

ПОВЕДЕНИЕ ЭКСТРАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ «БУРОЙ ГНИЛИ» ПРИ ТЕРМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ И ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Г.Н. Кононов¹, А.Н. Веревкин¹, Ю.В. Сердюкова¹,
В.Д. Зайцев¹, Н.Л. Горячев², А.С. Воликова¹

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская область, г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

²ОАО «Центральный научно-исследовательский институт бумаги», 141260, Московская область, Пушкинский р-н, пос. Правдинский, ул. Ленина, д. 15/1

kononov@mgul.ac.ru

Древесина является уникальным природным материалом, имеющим широкое применение во многих отраслях хозяйства. Однако большое количество заготавливаемой древесины переводится в разряд низкокачественной благодаря наличию так называемых «гнилей». Древесина с «бурой гнилью» не имеет практического применения и является технологическим отходом. Однако по нашему мнению микологически разрушенную древесину с «бурой гнилью» можно использовать в качестве перспективного термореактивного сырья для получения различного рода продуктов и материалов. В статье приводится теоретическое обоснование использования экстрактивных веществ «бурой гнили» в различных химико-технологических процессах, связанных с применением повышенных температур. Приводятся теоретически возможные химические реакции между экстрактивными веществами и лигнинсодержащими продуктами, протекающие при термическом воздействии. Авторами проведены исследования по использованию микологически разрушенной древесины для получения лигноуглеводных пластиков, гранулированного угля на основе гидролизованного лигнина и поликонденсационных полимеров. Наилучшие результаты при получении лигноуглеводных пластиков достигается при использовании смеси «белой гнили», выполняющей роль волокнистой матрицы, и «бурой гнили», функционирующей в качестве армирующего связующего, в соотношении 54:46. Также установлено, что наибольший количественный эффект при получении угля-сырца достигается при пиролизе композиции, содержащей 15 % микологически разрушенной древесины и 85 % гидролизованного лигнина, а использование предварительно проэкстрагированной микологически разрушенной древесины приводит к закономерному снижению выхода и содержания нелетучего углерода в ней. Большое содержание низкомолекулярных экстрактивных веществ позволяет целенаправленно экстрагировать «бурую гниль» и использовать полученные низкомолекулярные вещества непосредственно для органического синтеза. Установлено, что при выпаривании и термической обработке экстрактивных веществ «бурой гнили» можно получить фенопласты и полиэферы, нерастворимые в воде.

Ключевые слова: микологически разрушенная древесина, лигноуглеводные пластики, гранулированный уголь, фенопласты

Ссылка для цитирования: Кононов Г.Н., Веревкин А.Н., Сердюкова Ю.В., Зайцев В.Д., Горячев Н.Л., Воликова А.С. Поведение экстрактивных веществ «бурой гнили» при термических воздействиях и возможные пути их использования // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2019. Т. 23. № 1. С. 102–109. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-1-102-109

Рациональное использование лесных ресурсов является важной экономической задачей. Однако среди заготавливаемой древесины большое количество лесоматериалов является низкокачественным. Основным пороком, снижающим качество древесины, является так называемая «гниль», образующаяся за счет жизнедеятельности дереворазрушающих грибов. До 85 % сортиментов попадают в разряд низкокачественных из-за наличия «гнили», и только 15 % из-за остальных пороков древесины [1]. Микологически разрушенная древесина на данный момент не имеет технологического применения и является обременительным отходом. Однако, с нашей точки зрения, древесина, микологически разрушенная грибами, вызывающих «бурую гниль», является сырьем, обогащенной ароматической составляющей, позволяющей использовать ее в

различных химических технологиях для получения ценных продуктов и материалов.

Лигнин древесины в результате микологического воздействия подвергается процессам деструктивного окисления и фрагментации [2–15]. Появляющиеся в процессе его окисления новые функциональные группы могут участвовать в реакциях конденсации, а образовавшиеся низкомолекулярные экстрактивные вещества ароматической природы могут выступать в роли сшивающих агентов при образовании пространственных структур. Это делает «бурую гниль» термореактивным природным композитом, обуславливающим возможность использования его в различных термических процессах.

При термическом воздействии лигнин микологически разрушенной древесины может вступать во взаимодействие с карбонилсодержащими

