

УДК 661.183.2

Е.А. Тиньгаева, Е.А. ФарбероваПермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь, Россия**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ЛИГНИНА И ЦЕЛЛОЛИГНИНА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ
ГРАНУЛИРОВАННЫХ АКТИВНЫХ УГЛЕЙ**

Данная работа посвящена исследованию возможности получения активных углей из отходов переработки древесины. При гидролизе в производственных условиях растительных тканей (древесины, растительных сельскохозяйственных отходов и т. д.) разбавленными или концентрированными растворами минеральных кислот остается нерастворимый остаток, который называется техническим лигнином. Основную массу его составляет лигнин клеточных стенок растений. В состав технических лигнинов входит до 5–20 % целлюлозы, значительная часть смол, восков, жиров, содержащихся в исходном сырье, а также не растворившаяся при гидролизе часть белков, зольных элементов и, кроме того, гуминовые вещества, образовавшиеся при распаде сахаров. В настоящее время проблема использования лигнина полностью не решена и поэтому на ряде предприятий лигнин отвозится с территории заводов в виде твердых отходов. Лигнин используется в качестве топлива для котельных, топлива в виде брикетов для бытовых нужд населения и др.

Проведен полный групповой химический анализ образцов лигнина и целлолигнина. Исследованы характеристики высушенных лигниновых гранул, полученных в результате формования лигнинов. Карбонизованные гранулы, полученные из различных лигнинов, отличаются друг от друга суммарным объемом пор и массовой долей зольных элементов. Установлено, что исходный диаметр гранул существенно влияет на механическую прочность карбонизованного материала. Гранулы с исходным диаметром 4,7 мм имеют прочность 65–79 %, а гранулы с исходным диаметром 2,3 мм – 81–91 %. Определена равновесная активность углей по бензолу и время защитного действия по бензолу и хлорэтилу. Исследована пористая структура лигниновых углей. Лигниновые активные гранулированные угли имеют довольно развитый объем микропор, что приближает их к промышленным гранулированным активным углям мелкого зёрнения, а более мягкие условия карбонизации приводят к большему развитию микропор и к уменьшению объема мезопор.

По результатам анализов лабораторных образцов гранулированных активных углей из лигнина мелкого и крупного зёрнения сделан вывод, что лигнин и целлолигнин могут быть использованы как углеродсодержащее сырьё для получения гранулированных активных углей.

Ключевые слова: лигнин, целлолигнин, карбонизованные гранулы, гранулированные активные угли, пористая структура, равновесная активность, осветляющая способность.

E.A.Tingaeva, E.A. Farberova

Perm National Research Polytechnic University,
Perm, Russian Federation

RESEARCH THE POSSIBILITY OF USING LIGNIN AND CELLOLIGNIN TO OBTAIN GRANULATED ACTIVE CARBONS

This work is devoted to the study of the possibility of production of activated carbons from waste wood processing. Hydrolysis insoluble residue remains, which is called in technical lignin production conditions vegetable tissues (wood, agricultural plant wastes, and so on. D.), diluted or concentrated solutions of mineral acids. The bulk of its weight is lignin cell walls of plants. The technical lignins composition includes 5-20% cellulose, a significant portion of resins, waxes, fats contained in the feedstock, and are not part of the solution in the hydrolysis of proteins, mineral elements and, in addition, humic substances formed during decomposition of sugars. Currently, the problem of using lignin is not completely solved, and so on a number of enterprises were taken lignin from the plant in the form of solid waste. Part of the lignin is used as fuel for boilers obtained in the form of briquettes. A complete chemical analysis of samples of the group of lignin and cellolignin. The characteristics of the lignin-dried pellets produced by molding lignins. Carbonized granules obtained from different lignins differ from each other since the total volume and mass fraction of ash elements. It is found that the original diameter of the granules significantly affects the mechanical strength of carbonized material. Granules with the original diameter of 4.7 mm have 65-79 % strength, and the granules with the original diameter of 2.3 mm - 81- 91 %. Equilibrium Activity coal benzene and time of protective action on benzene and chloroethyl. We studied the porous structure of lignin coals. Lignin granulated active coals have fairly developed micropore volume that brings them closer to the industrial granulated active coals fine graining and softer carbonization conditions lead to greater development of micropores and mesopores to reduce the volume.

