

УДК 674:544.47 + 543

Термическая конверсия лигнина древесины осины в этаноле в присутствии цеолитных катализаторов

**В.И. Шарыпов^а, Н.Г. Береговцова^а,
С.В. Барышников^а, Б.Н. Кузнецов^{а*},**

А.В. Восьмериков^б, О.П. Таран^в, В.Е. Агабеков^г

^а*Институт химии и химической технологии СО РАН,
Россия 660036, Красноярск, Академгородок 50, стр. 24*

^б*Институт химии нефти СО РАН,
Россия 634021, Томск, пр. Академический, 4*

^в*Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН,
Россия 630090, Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 5*

^г*Институт химии новых материалов НАН Беларуси,
Беларусь 220141, Минск, ул. Ф. Скорины, 36*

Received 06.07.2013, received in revised form 10.09.2013, accepted 18.09.2013

Исследовано влияние кислотных цеолитных катализаторов с различным силикатным модулем (НВКЦ-100, НВКЦ-30 и НУ) на термическую конверсию лигнина древесины осины и состав образующихся продуктов.

Установлено, что при температуре процесса 350 °С катализаторы увеличивают степень конверсии лигнина на 20-30 %. Максимальная конверсия лигнина (71 мас. %) и высокий выход легкокипящей фракции (<180 °С) жидких продуктов (44 мас. %) наблюдались в присутствии катализатора НВКЦ-30.

Фенольная часть жидких продуктов конверсии лигнина при 350 °С представлена преимущественно метоксифенолами и их метил- и этилпроизводными. Показано, что в процессе термической конверсии лигнина при 400 °С использование катализаторов приводит к снижению от 4 до 16 раз содержания фенола и его производных в жидких продуктах по сравнению с некаталитическим процессом.

Ключевые слова: лигнин, термическая конверсия, этанол, цеолитные катализаторы, жидкие продукты, состав.

Введение

В последние десятилетия возрос интерес к использованию биоэтанола и биобутанола в качестве автомобильных топлив [1]. Производство этих спиртов ферментацией полисахаридов из непищевой биомассы приводит к образованию крупнотоннажного отхода – лигнина, экологически безопасных и рентабельных технологий утилизации которого пока не создано. Кроме того, в России, на территории которой работали 18 гидролизных заводов, находится примерно 95 млн т гидролизного лигнина, представляющего серьезную экологическую угрозу [2].

Наиболее простым и эффективным методом получения низкомолекулярных химических веществ из лигнина является его термическая деполимеризация [3, 4]. Использование катализаторов, в частности твердых катализаторов кислотного типа в этих процессах, позволяет увеличить выход жидких продуктов и снизить содержание в них кислорода [5, 6].

Показано, что использование кислотных цеолитных катализаторов, таких как HZSM-5, в пиролизе лигнина может приводить к существенному увеличению его конверсии в жидкие продукты [7-10]. При этом катализатор не только ускоряет деполимеризацию лигнина, но и способствует образованию ароматических углеводородов путем деоксигенации метоксифенольных соединений [8]. Сообщается [11] о получении смеси углеводородов, близкой по составу к бензину, пиролизом гидролизного лигнина в неподвижном слое HZSM-5 катализатора. Наиболее высокий выход жидких продуктов (43 мас. %) был получен при температуре 550 °С, при этом селективность по ароматическим углеводородам составила более 87 мас. %.

Проведено исследование влияния силикатного модуля (Si/Al), кислотности, пористости цеолитов и их количества на выход и состав продуктов каталитического пиролиза лигнина [9]. Высокое содержание катализаторов предотвращает полимеризацию промежуточных продуктов термической деструкции лигнина. Низкий силикатный модуль и высокое содержание кислотных центров приводят к ускорению реакций образования ароматических углеводородов. Большой размер пор препятствует закоксуыванию катализаторов.

