



УДК 674.8:66.04

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.139

ВАРИАНТЫ ПЕРЕРАБОТКИ НИЗКОСОРТНОЙ ДРЕВЕСИНЫ НА УГЛЕРОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Ю.Л. Юрьев¹, д-р техн. наук, проф.

И.К. Гиндулин¹, канд. техн. наук, доц.

Н.А. Дроздова², канд. техн. наук, ведущий эколог

¹Уральский государственный лесотехнический университет, Сибирский тракт, д. 37, г. Екатеринбург, Россия, 620100; e-mail: bluestones@mail.ru, tradeek@mail.ru

²Муниципальное унитарное предприятие жилищно-коммунального хозяйства «Сысертское», ул. Коммуны, д. 48, г. Сысерть, Свердловская область, Россия, 624022; e-mail: drozdova-na@mail.ru

Лесопокрытая площадь в наиболее обжитых районах Европейско-Уральской части Российской Федерации занята в основном низкосортной лиственной древесиной с преобладанием березы и осины. Пиролиз является традиционным способом переработки низкосортной древесины, получаемый при этом древесный уголь может быть эффективно использован в технологии других углеродных материалов. Разработанная нами структура системы получения углеродных материалов из древесины состоит из четырех подсистем: 1 – заготовка сырья, 2 – первичная обработка древесины, 3 – пиролиз древесины, 4 – переработка древесного угля. При заготовке и первичной обработке древесины энерго- и ресурсосбережение обеспечиваются за счет утилизации древесных отходов, при пиролизе – за счет применения тепла экзотермических реакций. Показано, что в условиях лесопромышленных предприятий отбор избыточного тепла возможен при использовании для производства древесного угля модульных пиролизных ретортных установок и подобных им аппаратов. При переработке древесного угля ресурсосбережение обеспечивается за счет направления его мелких фракций на брикетирование, а энергосбережение – при сжигании газов активации. В процессе получения активных углей наименьшую экологическую опасность представляет активация водяным паром. Окисление активного угля (по соображениям экологической безопасности) предлагается проводить в паровой фазе с использованием горячего влажного воздуха в качестве окислителя. При этом не образуется сточных вод. Анализ вариантов переработки низкосортной древесины показал, что разработанная нами технология получения углеродных материалов позволяет более чем в 3 раза увеличить стоимость продукции, производимой, например, из 1 м³ березовой древесины, повысить экономическую стабильность предприятий лесного комплекса, получить до четырех видов углеродных материалов (древесный уголь, древесно-

Для цитирования: Юрьев Ю.Л., Гиндулин И.К., Дроздова Н.А. Варианты переработки низкосортной древесины на углеродные материалы // Лесн. журн. 2017. № 5. С. 139–149. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.139

угольные брикеты, активные и окисленные угли), а также снизить экологическую опасность их производства за счет сжигания парогазовой смеси пиролиза древесины, применения водяного пара (на стадии получения активных углей) и воздуха (на стадии получения окисленного угля).

Ключевые слова: переработка низкосортной древесины, пиролиз, древесный уголь, активные угли, энергосбережение.

Введение

Лесопокрытая площадь в наиболее обжитых районах Европейско-Уральской части Российской Федерации занята в основном низкосортной лиственной древесиной, представленной березой и осиной. Эффективность переработки такого сырья недостаточна.

Традиционным способом переработки низкосортной ствольной древесины, сучьев, веток [22] и недревесного растительного сырья [17, 19] является пиролиз. Варианты его проведения разнообразны [5, 6, 14, 16, 21].

При объеме лесозаготовок 100 тыс. м³/год и породном составе сырьевой базы 4С2Е2Б2Ос (характерном для Среднего Урала) ресурсы отходов позволяют производить древесный уголь марок А, Б и В (соответственно из березы, осины и хвойных пород). Как минимум, из имеющихся отходов можно получить 3,7 тыс. т древесного угля (ДУ). Ситуация в лесном комплексе Свердловской области характеризуется тем, что практически вся осиновая древесина относится к неликвидной, а из продуктов переработки березы имеет сбыт только фанерный краж. В этом случае ресурсы древесины для производства ДУ возрастают и возможно получение 6,0 тыс. т ДУ, в том числе 35 % – марки В, 32 % – марки Б, 32 % – марки А [12].