According to the results of analyzes of laboratory samples of granular activated carbons from lignin fine and coarse graining con-

cluded that cellolignin lignin and can be used as carbon-containing raw materials for producing granular activated carbons.

Keywords: *lignin, cellolignin, carbonized granules, granular active carbons, porous structure, equilibrium activity, lightening ability.*

При гидролизе в производственных условиях одревесневших растительных тканей (древесины, растительных сельскохозяйственных отходов и т.д.) разбавленными и концентрированными минеральными кислотами остается нерастворимый остаток, называемый техническим лигнином. Основную массу его составляет лигнин клеточных стенок растений. В состав технических лигнинов входит также 5–20 % непрогидролизованной целлюлозы, значительная часть смол, восков, жиров, содержащихся в исходном сырье, а также не растворившаяся при гидролизе часть белков, зольных элементов и, кроме того, гуминовые вещества, образовавшиеся при распаде сахаров. Рациональное использование лигнина представляет важную народно-хозяйственную задачу. В настоящее время проблема использования лигнина полностью не решена и поэтому на ряде предприятий лигнин отвозится с территории заводов в виде твердых отходов. Часть лигнина используется в качестве топлива для котельных и топлива для населения (полученные брикеты поступают в торговую сеть для бытовых нужд), в качестве восстановителя в металлургической промышленности, а также для получения карбонизованного лигнина.

Гидролизный лигнин образуется как отход в процессе кислотного гидролиза полисахаридов древесины с целью получения органических субстратов для последующей биохимической переработки. При гидролизе древесины выделяется гидролизный лигнин в количестве до 30 % от массы исходной древесины (в пересчете на сухое вещество), большая часть вывозится в отвалы [1].

Утилизация гидролизного лигнина является важной задачей как с точки зрения создания безотходных технологий переработки древесины, так и с точки зрения охраны окружающей среды: отвалы занимают значительные площади, а при хранении (под действием атмосферных осадков, перепадов температур и др.) продукты распада гидролизного лигнина попадают в естественные водотоки и подземные воды.

Исходный гидролизный лигнин характеризуется достаточно развитой пористой структурой и может быть экономически выгодным сырьем для получения активных углей, используемых для процессов очистки промышленных газообразных и жидких выбросов от различных видов примесей, в частности от органических веществ [2–8].

Для получения реакционно-способного угля, применяемого при производстве сероуглерода, влажный лигнин предварительно пластифицируется и формуется с помощью шнек-прессов в гранулы диаметром около 20 см. Последние высушиваются при начальной температуре 450 °С и конечной 150 °С, после чего подвергаются обугливанню в вертикальных ретортах с внутренним обогревом при температуре 500–600 °С. Выход угля в этих условиях составляет 47–56 % с содержанием золы 3–6 %. При этом образуется 15–18 % растворимой смолы, 10–14 % отстойной смолы. В большинстве случаев побочные продукты не улавливаются и сжигаются в печах.

На некоторых заводах фурфурольного профиля в качестве побочного продукта образуется целлолигнин, который не подвергается дальнейшему гидролизу и по некоторым показателям сходен с лигнином.

Гранулированный лигнин получают путем подсушки гидролизного лигнина до влажности 40 % и формирования гранул различного диаметра. Насыпная плотность гранулированного лигнина не менее 550 кг/м³; содержание влаги не более 25 %, золы 7 %, частиц размером меньше 10 мм не более 10 %; механическая прочность на раздавливание не менее 300 Н/м². На основе технического лигнина возможно получение разнообразных углеродных материалов (в частности, лигнинных углей) в результате его термической или химической карбонизации.

Настоящая работа посвящена исследованию возможности получения активных углей из отходов переработки древесины (лигнина и целлолигнина). Свойства лигнина и целлолигнина предполагают возможность использования их в качестве сырья для получения активных углей.