Эффективная деполимеризация лигнина может быть осуществлена путем его термической конверсии в низших алифатических спиртах. При этом спирты способны алкилировать продукты термической фрагментации лигнина, предотвращая их вторичные превращения в высокомолекулярные вещества [12-14]. Показано, что метанол и этанол в сверхкритических условиях в присутствии щелочных или щелочно-земельных металлов (NaOH, KOH, Ca(OH)₂) способствуют деполимеризации лигнина за счет разрыва фенилэфирных связей [15-17].

Целью настоящей работы являлось исследование влияния цеолитных катализаторов, различающихся по структурному типу и кислотным свойствам, на выход и состав продуктов термического растворения лигнина в среде этанола.

Экспериментальная часть

В работе использовали щелочной лигнин, выделенный из древесины осины по модифицированной методике [18]. Элементный состав исследуемых образцов лигнина определяли с помощью анализатора HCNS-0 EA FLASH TM-1112. Лигнин, высушенный при 100 °С до влажности < 1 мас. %, имел элементный состав (мас. %): С – 61,9; О – 31,9; Н – 5,5. Для испытания были выбраны следующие катализаторы: высококремнеземные цеолиты (ВКЦ) в H-форме с силикатным модулем 100 (НВКЦ-100), 30 (НВКЦ-30), полученные в лабораторных условиях, и про-

мышленный цеолит с силикатным модулем 4,9 (НУ). Высококремнеземные цеолиты получали методом гидротермальной кристаллизации щелочных алюмокремнегелей с использованием в качестве структурообразующей добавки гексаметилендиамина. Удельную поверхность цеолитов измеряли методом равновесной адсорбции азота при 77 К на анализаторе «Сорботметр–М». Кислотные свойства образцов исследовали методом термопрограммированной десорбции (ТПД) аммиака. Силу кислотных центров катализаторов оценивали по температурным максимумам на термодесорбционных кривых, а их концентрацию определяли по количеству аммиака, десорбирующегося в момент фиксации десорбционных пиков, и выражали в микромолях на 1 г катализатора. Характеристики катализаторов приведены в табл. 1 и 2.

Термическое растворение лигнина проводили во вращающемся автоклаве ёмкостью 0,25 л. В автоклав загружали 4 г лигнина, 0,2 г катализатора, измельченных до размера частиц < 0,1 мм, и 30 мл этанола. После загрузки автоклав герметично закрывали и продували десятикратным количеством аргона для удаления воздуха. Затем автоклав нагревали со скоростью 6 °С/мин до требуемой температуры и выдерживали при этой температуре 1 ч. За начало процесса принимали момент достижения заданной температуры. Рабочее давление в автоклаве изменялось в зависимости от типа используемого катализатора в интервале 8,0-13,2 МПа [14].

После завершения эксперимента и охлаждения автоклава до комнатной температуры объём образовавшихся газообразных продуктов измеряли в газометре, состав газа определяли с использованием хроматографа ЛХМ-80 с детектором-катарометром. Разделение СО и СН₄ осуществляли на набивной колонке длиной 2 м с носителем цеолит СаА 5А° при температуре 25 °С в изотермическом режиме. Для определения СО₂ и углеводородных газов С₂–С₃ использовали набивную колонку длиной 2 м с носителем «Porapak-Q» в режиме программирования

Таблица 1. Характеристики используемых катализаторов

Образец	Описание катализатора	Удельная поверхность, м ² /г	Объем пор, см ³ /г
НВКЦ-30	Высококремнеземный цеолит в Н-форме с силикатным модулем 30	339	0,14
НВКЦ-100	Высококремнеземный цеолит в Н-форме с силикатным модулем 100	352	0,14
НУ	Цеолит типа Y в Н-форме с силикатным модулем 4,9	497	0,21

Таблица 2. Кислотные свойства цеолитных катализаторов по данным термопрограммируемой десорбции аммиака

Катализатор	Т _{макс.} формы, °С		Концентрация (мкмоль/г)		
	T _I	T _{II}	C _I	C ₂	C _Σ
НВКЦ-30	185	435	546	311	857
НВКЦ-100	180	410	273	187	460
НУ	185	–	929	–	929

T_I, T_{II} – температура максимумов пиков десорбции NH₃ для форм I и II;
C_I, C₂ и C_Σ – концентрации кислотных центров в формах (I), (II) и суммарная, соответственно.