В настоящее время предприятия ограничиваются производством ДУ, хотя вполне могут выпускать и другие углеродные материалы (УМ): древесноугольные брикеты (ДУБ), активные угли (АУ) и древесный окисленный уголь (ДОУ). Если образуется большое количество угольной мелочи, то есть смысл повысить эффективность производства за счет организации производства ДУБ. В качестве связующего материала предлагается использовать вещества, находящиеся в парогазовой смеси (ПГС) пиролиза [8, 9].

Наиболее перспективными продуктами переработки ДУ являются углеродные нанопористые материалы – ДОУ и АУ [4, 11].

Цель нашей работы – на основе анализа структуры системы получения УМ из древесины выявить наиболее эффективные варианты технологии.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования выступает разработанная и частично реализованная нами технология УМ, которая позволяет более чем в 3 раза увеличить стоимость продукции, производимой в настоящее время (например, из 1 м³ березовой древесины), и за счет этого повысить устойчивость предприятий лесного комплекса.

Структура системы получения УМ из древесины включает четыре подсистемы: 1 – заготовка сырья, 2 – первичная обработка древесины, 3 – пиролиз древесины, 4 – переработка ДУ. Материальные потоки подсистем показаны на рис. 1.

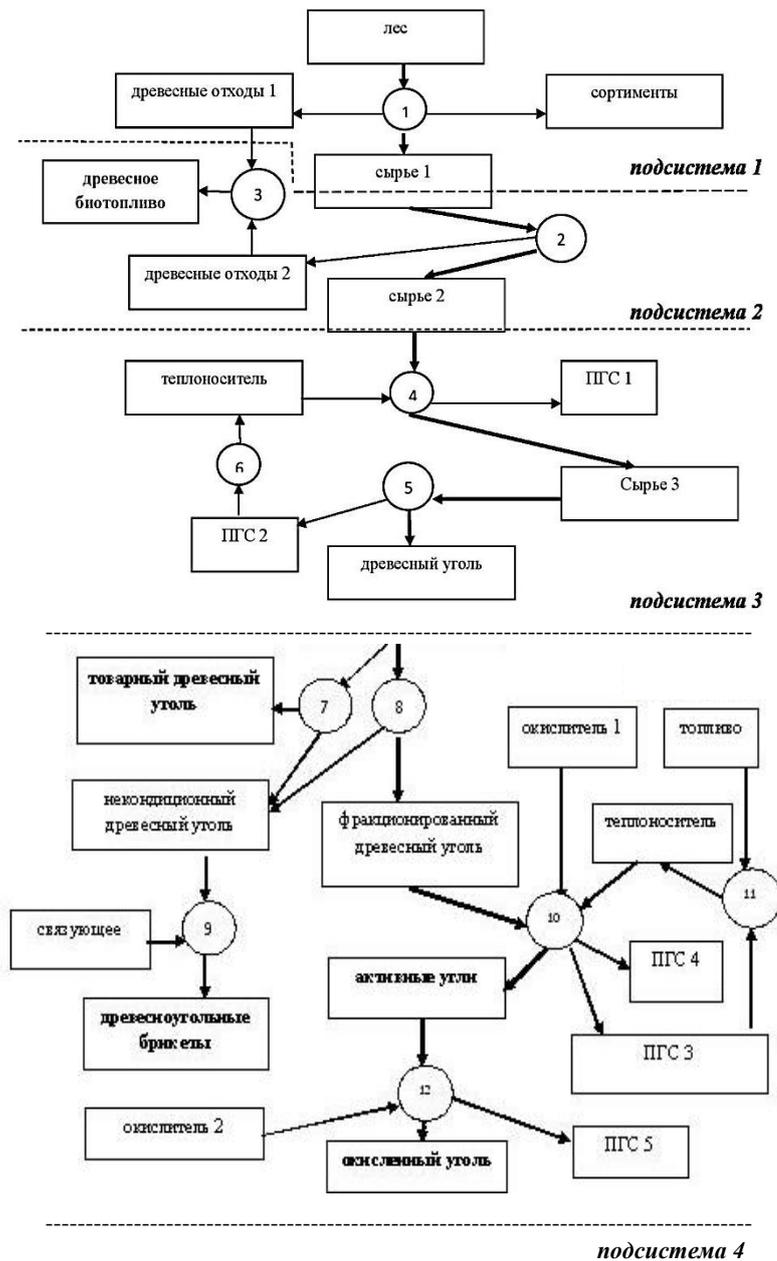


Рис. 1. Структура системы получения УМ на основе древесины

На рис. 1 обозначены:

позиции с 1 по 12 – операции соответственно валки, подготовки к пиролизу (расколка, распиловка), уплотнения древесных отходов, сушки, пиролиза, сжигания ПГС пиролиза, сортировки ДУ, дробления и сортировки ДУ, брикетирования, активации ДУ, сжигания газов активации, окисления АУ;

сырье 1 – стандартное сырье для пиролиза;

сырье 2 – распиленное и расколотое сырье для пиролиза;

сырье 3 – высушенное сырье для пиролиза;

древесные отходы 1 – отходы лесозаготовок (сучья, вершинник, фаутная древесина и т.п.);

древесные отходы 2 – опилки;

ПГС 1 – парогазовая смесь после сушки древесины (в основном азот, углекислый газ и водяной пар);

ПГС 2 – парогазовая смесь, образующаяся при пиролизе древесины (более 200 индивидуальных веществ);

ПГС 3 – газы активации ДУ;

ПГС 4 – отработанный теплоноситель из установки активации;