Краткая характеристика образцов исходного лигнина и целлолигнина, использованных для получения активных углей, представлена в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика исходных лигнинов

Сырье	Массовая доля влаги, %	Массовая доля летучих веществ, %	Массовая доля золы, %
Лигнин № 1	65,7	74,7	0,74
Лигнин № 2	67,9	62,8	8,20
Лигнин № 3	64,0	66,0	3,46
Целлолигнин	52,5	70,8	1,37

Для образцов лигнина № 1 и целлолигнина был выполнен групповой химический анализ, результаты которого представлены в табл. 2.

Таблица 2

Полный групповой химический анализ
лигнина № 1 и целлолигнина

Образец	Массовая доля золы, %	Кислотность, %	РВ, %	Лигнин в лигнине, %	Легкогидр. полисахариды, %	Трудногидр. полисахариды, %
Лигнин № 1	0,31	0,66	3,54	51,80	3,06	33,60
Целлолигнин	0,98	1,39	7,42	27,48	3,56	45,04

В табл. 3 приведена характеристика высушенных лигниновых гранул, полученных в результате формования разных образцов лигнинов.

Таблица 3

Характеристика сухих гранул, полученных
из разных образцов лигнина

Номер образца	Диаметр гранул, мм	Насыпная плотность, г/дм ³	Примечание
1	2,3	537	Лигнин № 1
2	4,7	480	Лигнин № 1
3	2,3	502	Лигнин № 1, влажность 58 %
4	2,3	496	Целлолигнин
5	4,7	514	Целлолигнин
6	2,3	644	Лигнин № 3
7	4,7	602	Лигнин № 3
8	2,3	–	Лигнин № 2
9	4,7	–	Лигнин № 2
10	4,7	–	Лигнин № 2, добавка 25 % древесного лигнина
11	4,7	–	Лигнин № 2, добавка 25 % древесного лигнина
12	2,3	–	Лигнин № 2, добавка 25 % древесного лигнина, 2 стадии карбонизации
13	4,7	–	Лигнин № 2, добавка 25 % древесного лигнина, 2 стадии карбонизации

Из данных табл. 3 следует, что сухие гранулы, полученные различным способом формования одного и того же лигнина, близки между собой по насыпной плотности. Гранулы, полученные из лигнина № 3, отличаются большей насыпной плотностью.

Характеристика карбонизованных гранул приведена в табл. 4.

Таблица 4

Характеристика карбонизованных гранул

Номер образца	Насыпная плотность, г/дм ³	Прочность, %	Суммарный объем пор, см ³ /г	Массовая доля золы, %	Массовая доля летучих веществ, %
1	428	82,6	0,539	3,30	21,2
2	522	79,6	0,332	2,20	27,2
3	526	91,4	0,342	2,06	32,5
4	484	85,6	0,600	3,76	30,5
5	502	78,0	0,546	3,67	33,2
6	588	85,6	0,374	7,60	29,6
8	535	70,9	0,35	–	8,0
9	507	65,0	0,40	–	–
10	514	81,0	0,46	9,22	10,3
11	495	67	0,46	9,74	9,8
12	521	83	0,45	9,94	8,0
13	498	82	0,45	8,54	9,24

Из данных табл. 4 следует, что карбонизованные гранулы, полученные из различных лигнинов, отличаются друг от друга суммарной пористостью и массовой долей зольных элементов.

Величины насыпной плотности для большинства образцов близки между собой. Остаточное содержание летучих веществ в карбонизованных гранулах нельзя считать показательным, так как карбонизации подвергались гранулы с различной исходной влажностью.

Исходный диаметр гранул существенно влияет на механическую прочность карбонизованного материала. Так, гранулы с исходным диаметром 4,7 мм имеют прочность 65–79 %, а гранулы с исходным диаметром 2,3 мм – 81–91 %. Обращает на себя внимание более низкая прочность некоторых карбонизованных гранул, полученных из образца лигнина № 2 с добавкой древесного лигнина (образцы 9, 11).