температуры в интервале 50–150 °С (скорость подъема температуры 20 °С/мин). В качестве газа-носителя использовали водород при скорости подачи 35–40 см³/мин.

Содержимое автоклава количественно разгружали вымыванием этанолом и переносили на фильтр. Отфильтрованный твёрдый продукт экстрагировали этанолом. Из фильтрата отбирали аликвотную часть для исследования состава жидких продуктов. Выход экстракта, выкипающего при температурах выше 180 °С, определяли весовым методом после удаления растворителя. Фильтр с твердым остатком высушивали до воздушно-сухого состояния и взвешивали. По разности массы твердого остатка и загружаемого образца рассчитывали степень конверсии лигнина в жидкие и газообразные продукты. Выход продуктов, выкипающих до 180 °С, определяли по разности: степень конверсии лигнина (выход экстрактов, кипящих при температуре выше 180 °С + выход газообразных продуктов).

Аликвотную часть образующихся жидких продуктов анализировали методом хромато-масс-спектрометрии с использованием хроматографа Agilent 7890A, снабженного детектором селективных масс Agilent 7000A Triple Quad, при регистрации полного ионного тока. Разделение продуктов осуществляли на капиллярной колонке HP-5MS длиной 30 м с внутренним диаметром 0,25 мм при программировании температуры в интервале 40-250 °С (скорость подъема температуры 3 °С/мин).

Результаты и обсуждение

Исследование процесса термической конверсии лигнина в среде этанола показало, что как в некаталитических экспериментах, так и в экспериментах с цеолитными катализаторами температура процесса заметно влияет на конверсию лигнина и выход газообразных и жидких продуктов. Максимальные значения конверсии лигнина и выхода жидких продуктов получены при 350 °С (табл. 3). С ростом температуры процесса термической конверсии лигнина до 400 °С выход фракции жидких продуктов, кипящих выше 180 °С и полученных в присутствии цеолитов НВКЦ-30 и НВКЦ-100, снижается в 2,3 и 1,6 раза соответственно. В этих условиях наблюдается максимальный выход газообразных продуктов. Отмеченные зависимости, вероятно, связаны с промотированием вторичных реакций превращения образовавшихся жидких продуктов в кокс и их разложением в газ.

Использование цеолитных катализаторов приводит к увеличению степени конверсии лигнина и суммарного выхода жидких продуктов. Наиболее заметно этот эффект проявляется при температуре процесса 350 °С. В этих условиях максимальная степень конверсии (71 мас. %) и выход легкокипящей фракции жидких продуктов (44,3 мас. %) были получены в присутствии катализатора НВКЦ-30 с силикатным модулем 30, имеющим наиболее высокую концентрацию высокотемпературных кислотных центров (табл. 2).

Методом хромато-масс-спектрометрии установлено, что жидкие продукты термической конверсии лигнина в этаноле включают большое количество индивидуальных соединений, принадлежащих различным классам органических веществ. На рисунке приведены хроматограммы этанолрастворимой фракции жидких продуктов конверсии лигнина в этаноле в присутствии катализатора НВКЦ-30. Данные по составу жидких продуктов, полученных конверсией лигнина при 350 °С в присутствии цеолитных катализаторов, приведены в табл. 4. Эти продукты включают как вещества, образующиеся в результате превращения

Таблица 3. Влияние цеолитных катализаторов на термическую конверсию лигнина в этаноле

Температура, °С	Катализатор	Степень конверсии, мас. %	Выход этанолрастворимых продуктов, мас. %		Выход* газообразных продуктов, мас. %
			фракция < 180 °С	фракция > 180 °С	
300	отсутствует	50	30,1	13,1	1,6
	НУ	56	33,2	17,5	1,8
	НВКЦ-30	62	25,1	31,8	2,3
	НВКЦ-100	49	22,2	21,7	2,0
350	отсутствует	53	30,9	16,0	3,2
	НУ	62	30,7	25,2	3,8
	НВКЦ-30	71	44,3	20,6	4,9
	НВКЦ-100	64	35,0	22,9	4,5
400	отсутствует	49	27,4	9,2	4,1
	НУ	53	26,7	14,2	5,3
	НВКЦ-30	55	28,6	14,0	5,8
	НВКЦ-100	53	26,8	13,9	4,9

*В расчете на массу лигнина и этанола.