ПГС 5 – отработанный воздух из установки окисления АУ;

окислитель 1 – вещество, используемое для активации ДУ;

окислитель 2 – вещество, используемое для окисления АУ (в данном случае – воздух).

Из рис. 1 следует, что энерго- и ресурсосбережение для подсистем 1 и 2 обеспечивается за счет утилизации древесных отходов, для подсистемы 3 – за счет использования тепла экзотермических реакций пиролиза древесины, для подсистемы 4 ресурсосбережение достигается при переработке мелких фракций ДУ на ДУБ, а энергосбережение – при сжигании газов активации.

Использованию избыточного тепла путем сжигания ПГС и направления тепла на собственные нужды постоянно уделяется внимание [17, 18]. Нами показано, что в условиях лесопромышленных предприятий отбор избыточного тепла возможен при использовании для производства ДУ модульных пиролизных ретортных установок типа МПРУ и подобных им [13]. В настоящее время на территории РФ работает более 100 таких установок.

Результаты исследования и их обсуждение

Для получения АУ из лигноцеллюлозных материалов можно использовать паровую [15, 16], химическую [1, 10] или двухстадийную [20] активацию. Наименьшую экологическую опасность, как мы полагаем, представляет активация с помощью водяного пара. Для ее проведения нами рекомендуется вращающаяся печь, снабженная Z-образной вставкой [7]. Использование такого аппарата дает возможность получать АУ стандартного качества [2, 3].

Характеристики активных углей из разных видов березовой древесины приведены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики АУ, полученных из разных видов березовой древесины

Показатель	Требования ГОСТ 6217	Древесина		
		тонкомерная	сучья	спелая
Выход АУ, %	–	66	68	68
Суммарный объем пор по воде, см ³ /г	Не менее 1,6	3,1	2,8	2,9
Содержание золы, %	Не более 6,0	4,2	2,8	1,7
Адсорбционная активность по йоду, %	Не менее 60	63	60	64

Из табл. 1 видно, что из разных видов березовой древесины можно производить АУ, полностью соответствующие требованиям ГОСТ 62117 (марка БАУ-А). Использование Z-образной вставки в барабанной печи позволяет выпускать АУ с высоким выходом (66...58 %) и низким удельным расходом пара на активацию (1,2...1,4 т/т ДУ), что создает предпосылки для энерго- и ресурсосбережения.