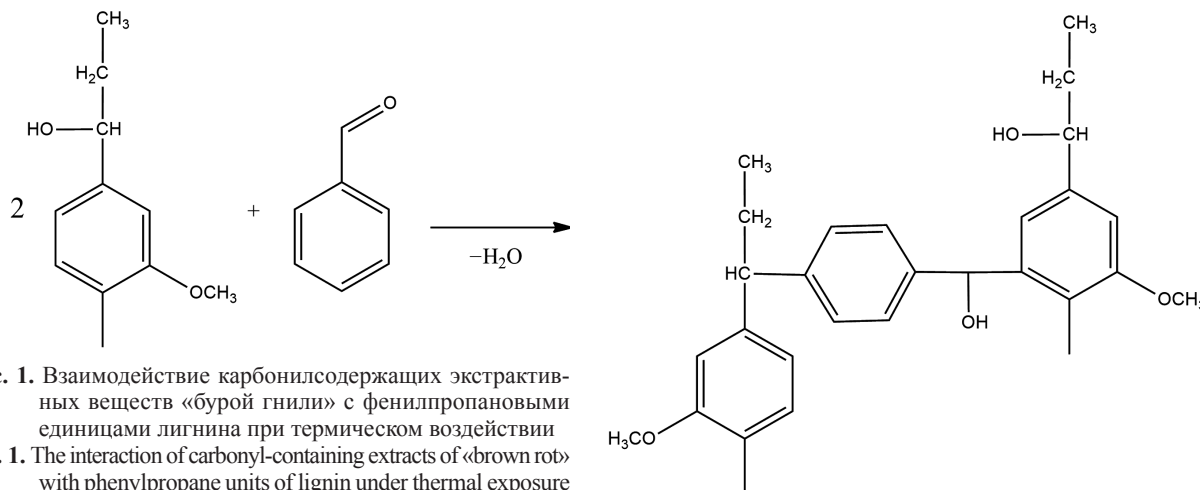


Рис. 1. Взаимодействие карбонилсодержащих экстрактивных веществ «бурой гнили» с фенолпропановыми единицами лигнина при термическом воздействии
Fig. 1. The interaction of carbonyl-containing extracts of «brown rot» with phenylpropane units of lignin under thermal exposure

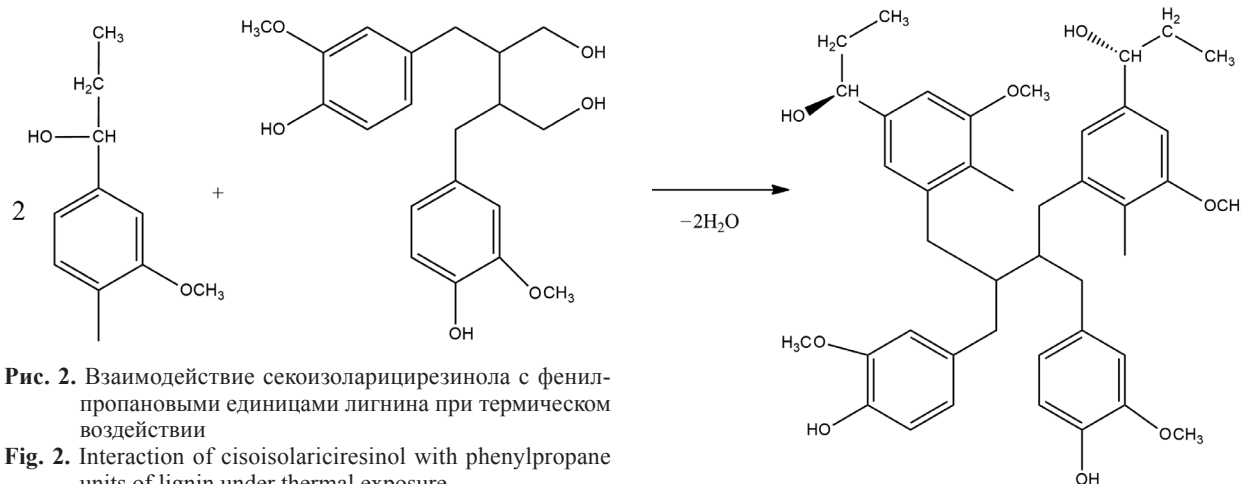


Рис. 2. Взаимодействие секоизоларицирезинола с фенолпропановыми единицами лигнина при термическом воздействии
Fig. 2. Interaction of cisoisolariresinol with phenylpropane units of lignin under thermal exposure

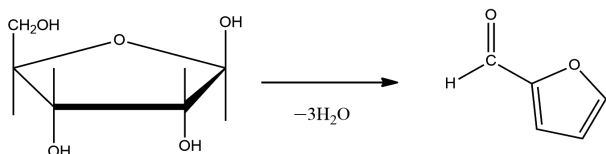


Рис. 3. Реакция дегидратации пентоз с образованием фурфурола
Fig. 3. Dehydration reaction of pentose to form furfural

экстрактивными веществами, с участием гидроксильных групп пропановых цепей и подвижных атомов водорода ароматических ядер (рис. 1).

Некоторые компоненты экстрактивных веществ, например секоизоларицирезинол, могут также выступать в роли сшивающих агентов при взаимодействии гидроксильных групп с подвижными атомами водорода ароматических колец фенолпропановых единиц (рис. 2).

Среди продуктов микологического разрушения лигноуглеводного комплекса присутствуют и продукты деструкции полисахаридов — пентозы и гексозы. При повышенных температурах моносахариды в результате реакций дегидратации могут образовывать ароматические альдегиды (рис. 3), также выступающие в качестве сшива-

ющих агентов (рис. 4). Реакции при этом могут протекать в свободных положениях ароматических ядер фенолпропановых единиц лигнина.

Кроме этого, большое содержание кислот (лауриновая, бутановая, уксусная), в том числе и многоосновных (фумаровая, малоновая, щавелевая), позволяет предположить процессы сложноэфирной конденсации с участием как алифатических, так и фенольных гидроксидов биолигнина (рис. 5).

Таким образом, микологически разрушенная древесина «бурой гнили» является терморективным высокорекреационноспособным сырьем, в связи с чем нами была предпринята попытка использования «бурой гнили» в различных технологических процессах.

Цель работы

Целью работы является экспериментальное подтверждение возможности использования экстрактивных веществ микологически разрушенной древесины с «бурой гнилью» в качестве перспективного терморективного сырья в различных химико-технологических процессах, связанных с термическим воздействием.