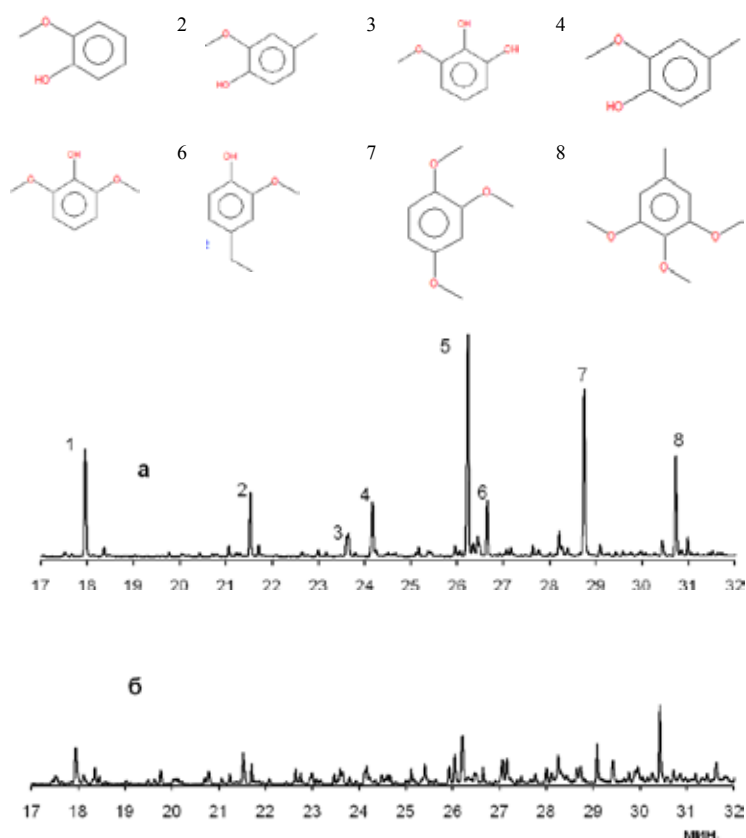


Рис. Хроматограммы этанолрастворимой фракции жидких продуктов термического превращения лигнина в присутствии катализатора НВКЦ-30: а – при 350 °С, б – при 400 °С

Таблица 4. Состав жидких продуктов термопревращения лигнина в этаноле в присутствии катализатора НВКЦ-30 при 350 °С

Соединение	Содержание, %*	Соединение	Содержание, %*
Карбоновые кислоты , в том числе:	0,15	3,4-диметоксибензолметанол	0,16
2,2-диметилбутановая кислота	0,15	4-этил-1,2-диметоксибензол	0,31
Простые эфиры , в том числе:	39,27	Фенол и его производные , в том числе:	24,87
1,1-диэтоксигтан	39,06	фенол	0,39
2-этоксигтан	0,21	2-этилфенол	0,21
Сложные эфиры , в том числе:	25,19	3-этилфенол	0,12
Этилацетат	12,26	2,5-диэтилфенол	0,15
Этиловый эфир пропановой кислоты	2,9	2-метоксифенол	3,61
Этиловый эфир бутановой кислоты	1,11	4-этилфенол	0,55
1- Метилвый эфир муравьиной кислоты	0,24	2-метокси-4-метилфенол	2,47
Этиловый эфир пентановой кислоты	0,25	2-этил-6-метилфенол	0,13
Этиловый эфир гексановой кислоты	0,34	2,6-диметокси фенол	9,80
Этиловый эфир гептановой кислоты	0,34	3-метокси-1,2-бензодиол	1,25
Этиловый эфир октановой кислоты	0,44	3-метокси-2,5,6-триметилфенол	0,39
Диметилвый эфир 3,4-диэтил-2,4-гексадиеновой кислоты	5,29	5-метокси-2,3,4-триметилфенол	0,59
Диметилвый эфир декановой кислоты	0,14	2-метил-4-пропилфенол	1,66
Этиловый эфир гексадекановой кислоты	1,88	4-этил-1,3-бензодиол	0,33
Производные бензола , в том числе:	10,88	4-этилкатехол	0,16
толуол	0,12	3,4-метоксифенол	0,47
4-изопропилбензол	0,7	2-метокси-4-этил фенол	2,25
3,4-диметокситолуол	0,4	1-(4-гидрокси-3-метоксифенил) 2-пропанон	0,16
1,2,3-триметокси-5-метилбензол	3,39		
1,2,3-триметоксибензол	5,72		
2-метокси-1,3,5-триметилбензол	0,08		