Из соображений экологической безопасности нами предложено окисление АУ проводить в паровой фазе с использованием в качестве окислителя горячего влажного воздуха [9]. В этом случае не образуются сточных вод, как при жидкофазном окислении. Кроме того, применение насыщенного влагой воздуха увеличивает выход продукта, что подтверждено экспериментально (рис. 2).

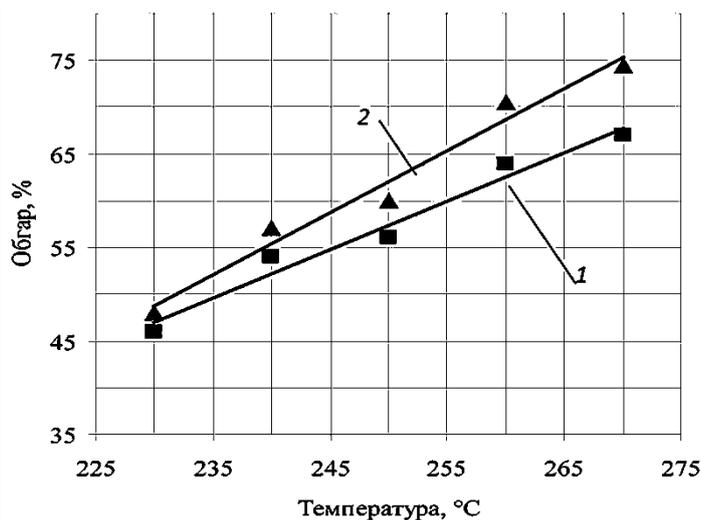
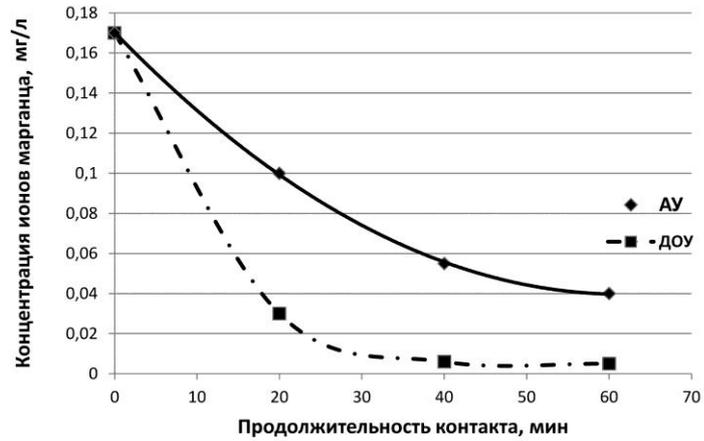
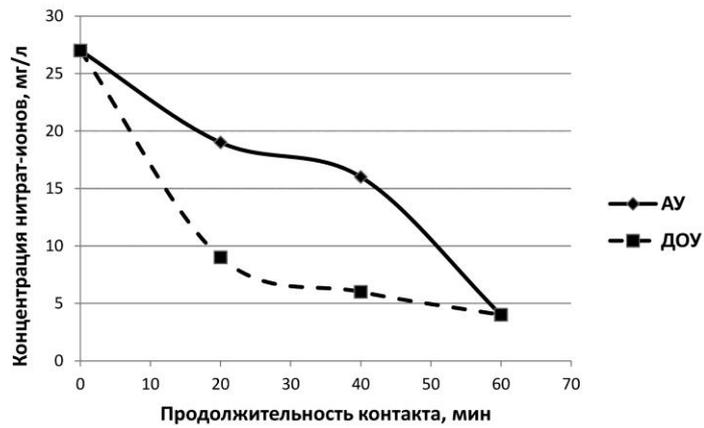


Рис. 2. Зависимость обгара угля от температуры при окислении воздухом, насыщенным (1) и не насыщенным (2) парами воды

Несмотря на то, что АУ являются анионообменником, а ДОУ – катионообменником, в обоих случаях эффективно проходит сорбция, что показано на примере сорбции катионов и анионов (рис. 3).