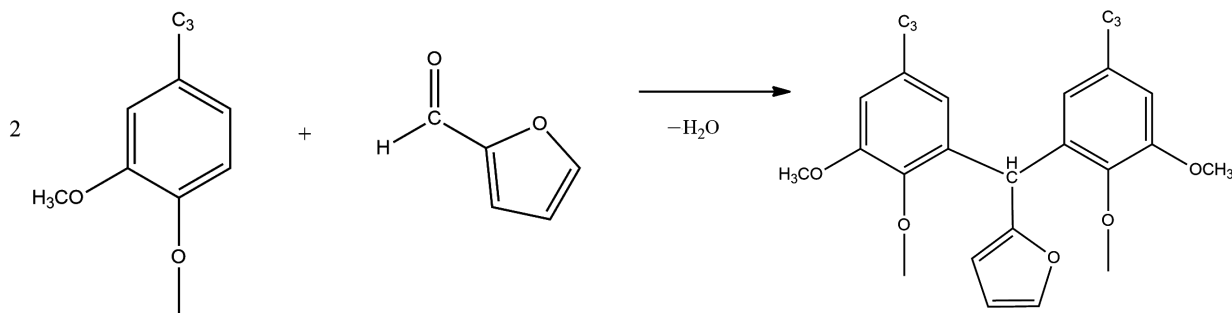


Рис. 4. Взаимодействие фурфурола с фенилпропановыми единицами лигнина при термическом воздействии

Fig. 4. Interaction of furfural with phenylpropane units of lignin under thermal exposure

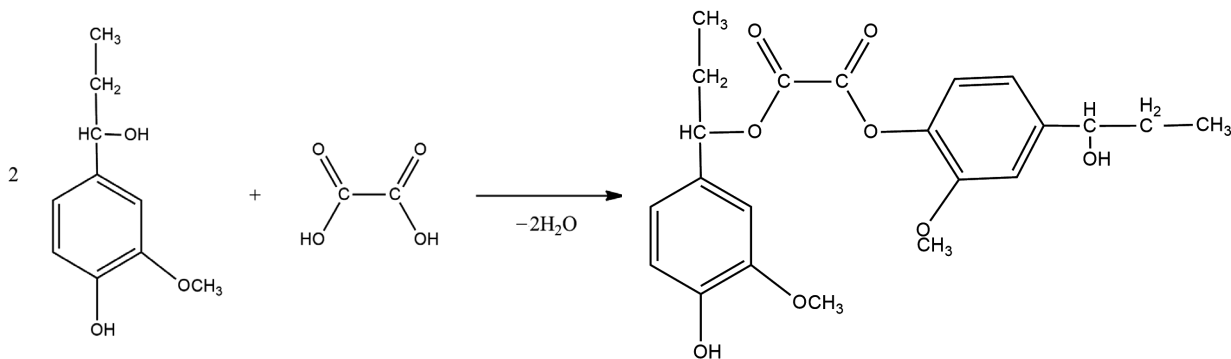


Рис. 5. Возможный путь образования сложноэфирных структур с участием карбоксилсодержащих экстрактивных веществ и «бурой гнили»

Fig. 5. Probable manner of complex ester structures formation involving carboxyl-containing extractives and «brown rot»

Материалы и методы

В качестве исходного сырья использовалась древесина ели с «бурой гнилью» III стадии разложения и древесина березы с «белой гнилью» II стадии разложения. Древесина предварительно высушивалась и измельчалась до порошкообразного состояния. Затем микологически разрушенная древесина использовалась для получения лигноуглеводных пластиков, гранулированного угля и поликонденсационных полимеров. Прессование композиции с «бурой» и «белой гнилью» высушенной до влажности 9 % проводили при давлении 40 МПа, температуре 150 °С и продолжительности прессования 20 мин [16]. После охлаждения образцы подвергали испытанию для определения предела прочности при изгибе и сжатии, водопоглощения при 20 °С за 24 часа и разбухания при 20 °С за 24 часа [17, 18]. Пиролиз смеси гидролизного лигнина с древесиной, пораженной «бурой гнилью», проводили со скоростью нагрева 10 °С/мин до температуры 450 °С с последующим выдерживанием при заданной температуре в течение 2 часов. Полученный уголь сырец охлаждали и подвергали испытанию на содержание нелетучего углерода по стандартным методикам [19, 20]. Для изучения возможности использования

экстрактивных веществ «бурой гнили» в качестве сырья для синтеза поликонденсационных полимеров микологически разрушенную древесину экстрагировали горячей водой, экстракт выпаривали досуха с последующим нагреванием, а образовавшийся твердый продукт обрабатывали исходным количеством горячей воды [16, 19].

Результаты и обсуждение

Согласно авторскому мнению, «бурую гниль» можно использовать для производства лигнопластов без применения синтетических связующих. Биолигнин при пьезотермическом воздействии будет вступать в реакции конденсации с экстрактивными веществами с образованием прочной сетчатой структуры. Основным недостатком лигноуглеводных пластиков на основе здоровой древесины является их низкая водостойкость [21]. При использовании же такого сырья как древесина с «бурой гнилью» можно получить гидрофобный материал с удовлетворительными механическими свойствами. Наилучшие результаты были получены при использовании в композиции при прессовании смеси «белой гнили», выполняющей роль волокнистой матрицы, и «бурой гнили», выполняющей функцию армирующего связующего, взятых в соотношении 54:46 (рис. 6, таблица).