* % от суммы площадей всех пиков; приведены соединения, относительное содержание которых превышает 0,1%.

этанола (простые и сложные эфиры), так и типичные продукты превращения лигнина (производные бензола и фенола). Производные фенола представлены в основном метоксифенолами сиригильного и гваяцильного типов: 2,6-диметокси фенолом (9,80 %), 2-метоксифенолом (3,61 %), а также 2-метокси-4-метилфенолом (2,47 %), 2-метокси-4-этил фенолом (2,25 %). Полученные данные показывают, что при температуре процесса 350 °С происходит разрушение пропановых цепочек в фенилпропановых структурных единицах лигнина при сохранении метоксильных групп.

Групповой состав жидких продуктов термического превращения лигнина в этаноле, рассчитанный по результатам их исследования методом хромато-масс-спектрометрии, приведен в табл. 5 и 6. Из представленных данных следует, что цеолитные катализаторы оказывают существенное влияние на состав образующихся продуктов в процессе конверсии лигнина в интервале температур 300-400 °С. Наблюдаемые изменения, очевидно, связаны с влиянием цеолитных катализаторов на процессы термической конверсии лигнина, превращения этанола и, вероятно, на процесс взаимодействия этанола с лигнином. Из табл. 5 следует, что фенольные продукты, образующиеся при каталитической и некаталитической конверсии лигнина при 350 °С, представлены преимущественно метоксифенолами.

Сумма площадей пиков метоксифенолов составляет примерно 90 % от суммы площадей пиков всех фенолов. Увеличение температуры до 400 °С приводит к резкому снижению

Таблица 5. Групповой состав жидких продуктов термической конверсии лигнина в этаноле в присутствии цеолитных катализаторов при 350 °С

Соединение	Содержание, %			
	б/кг*	НУ	НВКЦ-30	НВКЦ-100
Алканы, алкены	0,51	<0,1	<0,1	1,9
Кислоты, альдегиды, кетоны, ацетали	<0,1	1,5	0,2	<0,1
Сложные эфиры	16,2	9,6	25,2	1,7
Алифатические спирты	4,2	3,2	<0,1	2,8
Простые эфиры, в.т.ч.	43,6	68,8	39,3	60,5
1,1-диэтоксигтан	40,5	65,2	39,1	59,1
Производные бензола	11,0	2,0	10,9	5,8
Фенол и его производные, в т. ч.	22,1	14,6	24,9	22,3
метоксифенолы	20,3	13,2	22,6	22,0
Неидентифицированные	2,4	0,3	<0,1	4,9

* Без катализатора

Таблица 6. Групповой состав жидких продуктов термической конверсии лигнина в этаноле в присутствии цеолитных катализаторов при 400 °С

Соединение	Содержание, %			
	б/кг*	НУ	НВКЦ-30	НВКЦ-100
Алканы, алкены	<0,1	0,1	0,2	15,2
Кислоты, альдегиды, кетоны, ацетали	4,9	8,4	3,2	1,4
Сложные эфиры	5,5	3,9	14,8	2,1
Алифатические спирты	9,9	20,9	16,1	10,0
Простые эфиры, в т.ч.	1,2	41,7	59,3	51,3
1,1-диэтоксигтан	1,2	41,7	59,1	51,3
Производные бензола	5,8	6,0	1,8	2,4
Фенол и его производные, в т. ч.	72,7	19,0	4,5	15,4
метоксифенолы	15,7	3,5	0,7	0,8