Представляет интерес сравнение по величине механической прочности образцов 10 и 11 с диаметром гранул соответственно 2,3 и 4,7 мм, карбонизованных в две стадии, с образцами 12 и 13 того же размера, но карбонизованными в одну стадию. Если для образцов 10 и 12 с исходным диаметром 2,3 мм режим термообработки не оказывает заметного влияния на механическую прочность, то для образцов 11 и 13 с диаметром 4,7 мм, очевидно, предпочтительнее более мягкий режим карбонизации. Образцы 10 и 12 имеют практически одинаковую

механическую прочность: 83 и 81,5 %. В то же время образец 13, полученный при двухстадийной карбонизации гранул, имеет прочность значительно более высокую по сравнению с образцом 11. Следовательно, при получении из гидролизных лигнинов гранулированных углей, приближающихся по фракционному составу к рекуперационным углям, необходимо проводить карбонизацию сухих лигниновых гранул в достаточно мягких условиях при темпе подъема температуры карбонизации не выше 5–7 °С/мин.

Характеристика лабораторных образцов активных углей мелкого зерна (диаметр 2,3 мм) приведена в табл. 5. Из данных табл. 5 следует, что образцы углей мелкого зерна, полученные из различных образцов лигнина, обладают насыпной плотностью в пределах 389–458 г/дм³ и достаточно высокой механической прочностью. Следует отметить, что по равновесной активности по бензолу, а также по времени защитного действия по бензолу и хлорэтилу между этими образцами наблюдаются некоторые отличия. Наибольшую равновесную активность имеют образцы 1 и 8, изготовленные соответственно из образцов лигнина № 1 и 2 (см. табл. 5). Эти же образцы обладают и наиболее высоким временем защитного действия по бензолу и хлорэтилу.

Таблица 5

Характеристика гранулированных активных углей
мелкого зерна

Номер образца	Насыпная плотность, г/дм ³	Суммарный объем пор по воде, см ³ /г	Прочность, %	Массовая доля золы, %	Степень обгара, %	Равновесная активность по бензолу, г/дм ³	Время защитного действия, мин	
							по бензолу	по хлорэтилу
1	389	0,859	85	4,4	60,8	125	65	62
4	442	0,840	89	6,2	50,6	84	38	55
6	458	0,836	89	14,3	53,9	102	49	66
8	398	1,010	86	11,7	64,4	128	62	–
10	390	1,100	63	16,5	57,1	85	37	47
12	347	0,865	82	12,6	60,0	79	41	47

Образцы мелкого зерна были, кроме того, подвергнуты активации до суммарного объема пор 1,03–1,33 см³/г. Характеристика этих образцов приведена в табл. 6.

Таблица 6

Характеристика образцов активных углей мелкого зёрнения
после активации с высокой суммарной пористостью

Номер образца	Насыпная плотность, г/дм ³	Суммарный объем пор, см ³ /г	Прочность, %	Массовая доля золы, %	Степень обгара, %	Равновесная активность по бензолу, г/дм ³
1	304	1,33	81,6	9,22	81,6	120
4	312	1,32	87,2	9,72	78,7	80
6	310	1,30	72,0	19,7	85,3	100
8	369	1,03	82,5	13,2	73,6	134

Из данных табл. 5 и 6 следует, что даже при значительно более высокой суммарной пористости, т.е. при более высокой степени обгара, лигнинные угли мелкого зёрнения сохраняют механическую прочность. При этом у большинства образцов равновесная активность по бензолу существенно не изменяется. Параметры пористой структуры гранулированных углей мелкого зёрнения приведены в табл. 7.

Таблица 7

Параметры пористой структуры образцов
активных углей мелкого зёрнения

Номер образца	Объем, см ³ /г						S_{me} , м ² /г	$B_1 \cdot 10^{-6}$
	V_{Σ}	V_{mi}	V_{me}	V_{ma}	W_0	W_s		
1	0,859	0,342	0,158	0,356	0,370	0,500	97,6	0,745
4	0,840	0,240	0,044	0,556	0,238	0,284	—	0,721
6	0,836	0,250	0,119	0,467	0,272	0,369	66,4	0,595
8	1,010	0,332	0,123	0,555	0,362	0,455	55,8	0,721
10	0,865	0,225	0,297	0,580	0,250	0,520	121,6	0,710
12	1,100	0,244	0,058	0,798	0,251	0,302	—	0,586

Лигнинные активные гранулированные угли имеют довольно развитый объем микропор, что приближает их к промышленным гранулированным активным углям мелкого зёрнения (см. табл. 7). Однако в отличие от них лигнинные угли (особенно изготовленные из образцов лигнина № 1 и 2) обладают большим объемом мезопор и, как можно судить по величине константы B_1 , имеют моодисперсную структуру с достаточно мелкими микропорами.