Физико-механические характеристики композиционных материалов на основе микологически разрушенной древесины

Physic-mechanical characteristics of composite materials on the basis of mycologically destroyed wood

Содержание древесины пораженной, %		Предел прочности при изгибе, МПа	Предел прочности при сжатии, МПа	Водопоглощение при 20 °С за 24 часа, %	Разбухание при 20 °С за 24 часа, %
«белой гнилью» II стадии разложения	«бурой гнилью» III стадии разложения				
0	100	3,45	6,9	13,91	12,0
25	75	6,08	7,2	16,19	13,5
50	50	15,53	10,11	17,47	14,5
75	25	18,07	6,1	21,78	18,0
100	0	8,77	5,0	30,11	22,0
54	46	16,46	9,21	18,05	15,0



Рис. 6. Лигнопластик из пресс-массы с «бурой гнилью»
Fig. 6. Lignoplastic from a press-mass with «brown rot»

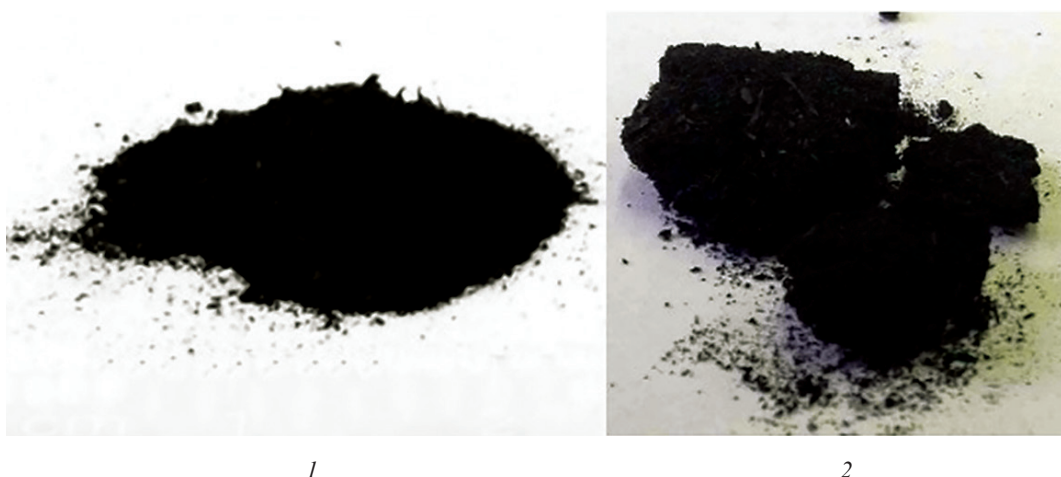


Рис. 7. Порошкообразный уголь-сырец из гидролизного лигнина (1) и структурированный с использованием 15 % «бурой гнили» (2)
Fig. 7. Powdered charcoal from hydrolytic lignin (1) and structured sample using 15 % «brown rot» (2)

Такая композиция, спрессованная при указанных рецептурах, дала достаточно водостойкий материал, не уступающий по прочностным показателям наиболее распространенным материалам из пресс-масс с использованием синтетических связующих.

Микологически разрушенную древесину с «бурой гнилью» можно также использовать в качестве термореактивного связующего при пиролизе гидролизного лигнина. Гидролизный лигнин обладает рядом ценных свойств, таких как большая удельная поверхность и высокое содержание углерода, что делает его перспективным сырьем в производстве углеродных сорбентов. Однако в виду того, что гидролизный лигнин представляет собой мелкодисперсный порошок, и при пиро-

лизе дает уголь-сырец практически полностью выгорающий при парогазовой активации, его необходимо структурировать. По способности структурироваться при нагревании угли подразделяются на способные спекаться и неспекающиеся. На способность спекаться оказывают влияние экстрактивные вещества, при удалении которых плохо или умеренно спекающиеся угли полностью теряют способность к структурированию, а у хорошо спекающихся наблюдается ухудшение способности к спеканию [22]. Микологически разрушенная древесина с «бурой гнилью», обогащенная низкомолекулярными экстрактивными веществами, может служить активным модификатором гидролизного лигнина в термических

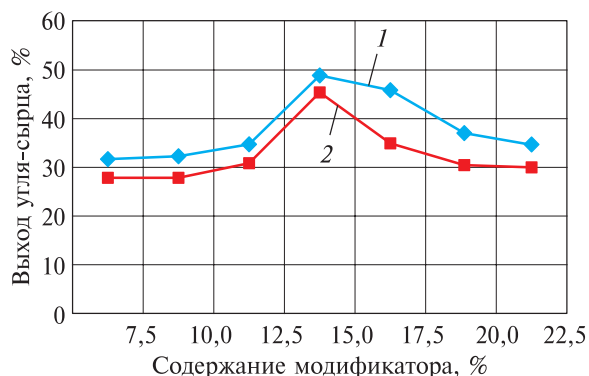


Рис. 8. Зависимость выхода угля-сырца из модифицированного гидролизного лигнина при температуре пиролиза 450 °С от содержания микологически разрушенной древесины в композиции: исходной (1) и проэкстрагированной (2)