* Без катализатора

доли метоксифенолов (табл. 6, рис.) в результате элиминирования метоксильных групп. Использование цеолитных катализаторов ускоряет этот процесс. Для некаталитической конверсии лигнинов сумма площадей пиков метоксифенолов равна примерно 22 % от суммы площадей пиков всех фенолов. В присутствии цеолитных катализаторов эта доля составляет от 18 % (для катализатора НУ) до 5 % (для катализатора НВКЦ-100). При этом в жидких продуктах, полученных конверсией лигнинов при 400 °С, фенолы сирингильного типа практически отсутствуют.

Выводы

Установлено, что в процессе термической конверсии лигнина древесины осины наиболее высокие значения выхода жидких продуктов достигаются при температуре 350 °С. При этой температуре цеолитные катализаторы увеличивают степень конверсии лигнина на 20-30 %. Максимальные значения конверсии лигнина (71 мас. %) и выхода легкокипящей (<180 °С) фракции жидких продуктов (44 мас. %) получены в присутствии катализатора НВКЦ-30. Использование катализатора НУ приводит к увеличению в 1,6 раза выхода фракции жидких продуктов, кипящей выше 180 °С.

Методом хромато-масс-спектрометрии показано, что фенольная часть жидких продуктов конверсии лигнина при 350 °С представлена в основном метоксифенолами сирингильного и гваяцильного типов и их метил- и этилпроизводными. Повышение температуры процесса до 400 °С сопровождается снижением доли метоксифенолов.

Использование цеолитных катализаторов в процессе конверсии лигнина при 400 °С приводит к снижению содержания фенолов и его производных в жидких продуктах от 4 до 16 раз по сравнению с некаталитическим процессом.

Жидкие продукты термического превращения лигнина в этаноле исследованы методом хромато-масс-спектрометрии с использованием хроматографа Agilent 7890А Красноярского регионального центра коллективного пользования СО РАН.

Работа осуществлена при финансовой поддержке Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы» (госконтракт 14.516.11.0071).

Список литературы

1. Alonso D.M., Bond J.Q., Dumesic J.A. Catalytic conversion of biomass to biofuels // Green Chem. 2010. Vol.12. № 9. P. 1493-1513.
2. Rabinovich M.L. Wood Hydrolysis Industry in the Soviet Union and Russia: What Can Be Learned From the History? The 2nd Nordic Wood Biorefinery Conference. Helsinki, Finland. 2009. P. 111-120.
3. Zakzeski J., Bruijninx P.C.A., Jongerijs A.L., Weckhuysen B.M. The Catalytic Valorization of Lignin for the Production of Renewable Chemicals // Chem. Rev. 2010. №110. P. 3552-3599.
4. Azadi P., Inderwildi O.R., Farnood R., King D.A. Liquid fuels, hydrogen and chemicals from lignin: A critical review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2013. V.21. P. 506-523.
5. Huber G.W., Cortright R.D., Dumesic J.A. A Novel Catalytic Strategy for the Production of Liquid Fuels from Ligno-cellulosic Biomass // Angew. Chem. Int. Ed. 2004. Vol. 43. P.1549-1551.