а



б

Рис. 3. Зависимость содержания ионов марганца (*а*) и нитрат-ионов (*б*) от продолжительности обработки углями

Оба углеродных материала способны сорбировать и катионы, и анионы. Разработанная технология переработки березовой древесины с получением УМ обладает достаточно высокой экономической эффективностью. В табл. 2 приведены показатели эффективности переработки 800 т березового угля в год только на АУ и при совместном производстве АУ и ДОУ.

Таблица 2

Технико-экономические показатели производства АУ и ДОУ

Показатель	Производство	
	АУ	АУ и ДОУ
Производительность по ДУ, т/год	800	800
Выпуск, т/год:		
АУ	500	100
ДОУ	–	160
Рентабельность, %	35	42
Срок окупаемости инвестиций, лет	2,3	2,0

Из табл. 2 следует, что более выгодно совместное производство АУ и ДОУ, но и выпуск только АУ экономически также эффективен.

Выводы

1. Из низкосортной древесины можно получать следующие углеродные материалы: древесный уголь, древесно-угольные брикеты, активные и окисленные угли.

2. При переработке древесины по предложенной схеме ресурсосбережение достигается за счет организации производства древесного биотоплива и брикетирования мелких фракций древесного угля, энергосбережение – за счет сжигания паргазовой смеси пиролиза и газов активации.

3. Снижение экологической опасности обеспечивается применением водяного пара (на стадии получения активных углей) и воздуха (на стадии получения окисленного угля).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богданович Н.И., Короткий В.П., Великанов В.И., Носков Д.К. Переработка низкосортной и мелкотоварной древесины в энтеросорбенты для сельского хозяйства методом совмещенного процесса карбонизации-активации на модульных установках в полевых условиях // Лесн. журн. 2010. № 4. С. 126–131. (Изв. высш. учеб. заведений).
2. Дроздова Н.А., Юрьев Ю.Л. Активация березового и осинового угля // Вестн. Казан. технол. ун-та. 2012. Т. 15, № 13. С. 147–148.
3. Дроздова Н.А., Юрьев Ю.Л. Изучение сорбционных свойств активного угля в статических условиях // Вестн. Казан. технол. ун-та. 2013. Т. 16, № 19. С. 83–84.
4. Мухин В.М., Тарасов А.В., Клушин В.Н. Активные угли России. М.: Металлургия, 2000. 352 с.
5. Пат. 1790209 Рос. Федерация. МПК⁶ С 10 В 1/04, С 10 В 53/02. Установка для производства древесного угля / Богданович Н.И., Ипатов В.В. Заявл. 21.09.1990; опубл. 27.11.95, Бюл. №11. 3 с.
6. Пат. 2027735 Рос. Федерация. МПК⁶ С 10 В 1/04, С 10 В 15/02, С10В 57/02. Установка для производства древесного угля / Богданович Н.И., Гольверк С.В. Заявл. 27.10.92; опубл. 27.01.95, Бюл. № 2. 3 с.