Отличие наблюдается и в величинах объемов микро- и мезопор для образцов 4 и 6, полученных из образца лигнина № 2 и карбонизованных соответственно в одну и две стадии. Очевидно, что более

мягкие условия карбонизации приводят к большему развитию микропор и к уменьшению объема мезопор.

Характеристика образцов активных углей крупного зёрнения приведена в табл. 8. Из данных табл. 8 можно видеть, что активные угли крупного зёрнения обладают более низкой механической прочностью в сравнении с мелкозёрнеными углями (см. табл. 7) при достаточно близких суммарных объемах пор. Равновесная активность по бензолу для этих образцов находится в пределах 78–116 г/дм³ (для углей из разных лигнинов).

Таблица 8

Характеристика крупнозёрненных образцов
активных углей из лигнина

Номер образца	Насыпная плотность, г/дм ³	Суммарный объем пор по воде, см ³ /г	Прочность, %	Массовая доля золы, %	Степень обгара, %	Равновесная активность по бензолу, г/дм ³	Время защитного действия, мин	
							по бензолу	по хлорэтилу
2	432	0,893	67,2	4,58	56,5	116	37	28
5	435	0,892	72,4	7,02	52,2	78	32	27
7	421	0,890	47,4	17,60	78,2	98	33	48
9	409	0,870	68,0	11,50	63,4	115	42	17
11	399	0,900	56,5	23,50	52,5	115	29	13
13	322	1,130	44,7	22,50	64,0	111	40	13

В табл. 9 приведены параметры пористой структуры крупнозёрненных активных углей, полученных из лигнина. При сравнении данных табл. 8 и 9 видно, что лигниновые активные угли крупного зёрнения также обладают хорошо развитым объемом микропор, но уступают углям мелкого зёрнения по объему мезопор. Как видно по величине константы V_1 , эти угли также монодисперсные с преобладанием мелких микропор.

Очевидно, что как мелкие, так и крупные активные лигниновые угли могут быть использованы в процессах сорбции с низким коэффициентом диффузии, например, для очистки растворов или сточных вод. Следует отметить, что карбонизация исходных гранул в две стадии приводит к большему развитию микропор (образец № 13). В целом же наибольшим объемом микропор обладают угли, изготовленные из образцов лигнина № 1 и 2.

Таблица 9

Параметры пористой структуры образцов
активных углей крупного зёрнения

Номер образца	Объем пор, см ³ /г						B ₁ ·10 ⁻⁶
	V _Σ	V _{ми}	V _{ме}	V _{ма}	W ₀	W _S	
2	0,893	0,322	0,065	0,506	0,330	0,387	0,630
5	0,892	0,234	0,070	0,588	0,229	0,304	0,655
7	0,890	0,280	0,083	0,527	0,278	0,363	0,515
9	0,870	0,356	0,074	0,440	0,370	0,430	0,665
11	0,900	0,306	0,109	0,485	0,346	0,486	0,960
13	1,130	0,375	0,111	0,644	0,397	0,415	0,825

Таким образом, по результатам анализов лабораторных образцов гранулированных активных углей из лигнина мелкого и крупного зёрнения можно сделать вывод, что лигнин и целлолигнин могут быть использованы как углеродсодержащее сырьё для получения гранулированных активных углей.

Исходя из результатов анализа свойств исходного лигнина и полученных на его основе образцов гранулированных активных углей проведены исследования их осветляющей способности (табл. 10).

Из табл. 10 видно, что большинство исследованных образцов активных углей имеют достаточно высокую активность при адсорбции метиленового голубого и мелассы из их водных растворов. Несколько меньшей активностью отличаются образцы 5–9, полученные из образца лигнина № 3 и целлолигнина.

Большинство полученных образцов активных углей имеют массовую долю золы выше допустимой (более 15 мас. %). Только образцы, полученные из лигнина № 1 и целлолигнина (образцы активных углей 2, 4, 5, 8 и 9), содержат зольные компоненты в пределах 6,33–13,20 мас. % Однако наблюдается высокое содержание водорастворимых компонентов практически во всех исследованных образцах, значительная доля которых приходится на ионы Fe³⁺.