6. Zhao C., Kou Y., Lemonidou A.A., Li X., Lercher J.A. Catalytic depolymerization and deoxygenation of lignin // *Angew. Chem. Int. Ed.* 2009. V.48. P. 3987–3990.
7. Jackson M., Compton D., Boateng A. Screening heterogeneous catalysts for the pyrolysis of lignin // *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis.* 2009. V.85. P. 226–230.
8. Mullen C., Boateng A. Catalytic pyrolysis-GC/MS of lignin from several sources // *Fuel Processing Technology.* 2010. V.91. P. 1446–1458.
9. Ma Z., Troussard E., Bokhoven J. Controlling the selectivity to chemicals from lignin via catalytic fast pyrolysis // *Applied Catalysis A.* 2012. V.423–424. P. 130–136.
10. Choi H., Meier D., Windt M. Rapid screening of catalytic pyrolysis reactions of organosolv lignins with the vTI-mini fast pyrolyzer // *Environmental Progress & Sustainable Energy.* 2012. V.31. P. 240–244.
11. Thring, R.W., Katikaneni S.P.R., Bakhshi N.N. Production of H₂ and medium Btu gas via pyrolysis of lignins in a fixed-bed reactor // *Fuel Processing Technology.* 2000. V.62. P. 17–30.
12. Kleinert M., Barth T. Towards a Lignin-cellulosic Biorefinery: Direct One-Step Conversion of Lignin to Hydrogen-Enriched Biofuel // *Energy & Fuels.* 2008. №22. P. 1371–1379.
13. Kleinert M., Barth T. Phenols from lignin // *Chemical Engineering and Technology.* 2008. V. 31. P. 736–745.
14. Шарыпов В.И., Гришечко Л.И., Тарасова Л.С., Барышников С.В., Кузнецов Б.Н. Исследование термического разложения образцов лигнина, выделенных из древесины осины различными методами // *Журнал Сибирского федерального университета. Серия химическая.* 2011. Т.4. №3. С. 221-232.
15. Miller J.E., Evans L., Littlewolf A., Trudell D.E. Batch microreactor studies of lignin and lignin model compound depolymerization by bases in alcohol solvents // *Fuel.* 1999. V.78. P. 1362-1366.
16. Process for conversion of lignin to reformulated, partially oxygenated gasoline. US patent № 6172272. Shabtai J.S., Zmierczak W.W., Chornet E. опубли. 09.01.2001.
17. Process for conversion of lignin to reformulated hydrocarbon gasoline. US patent № 5959167. Shabtai J.S., Zmierczak W.W., Chornet E. опубли. 28.09.1999.
18. Shamsuri A.A., Abdullah D. K. Isolation and characterization of lignin from rubber wood in ionic liquid medium // *Modern Applied Science.* 2010. V.4. №11. P. 19-27.

Thermal Conversion of Aspen Wood Lignin in Ethanol in the Presence of Zeolite Catalysts

**Victor I. Sharyпов^a,
Natalia G. Beregovtsova^a, Sergei V. Baryshnikov^a,
Boris N. Kuznetsov^a, Alexandr V. Vos'merikov^b,
Oxana P. Taran^c and Vladimir E. Agabekov^d**

^a *Institute of Chemistry and Chemical Technology SB RAS,
50-24 Akademgorodok, Krasnoyarsk, 660036 Russia*

^b *Institute of Petroleum Chemistry SB RAS,
4 Akademichesky Av., Tomsk, 634021, Russia*

^c *Boreskov Institute of Catalysis SB RAS,
5 Lavrentieva, Novosibirsk, 630090 Russia*

^d *Institute of Chemistry of New Materials NAS of Belarus,
36 Fr. Skaryna Str., Minsk, 220141 Republic of Belarus*

The influence of acid zeolite catalysts with different silicate modulus on the thermal conversion of aspen wood lignin and on the composition of obtained products was studied.

It was found that at the process temperature 350 °C the degree of lignin conversion to liquid and gaseous products was increased by 20-30 % under the action of zeolite catalysts. The maximum conversion of lignin (71 wt. %) and the high yield of light fraction (<180 °C) of liquid products (44 wt. %) were observed in the presence of zeolite catalyst with Si/Al ratio 30.

Phenolic part of liquid products obtained by lignin conversion at 400°C predominantly contains methoxy phenols and their methyl- and ethyl-derivatives.

At temperature of lignin conversion at 400°C the catalysts decrease by 4-16 times the content of phenol and phenol derivatives in liquid products as compared to non-catalytic process.

Keywords: lignin, thermal conversion, ethanol, zeolite catalysts, liquid products, composition.