7. Пат. 2051097 Рос. Федерация. МПК⁶ С 01 В 31/10, С 23 С 8/00. Способ активации карбонизованных материалов / Панюта С.А., Юрьев Ю.Л., Стахровская Т.Е., Шишко И.И. Заявл. 25.11.92; опубл. 27.12.95, Бюл. № 12. 3 с.
8. Пат. 118960 Рос. Федерация. МПК⁹ С 10 В 53. Установка для производства древесного угля и шихты / Пономарев О.С., Юрьев Ю.Л. Заявл. 21.02.2012; опубл. 10.08.2012, Бюл. № 22. 2 с.
9. Пат. 71655 Рос. Федерация. МПК⁸ С 10 В 1/14. Устройство для получения окисленного древесного угля / Юрьев Ю.Л., Гиндулин И.К. Заявл. 12.11.07; опубл. 20.03.08, Бюл. № 8. 3 с.
10. *Саврасова Ю.А., Богданович Н.И., Макаревич Н.А., Белецкая М.Г.* Углеродные адсорбенты на основе лигноцеллюлозных материалов // Лесн. журн. 2012. № 1. С. 107–112. (Изв. высш. учеб. заведений).
11. *Юрьев Ю.Л.* Технология лесохимических производств. Ч. 1. Пиролиз древесины: учеб. пособие. Екатеринбург: Полиграфист, 1997. 99 с.
12. *Юрьев Ю.Л., Солдатов А.В.* Термохимическая переработка древесины в условиях лесопромышленного предприятия // Лесн. журн. 2005. № 3. С. 113–118. (Изв. высш. учеб. заведений).
13. *Юрьев Ю.Л., Терентьев В.Б., Самойленко С.А.* Проблемы переработки неликвидной лиственной древесины // Леса России и хозяйство в них. 2013. № 1(44). С. 111–112.
14. *Kammen D.M., Lew D.J.* Review of Technologies for the Production and Use of Charcoal. Available at: www.hedon.info/docs/Kammen-Lew-Charcoal-2005.pdf
15. *Lussier M.G., Shull J.C., Miller D.J.* Activated Carbon from Cherry Stones // Carbon. 1994. Vol. 32, no. 8. Pp. 1493–1498. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/journal/00086223/32>
16. Patent EP, no. 0216229 A2. Process for the Manufacture of Active Carbon / Wienhaus O., Klose E., Born M., Hennig F., Blossfeld O., Seidel H., Riedel D., Fischer F., Zimmer J., Heidrich M., Löttsch P. 1989.
17. Patent US, no. 20080142354 A1. Carbonizing Apparatus, Carbonizing System and Carbonizing Method / Yokoyama K., Fujiwara M., Ueda S., Arai Y., Kudo T., Miyahara S. 2008.
18. Patent US, no. 8202400 B2. Manufacture of Charcoal / Elliott A.M. 2012.
19. Patent US, no. 20110008317. Charcoals / de Leij F.A., Hutchings T.R., Wingate J.R. 2011.
20. *Rodriguez-Reinoso F., Linares-Solano A., Molina-Sabio M., Lopez-Conzalez J. de D.* The Two-Stage Air-CO₂ Activation in the Preparation of Activated Carbons. I: Characterization by Gas Adsorption // Adsorption Science and Technology. 1984. Vol. 1, no. 3. Pp. 211–222.
21. *Stassen H.E.* Developments in Charcoal Production Technology. Available at: www.fao.org/docrep/005/y4450e/y4450e11.htm
22. *Wienhaus O., Blossfeld O., Born M., Zimmer J.* Neue Erkenntnisse bei der Erzeugung von Holz- und Aktivkohlen aus Kieferschlagabraum // Zellst. und Pap. 1985. Vol. 34, no. 1. Pp. 32–36.