Известно, что при мокром измельчении из лигнинов удаляется значительная доля водорастворимых зольных элементов и механических примесей. В связи с этим их осветляющие свойства можно заметно улучшить, подвергнув их дополнительной кислотной обработке (отмывке). Это особенно важно для углей, полученных на основе целлолигнина (образцы 4 и 5), поскольку именно в этих образцах содержится более 4 % водорастворимой золы.

Таблица 10

Характеристика осветляющей способности образцов
активных углей, полученных из лигнина

Номер образца	Суммарный объем пор, см ³ /г	Массовая доля общей золы, %	Массовая доля водорастворимой золы, %	Массовая доля Fe ³⁺ , %	Осветляющая способность, %	
					по метиле- новому голубому	по мелассе
2	1,22	6,33	0,70	0,51	55	103
4	1,32	9,72	4,12	–	75	106
5	1,43	11,30	4,21	0,51	45	109
6	1,30	19,70	2,22	0,68	55	98
7	1,30	19,90	2,26	0,80	55	91
8	1,03	13,20	0,70	0,60	65	182
9	1,00	11,80	0,81	0,31	50	124
10	1,48	29,50	1,12	0,78	–	102
11	1,31	24,80	0,77	0,48	75	101
12	1,51	28,90	1,17	0,66	75	122
13	1,32	22,20	1,76	0,35	65	161

Рассматривая осветляющие свойства активных углей, полученных из разных образцов лигнина, можно заключить, что все лигнины являются достаточно удовлетворительной основой для получения гранулированных активных углей. Однако угли, полученные из лигнина № 1, отличающегося максимальным содержанием летучих компонентов, по всем показателям превосходят остальные образцы. Интересно также отметить, что активные угли из лигнина № 3 и его смеси с древесным лигнином обладают высокой осветляющей способностью по мелассе. Сравнительная простота технологии и практически неограниченная сырьевая база делает эти угли перспективными для очистки сточных вод и вентвыбросов.

В работе представлены результаты собственных исследований, выполненных в соответствии с Постановлением Правительства РФ № 218 от 09.04. 2010 г. «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичных производств» по теме «Создание высокотехнологичного адап-

тивного производства углеродных сорбентов и фильтрующих материалов как основы отечественной сорбционной, экологической и противогазовой техники нового поколения».

Список литературы

1. Беляев Е.Ю. Получение и применение древесных активированных углей в экологических целях // Химия растительного сырья. – 2000. – № 2. – С. 5–15.

2. Бакланова О.Н., Плаксин Г.В., Дроздов В.А. Микропористые углеродные сорбенты на основе растительного сырья // Российский химический журнал. – 2004. – Т. 48, № 3. – С. 89–94.

3. Preparation of microporous sorbents from cedar nutshells and hydrolytic lignin / O.N. Baklanova, G.V. Plaksin, V.A. Drozdov, V.K. Duplyakin, N.V. Chesnokov, B.N. Kuznetsov // Carbon. – 2003. – Vol. 41. – P. 1793–1800.

4. Углеродные адсорбенты из гидролизного лигнина для очистки сточных вод от органических примесей / А.О. Еремин, В.В. Головина, Н.В. Чесноков, Б.Н. Кузнецов // Journal of Siberian Federal University. Chemistry 1. – 2011. – № 4. – С. 100–107.

5. Термическая обработка гидролизного лигнина в реакторе с циркулирующим слоем / Б.Н. Кузнецов, Ю.Г. Головин, В.А. Винк, В.В. Головина // Химия растительного сырья. – 1999. – № 2. – С. 53–59.

6. Состав и связующие свойства лигнинов, полученных окислительной делигнификацией древесины пихты, осины и березы в среде уксусной кислоты / И.Г. Судакова, Б.Н. Кузнецов, Н.В. Гарынцева, И.В. Королькова // Химия растительного сырья. – 2010. – № 3. – С. 55–60.

7. Симонова В.В., Шендрик Т.Г., Кузнецов Б.Н. Методы утилизации технических лигнинов // Journal of Siberian Federal University. Chemistry 4. – 2010. – № 3. – С. 340–354.