Fig. 8. The dependence of the yield of raw coal from modified hydrolytic lignin at a pyrolysis temperature of 450 °C on the content of mycologically-degraded wood in the composition: pure (1) and extracted (2)

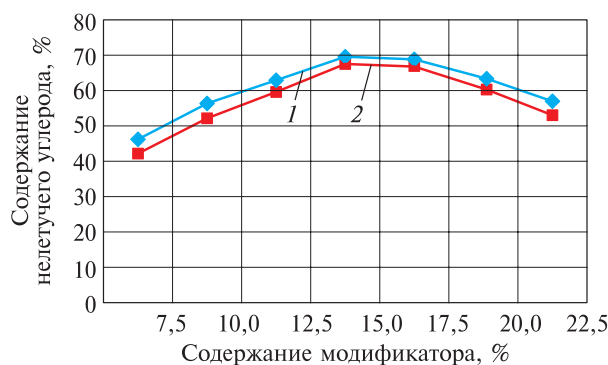


Рис. 9. Зависимость содержания нелетучего углерода в угле-сырце из модифицированного гидролизного лигнина при температуре пиролиза 450 °С от содержания микологически разрушенной древесины в композиции: исходной (1) и проэкстрагированной (2)

Fig. 9. Dependence of the non-volatile carbon content in raw coal from modified hydrolytic lignin at a pyrolysis temperature of 450 °C from the content of mycologically-degraded wood in the composition: pure (1) and extracted (2)



Рис. 10. Нерастворимые сконденсированные продукты экстракции древесины ели с «бурой гнилью»

Fig. 10. Insoluble condensed wood extraction products of spruce with «brown rot»

процессах обуглероживания, что в конечном итоге может приводить к гранулированию угля-сырца, а полученные гранулы можно будет использовать при активации угля-сырца с дальнейшим получением углеродных сорбентов. Наибольший количественный эффект от использования такого модификатора достигается при добавлении его в композицию с гидролизным лигнином в количестве 15 % и пиролизе при температуре 450 °С (рис. 7). При этом использование предварительно проэкстрагированной «бурой гнили», тем самым освобожденной от экстрактивных веществ, приводит к снижению выхода (рис. 8) и содержания нелетучего углерода (рис. 9) в угле-сырце. Это доказывает наше предположение о том, что именно низкомолекулярные компоненты «бурой гнили» являются структурирующими агентами

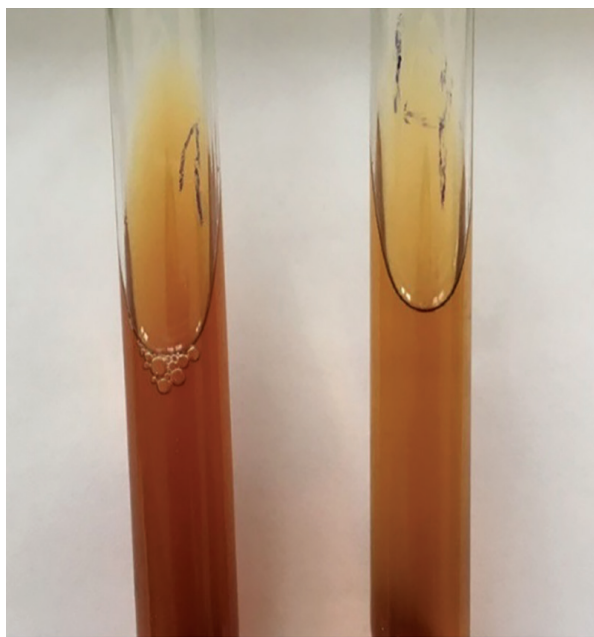
как для гидролизного лигнина, так и для самого биолигнина — продукта микелиза древесины при их совместном пиролизе.

Большое содержание водорастворимых экстрактивных веществ в «бурой гнили», общее количество которых может достигать 30 %, а при использовании в качестве экстрагента разбавленного раствора щелочи даже 50 %, говорит в пользу того, что древесину с «бурой гнилью» можно целенаправленно подвергать экстрагированию, а извлеченные низкомолекулярные вещества использовать в органическом синтезе. Ввиду большого разнообразия наиболее предпочтительным является групповое использование для синтеза поликонденсационных олигомеров. При термической обработке высушенных водных экстрактов удалось получить нерастворимый сконденсированный продукт, представленный на рис. 10. Кроме этого, снижение интенсивности окраски водного экстракта после термообработки и последующего растворения, а также повышением рН с 2,0 до 4,0 говорит о том, что экстрактивные вещества образуют фенопласты и полиэферы, нерастворимые в воде (рис. 11).

Возможны и другие области применения экстрактивных веществ «бурой гнили», например, в качестве заменителя танинов в технологии дубления кож, преобразования ржавчины и т. д.

Выводы

1. Микологически разрушенная древесина с «бурой гнилью» является сырьем, обогащенным низкомолекулярными соединениями ароматической природы, содержащими разнообразные реакционноспособные группы, что позволяет использовать ее как термореактивное сырье.



1

2

Рис. 11. Водные экстракты «бурой гнили» древесины ели до (1) и после термообработки и удаления образовавшихся нерастворимых продуктов (2) растворимой части

Fig. 11. Aqueous extracts of «brown rot» of spruce wood before (1) and after heat treatment and removal of the insoluble products formed (2) of the soluble part

2. Большое содержание экстрактивных веществ в «бурой гнили» позволяет использовать их как опосредованно, в составе микологически разрушенной древесины, так и непосредственно, при их извлечении экстракцией с последующей переработкой.