Поступила 23.03.17

UDC 674.8:66.04

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.139

Options of Low-Grade Wood Processing into Carbon-Base Materials

Yu.L. Yur'ev¹, Doctor of Engineering Sciences, Professor

I.K. Gindulin¹, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

N.A. Drozdova², Candidate of Engineering Sciences, Principal Environmental Specialist

¹Ural State Forest Engineering University, Sibirskiy trakt, 37, Yekaterinburg, 620100, Russian Federation; e-mail: bluestones@mail.ru, tradeek@mail.ru

²Municipal Unitary Enterprise of Housing and Communal Services “Sysertscoe”, ul. Kommuny, 48, Sysert, Sverdlovsk region, 624022, Russian Federation; e-mail: drozdova-na@mail.ru

The forested area in the most inhabited lands of the European Ural part of the Russian Federation is occupied mainly by low-grade hardwood with a predominance of birch and aspen. Pyrolysis is a traditional method for low-grade wood processing; the produced charcoal can be effectively used in the technology of other carbon materials. The structure of the developed system for the production of carbon materials from wood consists of 4 subsystems: 1 – raw material procurement, 2 – primary wood processing, 3 – wood pyrolysis, 4 – charcoal processing. When harvesting and primary processing of wood, energy and resource saving is ensured through the wood waste utilization; during pyrolysis – by using heat exothermic reactions. In the timber industry enterprises, the excess heat abstraction is possible when using modular pyrolysis retort units and similar apparatuses for the production of charcoal. When processing charcoal, resource saving is provided by briquetting of its small fractions, and energy saving – by activation gases burning. Water steam activation poses the least environmental hazard in the producing process of active carbons. We propose to conduct oxidation of activated charcoal (for reasons of environmental safety) in the vapor phase using hot moist air as an oxidizing agent. At the same time, no wastewater is formed. The analysis of options of low-grade wood processing has shown that the developed technology of carbon materials allows us to increase the cost of products, for example, from 1 m³ of birch wood more than 3 times, and to increase the economic stability of forestry enterprises. At the same time, we can obtain up to 4 types of carbon materials (charcoal, wood-coal briquettes, activated and oxidized coals), and reduce the environmental hazard of their production by burning a steam-gas mixture of wood pyrolysis, by the use of water vapor (at the stage of activated charcoals producing) and air (at the stage of obtaining of oxidized coal).

Keywords: low-grade wood processing, pyrolysis, charcoal, activated charcoal, energy saving.

For citation: Yur'ev Yu.L., Gindulin I.K., Drozdova N.A. Options of Low-Grade Wood Processing into Carbon-Base Materials. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 5, pp. 139–149. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.139

