-prakticheskoy konf. (17-18 marta 2021 g.). SPb.: Politekh-press, 2021. P. 86-91.
21. Skurydin YU.G., Skurydina E.M., Safina A.V., Habibullina A.R. Structural features of composite materials made of birch wood hydrolyzed in the presence of hydrogen peroxide // Derevoobrabativaushaya promishlennost' (Woodworking industry). 2021. № 4. P. 98-108.
22. Artemov A.V., Ershova A.S., Savinovskih A.V. Investigation of biodegradability of wood plastics without the addition of binders based on birch wood // Systems. Methods. Technologies. 2022. № 3 (55). P. 92-97.
23. Konovalov K.E., Mikryukova E.V. Determination of water resistance of slab materials from birch and pine bark // Sostoyanie i perspektivy razvitiya lesnogo kompleksa v stranah SNG: sb. st. II Mezhdunar. nauch.-tekhnicheskoy konf. v ramkah Mezhdunar. molodezhnogo foruma po lesopromyshlennomu obrazovaniyu (6-9 dek. 2022 g.). Minsk: Belarus. gos. tekhnologicheskij un-t, 2022. P. 110-113.