8. Особенности очистки воды от нефтепродуктов с использованием нефтяных сорбентов, фильтрующих материалов и активных углей / Е.В. Веприкова, Е.А. Терещенко, Н.В. Чесноков, М.Л. Щипко, Б.Н. Кузнецов // Journal of Siberian Federal University. Chemistry 3. – 2010. – № 3. – С. 285–304.

References

1. Belyaev E.Yu. Poluchenie i primenenie drevesnykh aktivirovannykh uglej v ekologicheskikh tselyakh [Preparation and use of wood-based activated carbons for environmental purposes]. *Khimiya rastitelnogo syrya*, 2000, no. 2, pp. 5–15.

2. Baklanova O.N., Plaksin G.V., Drozdov V.A. Mikroporistye uglerodnye sorbenty na osnove rastitelnogo syrya [Microporous carbon adsorbents based on vegetable raw materials]. *Rossijskij khimicheskij zhurnal*, 2004, vol. 48, no. 3, pp. 89–94.

3. Baklanova O.N., Plaksin G.V., Drozdov V.A., Duplyakin V.K., Chesnokov N.V., Kuznetsov B.N. Preparation of microporous sorbents from cedar nutshells and hydrolytic lignin [Preparation of microporous sorbents from cedar nutshells and hydrolytic lignin]. *Carbon*, 2003, vol. 41, pp. 1793–1800.

4. Eremin A.O., Golovina V.V., Chesnokov N.V., Kuznetsov B.N. Uglerodnye adsorbenty iz gidroliznogo lignina dlya ochistki stochnykh vod ot organicheskikh primesej [Carbon sorbents of lignin hydrolysis for wastewater treatment of organic impurities]. *Journal of Siberian Federal University. Chemistry I*, 2011, no. 4, pp. 100–107.

5. Kuznetsov B.N., Golovin Yu.G., Vink V.A., Golovina V.V. Termicheskaya obrabotka gidroliznogo lignina v reaktore s tsirkuliruyushchim sloem [Heat treatment of the lignin in the hydrolysis reactor circulating bed]. *Khimiya rastitelnogo syrya*, 1999, no. 2, pp. 53–59.

6. Sudakova I.G., Kuznetsov B.N., Garyntseva N.V., Korolkova I.V. Sostav i svyazuyushchie svojstva ligninov, poluchennykh okislitelnoj delignifikatsiej drevesiny pikhty, osiny i berezy v srede uksusnoj kisloty [Structure and binding properties of lignins derived oxidative delignification of wood fir, aspen and birch in acetic acid]. *Khimiya rastitelnogo syrya*, 2010, no. 3, pp. 55–60.

7. Simonova V.V., Shendrik T.G., Kuznetsov B.N. Metody utilizatsii tekhnicheskikh ligninov [Methods of disposal of technical lignins]. *Journal of Siberian Federal University. Chemistry 4*, 2010, no. 3, pp. 340–354.

8. Veprikova E.V., Tereshchenko E.A, Chesnokov N.V., Shchipko M.L., Kuznetsov B.N. Osobennosti ochistki vody ot nefteproduktov s ispolzovaniem neftyanykh sorbentov, filtruyushchikh materialov i aktivnykh uglej [Features water purification from oil using the oil sorbent, filter materials and active carbons]. *Journal of Siberian Federal University. Chemistry 3*, 2010, no. 3, pp. 285–304.

Получено 29.02.2016

Об авторах

Тиньяева Елена Александровна (Пермь, Россия) – кандидат химических наук, доцент кафедры химии и биотехнологии Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: teengaeva@mail.ru).

Фарберова Елена Абрамовна (Пермь, Россия) – кандидат химических наук, доцент кафедры химии и биотехнологии Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail:elenafarb@gmail.com).

About the authors

Elena A. Tingaeva (Perm, Russian Federation) – Ph. D. in Chemical Sciences, Associate Professor, Department of chemistry and biotechnology, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation; e-mail: teengaeva@mail.ru).

Elena A. Farberova (Perm, Russian Federation) – Ph. D. in Chemical Sciences, Associate Professor, Department of chemistry and biotechnology, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation; e-mail: elenafarb@gmail.com).