3. На данный момент изучена возможность использования древесины с «бурой гнилью» в качестве сырья для получения лигноуглеводных пластиков, гранулированного угля-сырца и поликонденсационных олигомеров.

Список литературы

- [1] Пятакин В.И., Салминен Э.О., Бит Ю.А. Лесозексплуатация. М.: Академия, 2006. 320 с.
- [2] Кононов Г.Н. Дендрохимия. Химия, нанохимия и биохимия компонентов клеток, тканей и органов древесных растений. М.: МГУЛ, 2015. Т. II. 632 с.
- [3] Рипачек В. Биология дереворазрушающих грибов. М.: Лесная промышленность, 1967. 258 с.
- [4] Азаров В.И., Кононов Г.Н., Горячев Н.Л. Изучение компонентного состава микологически разрушенной древесины // Технология и оборудование для переработки древесины: научные труды. М.: МГУЛ, 2012. Вып. 358. С. 126–131.
- [5] Стороженко В.Г. Научные основы устойчивости лесов к дереворазрушающим грибам. М.: Наука, 1992. 221 с.
- [6] Фенгел Д., Вегенер Г. Древесина (Химия, ультраструктура, реакции). М.: Лесная промышленность, 1988. 512 с.
- [7] Шиврина А.Н. Биологически активные вещества высших грибов. М.: Наука, 1965. 202 с.
- [8] Ганбаров Х.Г. Эколого-физиологические особенности дереворазрушающих высших базидальных грибов. Баку: ЭЛМ, 1989. 197 с.
- [9] Naidu Y., Siddiqui Y., Rafii M.Y., Saud H.M., Idris A.S. Investigating the effect of white-rot hymenomycetes biodegradation on basal stem rot infected oil palm wood blocks: Biochemical and anatomical characterization // Industrial Crops and Products, 2017, v. 108, pp. 872–882.
- [10] Falcon M.A., Rodríguez A., Carnicero A., Regalado V., Perestelo F., Milstein O., De la Fuente G. Isolation of microorganisms with lignin transformation potential from soil of Tenerife island // Soil Biology and Biochemistry, 1995, v. 27 (2), pp. 121–126.
- [11] Екабсоне М.Я. Исследование энзиматически разрушенной древесины // Химия древесины, 1978. № 2. С. 61–64.
- [12] Иванкин А.Н., Фадеев Г.Н., Болдырев В.С., Прошина О.П., Куликовский А.В., Семенова А.А., Насонова В.В. Вкусоароматические компоненты рецептур, формируемые в присутствии бактериальных культур // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология, 2017. Т. 7. № 2. С. 124–136.
- [13] Иванкин А.Н., Красноштанова А.А. Гидролиз нанобиомолекулярных систем. М.: МГУЛ, 2010. 394 с.
- [14] Ivankin A.N., Oliferenko G.L., Kulikovskii A.V., Chernuha I.M., Semenova A.A., Spiridonov K.I., Nasonova V.V. Determination of unsaturated fatty acids with a migrating double bond in complex biological matrices by gas chromatography with flame ionization and mass spectrometry detection // Journal of Analytical Chemistry, 2016, v. 71, no. 11, pp. 1131–1137.
- [15] Рабинович М.Л., Болобова В.И., Кондращенко В.И. Теоретические основы биотехнологии древесных композитов. Кн. I: Древесина и разрушающие ее грибы. М.: Наука, 2001. 264 с.
- [16] Григорьев А.П., Федотова О.Я. Лабораторный практикум по технологии пластических масс. Ч. 2: Поликонденсационные и химически модифицированные пластические массы. М.: Высшая школа, 1977. 264 с.
- [17] ГОСТ 19592–80. Плиты древесноволокнистые. Методы испытаний. М.: Госстандарт, 1980. 11 с.
- [18] ГОСТ 16483.10–73. Древесина. Методы определения предела прочности при сжатии вдоль волокон. М.: ИПК Издательство стандартов, 1999. 6 с.
- [19] Кононов Г.Н. Химия древесины и ее основных компонентов. Лабораторный практикум. М.: МГУЛ, 2005. 138 с.
- [20] Богданович Н.И., Кутакова Н.А., Селянина С.Б. Лабораторный практикум по технологии биологически активных веществ и углеродных сорбентов: в 2 ч. Ч. 1: Анализ углей и продуктов пиролиза древесины. Архангельск: САФУ, 2013. 84 с.
- [21] Мельникова Л.В. Технология композиционных материалов из древесины. М.: МГУЛ, 2007. 235 с.
- [22] Русьянова Н.Д. Углекислотная химия. М.: Наука, 2003. 312 с.