REFERENCES

1. Bogdanovich N.I., Korotkiy V.P., Velikanov V.I., Noskov D.K. Pererabotka nizkosortnoy i melkotovarnoy drevesiny v enterosorbenty dlya sel'skogo khozyaystva metodom sovmeshchennogo protsessa karbonizatsii-aktivatsii na modul'nykh ustanovkakh v polevykh usloviyakh [Processing of Low-grade and Small Merchantable Wood into Enterosorbents for Agriculture by Method of Concurrent Process of Carbonation-activation on Modular Installations in Field Conditions]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2010, no. 4, pp. 126–131.
2. Drozdova N.A., Yur'ev Yu.L. Aktivatsiya berezovogo i osinovogo uglya [Activation of Birch and Aspen Charcoal]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Herald of Kazan Technological University], 2012, vol. 15, no. 13, pp. 147–148.
3. Drozdova N.A., Yur'ev Yu.L. Izuchenie sorbtionnykh svoystv aktivnogo uglya v staticheskikh usloviyakh [Study of Sorption Properties of Activated Charcoal under Static Conditions]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Herald of Kazan Technological University], 2013, vol. 16, no. 19, pp. 83–84.
4. Mukhin V.M., Tarasov A.V., Klushin V.N. *Aktivnyye ugli Rossii* [Activated Charcoal of Russia]. Moscow, Metallurgiya Publ., 2000. 352 p. (In Russ.)
5. Bogdanovich N.I., Ipatov V.V. *Ustanovka dlya proizvodstva drevesnogo uglya* [Installation for the Charcoal Production]. Patent RF, no. 1790209, 1990.
6. Bogdanovich N.I., Gol'verk S.V. *Ustanovka dlya proizvodstva drevesnogo uglya* [Installation for the Charcoal Production]. Patent RF, no. 2027735, 1992.
7. Panyuta S.A., Yur'ev Yu.L., Stakhrovskaya T.E., Shishko I.I. *Sposob aktivatsii karbonizovannykh materialov* [The Method of Carbonized Materials Activation]. Patent RF, no. 2051097, 1992.
8. Ponomarev O.S., Yur'ev Yu.L. *Ustanovka dlya proizvodstva drevesnogo uglya i shikhty* [Installation for the Charcoal and Charge Production]. Patent RF, no. 118960, 2012.
9. Yur'ev Yu.L., Gindulin I.K. *Ustroystvo dlya polucheniya okislenno go drevesnogo uglya* [Device for Oxidized Charcoal Producing]. Patent RF, no. 71655, 2007.
10. Savrasova Yu.A., Bogdanovich N.I., Makarevich N.A., Beletskaya M.G. Uglerodnye adsorbenty na osnove lignotsellyuloznykh materialov [Carbon Adsorbents Based on Lignocellulosic Materials]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2012, no. 1, pp. 107–112.
11. Yur'ev Yu.L. *Tekhnologiya lesokhimicheskikh proizvodstv. Ch. 1. Pirolyz drevesiny* [Technology of Wood Chemical Production. Part 1. Wood Pyrolysis]. Yekaterinburg, Poligrafist Publ., 1997. 99 p. (In Russ.)
12. Yur'ev Yu.L., Soldatov A.V. Termokhimicheskaya pererabotka drevesiny v usloviyakh lesopromyshlennogo predpriyatiya [Thermochemical Woodworking in Forest-industrial Enterprise]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2005, no. 3, pp. 113–118.
13. Yur'ev Yu.L., Terent'ev V.B., Samoylenko S.A. Problemy pererabotki nelikvidnoy listvennoy drevesiny [The Problem of Illiquid Hardwood Processing]. *Lesa Rossii i khozyaystvo v nikh*, 2013, no. 1(44), pp. 111–112.
14. Kammen D.M., Lew D.J. *Review of Technologies for the Production and Use of Charcoal*. Available at: www.hedon.info/docs/Kammen-Lew-Charcoal-2005.pdf.
15. Lussier M.G., Shull J.C., Miller D.J. Activated Carbon from Cherry Stones. *Carbon*, 1994, vol. 32, no. 8, pp. 1493–1498. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/journal/00086223/32>.

16. Wienhaus O., Klose E., Born M., Hennig F., Blossfeld O., Seidel H., Riedel D., Fischer F., Zimmer J., Heidrich M., Löttsch P. *Process for the Manufacture of Active Carbon*. Patent EP 0216229 A2, 1989.

17. Yokoyama K., Fujiwara M., Ueda S., Arai Y., Kudo T., Miyahara S. *Carbonizing Apparatus, Carbonizing System and Carbonizing Method*. Patent US, no. 20080142354 A1, 2008.

18. Elliott A.M. *Manufacture of Charcoal*. Patent US 8202400 B2, 2012.

19. de Leij F.A., Hutchings T.R., Wingate J.R. *Charcoals*. Patent US 20110008317, 2011.

20. Rodriguez-Reinoso F., Linares-Solano A., Molina-Sabio M., Lopez-Conzalez J. de D. The Two-Stage Air-CO₂ Activation in the Preparation of Activated Carbons. I: Characterization by Gas Adsorption. *Adsorption Science and Technology*, 1984, vol. 1, no. 3, pp. 211–222.

21. H.E. Stassen. *Developments in Charcoal Production Technology*. Available at: www.fao.org/docrep/005/y4450e/y4450e11.htm.

22. Wienhaus O., Blossfeld O., Born M., Zimmer J. Neue Erkenntnisse bei der Erzeugung von Holz- und Aktivkohlen aus Kieferschlagabraum. *Zellst. und Pap.*, 1985, vol. 34, no. 1, pp. 32–36.

Received on March 23, 2017