Сведения об авторах

Кононов Георгий Николаевич — канд. техн. наук, доцент кафедры химии МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), чл.-корр. РАЕН, ученый секретарь секции химии и химической технологии древесины РХО им. Д.И. Менделеева, kononov@mgul.ac.ru

Веревкин Алексей Николаевич — канд. хим. наук, доцент кафедры химии МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), verevkin@mgul.ac.ru

Сердюкова Юлия Владимировна — старший преподаватель кафедры химии МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), caf-htdip@mgul.ac.ru

Зайцев Владислав Дмитриевич — магистрант МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), kelertak@bk.ru

Горячев Никита Леонидович — канд. хим. наук, руководитель испытательного центра целлюлозно-бумажной продукции «ЦКАЛ» ОАО «Центральный научно-исследовательский институт бумаги», Goryachev_nl@mai.ru

Воликова Анастасия Сергеевна — магистрант, МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), nastja-volikova@rambler.ru

Поступила в редакцию 25.10.2018.

Принята к публикации 30.11.2018.

EXTRACTIVE SUBSTANCES BEHAVIOR OF «BROWN ROT» UNDER THERMAL EXPOSURE AND POSSIBLE WAYS OF THEIR USE

G.N. Kononov¹, A.N. Verevkin¹, Yu.V. Serdyukova¹,
V.D. Zaitsev¹, N.L. Goryachev², A.S. Volikova¹

¹BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

²PLC «Central Research Institute of Paper», 15/1, Lenina st., 141260, pos. Pravdinsky, Moscow Region, Russia

kononov@mgul.ac.ru

Wood is a unique natural material that has wide application in many branches of the economy. However, a large amount of harvested wood is transferred to a low-quality category due to the presence of so-called «rot». Wood with «brown rot» has no practical application and is a technological waste. However, in our opinion, mycologically degraded wood with «brown rot» can be used as a promising thermoset raw material for the production of various kinds of products and materials. The article provides a theoretical basis for the “brown rot” extractive substances usage in various chemical-technological processes associated with the use of raised temperatures. Theoretically possible chemical reactions occurring between extractive substances and lignin-containing products during thermal exposure are given. The authors conducted studies carry out an investigation on the usage of mycologically-degraded wood for the production of ligno-carbohydrate plastics, granular coal based on hydrolytic lignin and polycondensation polymers. The best results for the preparation of ligno-carbohydrate plastics are achieved using a mixture of «white rot», which serves as a fibrous matrix, and «brown rot», which serves as a reinforcing binder, in a ratio of 54:46. It was also found that the greatest quantitative effect in the production of raw coal is achieved by the pyrolysis of the composition containing 15 % of mycologically destroyed wood and 85 % of hydrolytic lignin, and the use of pre-extracted mycologically-degraded wood leads to a regular decrease in the yield and content of non-volatile carbon in it. A high content of low-molecular extractive substances makes it possible to extract «brown rot» purposefully and use the obtained low-molecular-weight substances directly for organic synthesis. It has been found that by evaporation and heat treatment of «brown rot» extractive substances it is possible to obtain water insoluble phenolics and polyesters insoluble in water.

Keywords: mycologically destroyed wood, ligno-carbohydrate plastics, granulated coal, phenolic plastic

Suggested citation: Kononov G.N., Verevkin A.N., Serdyukova Yu.V., Zaitsev V.D., Goryachev N.L., Volikova A.S. *Povedenie ekstraktivnykh veshchestv «buroy gnili» pri termicheskikh vozdeystviyakh i vozmozhnye puti ikh ispol'zovaniya* [Extractive substances behavior of «brown rot» under thermal exposure and possible ways of their use]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2019, vol. 23, no. 1, pp. 102–109. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-1-102-109

References

- [1] Patyakin V.I., Salminen E.O., Bit Yu.A. *Lesoekspluatatsiya* [Forest exploitation]. Moscow: Academy, 2006, 320 p.
- [2] Kononov G.N. *Dendrokhiya. Khimiya, nanokhimiya i biogeokhimiya komponentov kletok, tkaney i organov drevesnykh rasteniy. V. 2.* [Dendrochemistry. Chemistry, nanochemistry and biogeochemistry of cell components, tissues and organs of woody plants. In 2 v. V. 2]. Moscow: MSFU, 2015, v. 2, 626 p.
- [3] Рупацек В. *Биология деструктивных грибов* [Biology of wood-destroying fungi]. Moscow: Forest industry, 1967, 258 p.

- [4] Azarov V.I., Kononov G.N., Goryachev N.L. *Izuchenie komponentnogo sostava mikologicheskoi razrushennoy drevesiny* [Studying of component structure mycologically the destroyed wood]. *Tekhnologiya i oborudovanie dlya pererabotki drevesiny: nauchnye trudy* [Technology and the equipment for wood processing: Collected papers]. Moscow: MGUL, 2012, v. 358, pp. 126–131.
- [5] Storozhenko V.G. *Nauchnye osnovy ustoychivosti lesov k derevorazrushayushhim gribam* [The scientific foundations of forest sustainability to wood-destroying fungi]. Moscow: Nauka [Science], 1992, 221 p.
- [6] Fengel D., Vegener G. *Drevesina (Khimiya, ul'trastruktura, reaksii)* [Wood (Chemistry, ultra-structure, reactions)]. Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1988, 512 p.
- [7] Shivrina A.N. *Biologicheski aktivnye veshchestva vysshix gribov* [Biologically active substances of higher fungi]. Moscow: Nauka [Science], 1965, 202 p.
- [8] Ganbarov H. G. *Ekologo-fziologicheskie osobennosti derevorazrushayushhix vysshix bazidalnyx gribov*. [Ekologo-physiological features of higher basically wood-destroying fungi]. Baku: ELM, 1989, 197 p.
- [9] Naidu Y., Siddiqui Y., Rafii M.Y., Saud H.M., Idris A.S. Investigating the effect of white-rot hymenomyces biodegradation on basal stem rot infected oil palm wood blocks: Biochemical and anatomical characterization. *Industrial Crops and Products*, 2017, v. 108, pp. 872–882.
- [10] Falcon A. M., Rodriguez A., Carnicero A., Regalado V., Perestelo F., Milstein O., De La Fuente G. Isolation of microorganisms with potential for the transformation of lignin from the soil of the island of Tenerife. *Soil Biology and Biochemistry*, 1995, v. 27 (2), pp. 121–126.
- [11] Ekabsone M.Ya. *Issledovanie ehzymaticheskoi razrushennoy drevesiny* [Investigation of enzymatically degraded wood]. *Wood Chemistry*, 1978, no. 2, pp. 61–64.
- [12] Ivankin A.N., Fadeev G.N., Boldyrev V.S., Proshina O.P., Kulikovskiy V., Semenova A.A., Nasonova V.V. *Vkus-aromaticheskie komponenty rezeptur, formiruemye v prisutstvii bakterial'nykh kul'tur* [Food flavouring ingredients of food recipes developed in the presence of bacterial culture]. *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*, 2017, v. 7, no. 3, pp. 124–136
- [13] Ivankin A.N., Krasnoshtanova A.A. *Gidroliz nanobiomakromolekulyarnykh sistem* [Hydrolysis of nanobiocomacromolecular systems]. Moscow: MSFU, 2010, 394 p.
- [14] Ivankin A.N., Oliferenko G.L., Kulikovskiy A.V., Chernuha I.M., Semenova A.A., Spiridonov K.I., Nasonova V.V. Determination of unsaturated fatty acids with a migrating double bond in complex biological matrices by gas chromatography with flame ionization and mass spectrometry detection. *Journal of Analytical Chemistry*, 2016, v. 71, no. 11, pp. 1131–1137.
- [15] Rabinovich M.L., Bolobova A.V., Kondrashchenko V.I. *Teoreticheskie osnovy bio-tehnologii drevesnykh kompozitov. Kniga I. Drevesina i razrushayushchiee griby* [Theoretical bases of biotechnology of wood composites. Book I. Wood and the fungi destroying it]. Moscow: Nauka, 2001, 264 p.
- [16] Grigor'ev A.P., Fedotova O.YA. *Laboratornyy praktikum po tekhnologii plasticheskikh mass. CHast' 2. Polikondensatsionnye i himicheski modifitsirovannye plasticheskie massy* [Laboratory workshop of the technology of plastics. P. 2. Polycondensation and chemically modified plastics]. Moscow: High School, 1977, 264 p.
- [17] GOST 19592–80. Fibreboard plates. Test methods. Moscow: Gosstandart, 1980. 11 p.
- [18] GOST 16483.10–73. Wood. Methods for determining the compressive strength along the fibers. Moscow: IPK Izdatel'stvo standartov [IPK Publishing house of standards], 1999, 6 p.
- [19] Azarov V.I., Vinoslavskiy V.A., Kononov G.N. *Praktikum po khimii drevesiny i sinteticheskikh polimerov* [Workshop on chemistry of wood and synthetic polymers]. Moscow: MSFU, 2006, 248 p.
- [20] Bogdanovich N.I., Kutakova N.A., Selyanina S.B. *Laboratornyy praktikum potekhnologii biologicheskii aktivnykh veshchestv i uglerodnykh adsorbentov: v 2 ch. Ch. 1. Analizugley i produktov pirolizadrevsiny* [Laboratory workshop on technology biologically the active materials and carbon adsorbents: in 2 parts. Part. 1. Analysis of coals and pyrolyzed species of wood]. Arkhangel'sk: Northern (Arctic) federal university of M.V. Lomonosov, 2013, 84 p.
- [21] Mel'nikova L.V. *Tekhnologiya kompozitsionnykh materialov iz drevesiny* [Technology of composite materials from wood]. Moscow: MSFU, 2007, 235 p.
- [22] Rus'yanova N.D. *Uglekhimiya* [Carbon chemistry]. Moscow: Science, 2007, 312 p.

Authors' information

Kononov Georgiy Nikolaevich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of BMSTU (Mytishchi branch), Corresponding Member of the Russian Academy of Natural Sciences, the Scientific Secretary of Section Chemistry and Engineering Chemistry of Wood Mendeleev Russian Chemical Society, kononov@mgul.ac.ru

Verevkin Alexey Nikolaevich — Cand. Sci. (Chemical), Associate Professor of BMSTU (Mytishchi branch), verevkin@mgul.ac.ru

Serdyukova Yulia Vladimirovna — Senior Lecturer of BMSTU (Mytishchi branch), caf-htdip@mgul.ac.ru

Zaytsev Vladislav Dmitrievich — Master graduand of BMSTU (Mytishchi branch), kelertak@bk.ru

Goryachev Nikita Leonidovich — Cand. Sci. (Tech.), head of the testing center of pulp and paper products «TsKAL», PLC «Central Research Institute of Paper», Goryachev_nl@mai.ru

Volikova Anastasia Sergeevna — graduate student MSTU of N.E. Bauman, nastja-volikova@rambler.ru

Received 25.10.2018.

Accepted for publication 30.11.2018.