

УДК 630*867.5

DOI: 10.37482/0536-1036-2020-3-169-175

ПОЛУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕРЕЗОВОГО АКТИВНОГО УГЛЯ ДЛЯ ДООЧИСТКИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

Ю.Л. Юрьев, *д-р техн. наук, проф.*; *ResearcherID: AAA-8591-2020.*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1187-7401>

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

Одним из перспективных вариантов переработки лиственной древесины невысокого качества считается ее пиролиз на установках низкой экологической опасности, расположенных рядом с источником сырья. В дальнейшем возможна переработка древесного угля на активные угли различного назначения. Цель исследования – оценить пригодность активного угля, полученного из тонкомерной березовой древесины, для доочистки питьевой воды, а также показать возможность его регенерации. В качестве фильтрующего материала в колонках использовался промышленный активный уголь марки БАУ-А и уголь древесный активный дробленый, полученный путем паровой активации угля из тонкомерной березовой древесины во вращающейся печи с z-образной вставкой. Воду в колонки с активным углем подавали так, чтобы обеспечить продолжительность контакта воды с углем в течение 8, 4 и 2 мин. Через 3 месяца непрерывной работы все угольные фильтры с продолжительностью контакта 8 мин сохраняли сорбционную активность, а фильтры с продолжительностью контакта 4 мин были отработаны на 80 %. Далее испытания по доочистке воды проводились на регенерированных углях. Установлено, что доочистка с применением березового активного угля снижает перманганатную окисляемость воды примерно на 1 мг О₂/дм³. Наиболее приемлемой является продолжительность контакта угольной загрузки с водой, равная 4 мин, уголь после регенерации пригоден к повторному использованию. Показано, что уголь, полученный из тонкомерной березовой древесины при помощи активации в печи с z-образной вставкой, снижает окисляемость воды так же, как и промышленный уголь марки БАУ-А. При этом использование более дешевого сырья (тонкомерной березовой древесины) и проведение активации угля с низким удельным расходом водяного пара (за счет организации пульсирующего давления) уменьшает затраты на изготовление фильтрующего материала и доочистку питьевой воды.

Для цитирования: Юрьев Ю.Л. Получение и использование березового активного угля для доочистки питьевой воды // Изв. вузов. Лесн. журн. 2020. № 3. С. 169–175. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-3-169-175

Ключевые слова: доочистка питьевой воды, окисляемость, сорбция, активный уголь, тонкомерная березовая древесина.

Введение

В последние годы усилился интерес к процессу пиролиза различных материалов растительного происхождения мелких размеров (например, в виде щепы или стружки) [15, 17]. Они чаще всего имеют невысокие потребительские свойства, но могут служить сырьевой базой для получения так называемого биочара – по сути древесного угля [14, 16, 20].

Одним из перспективных вариантов переработки лиственной древесины невысокого качества считается ее пиролиз на установках с низкой экологической опасностью [5, 6], расположенных рядом с источником сырья. При переработке березовой древесины получается уголь стандартного качества [10], который после активации водяным паром имеет хорошо развитую пористую поверхность [4, 13] и пригоден для производства углеродных нанопористых сорбентов. Их производство нарастает темпами, превышающими среднемировые [18, 21].

Весьма перспективным является применение нанопористых углеродных материалов в качестве фильтров для доочистки питьевой воды на адсорбционных установках разной мощности [1, 3, 11, 12, 19]. Изучена эффективность адсорбционной доочистки питьевой воды от хлорсодержащих соединений [9].

Необходимо отметить, что для доочистки питьевой воды можно применять как модифицированный древесный уголь [11], так и порошковые или гранулированные угли различных марок [2], однако выбор технологии очистки зависит от свойств исходной воды [8].

Цель исследования – оценить пригодность активного угля (АУ), полученного из тонкомерной березовой древесины, для доочистки питьевой воды, а также показать возможность его регенерации.

Объекты и методы исследования

Испытания доочистки питьевой воды проводили в течение 8 месяцев на фильтровальной станции г. Екатеринбурга. В качестве фильтрующего материала использовали АУ, полученный путем паровой активации угля из тонкомерной березовой древесины во вращающейся печи с z-образной вставкой [7]. По мере вращения, вставка занимает то горизонтальное, то вертикальное положение (рис. 1).

В горизонтальном положении (рис. 1, а) внутри вставки наблюдается минимальное сопротивление прохождению парогазовой смеси, в вертикальном положении (рис. 1, б) материал перекрывает свободное сечение вставки, создавая гидрозатвор, поэтому образующиеся газы активации создают повышенное (до 7 тыс. Па) давление.

Пульсирующее давление обеспечивается высокой степенью заполнения вставки (30...50 %) и соблюдением отношения длины каждого элемента зига к его диаметру в пределах 1,5–6,5 [7]. В экспериментах (угол между зигами – 90°; угол естественного скоса материала – 15°) это отношение составляло 2,6.

Применение пульсирующего давления и высокий коэффициент заполнения вставки позволяют резко снизить расход пара на активацию угля.

Исходная вода из-под песчаного фильтра через бак постоянного уровня подавалась на 3 пары колонок объемом 400 мл каждая. В паре одну колонку загружали опытным углем, другую – промышленным углем БАУ-А в таком количестве, чтобы обеспечить продолжительность контакта воды с углем в течение 8, 4 и 2 мин соответственно.

АУ из тонкомерной березовой древесины имел зольность 4,2 %, суммарный объем пор – 3,1 см³/г, активность по йоду – 63 %; уголь марки БАУ-А пермского производства – соответственно 5,1 %; 2,8 см³/г и 62 %.

После отработки фильтров угли направляли на регенерацию с применением водяного пара при температуре 850 °С во вращающейся установке, имеющей z-образную вставку. Соотношение пар – отработанный АУ составляло 0,5. Продолжительность процесса регенерации – 0,5 ч.

При проведении испытаний перманганатную окисляемость воды до и после каждого фильтра с углем определяли по методике ГОСТ Р 55684–2013. Фильтрующий материал считали отработанным, если окисляемость воды после фильтра превышала 80 % от исходной. Отработанный уголь регенерировали острым паром и использовали повторно.

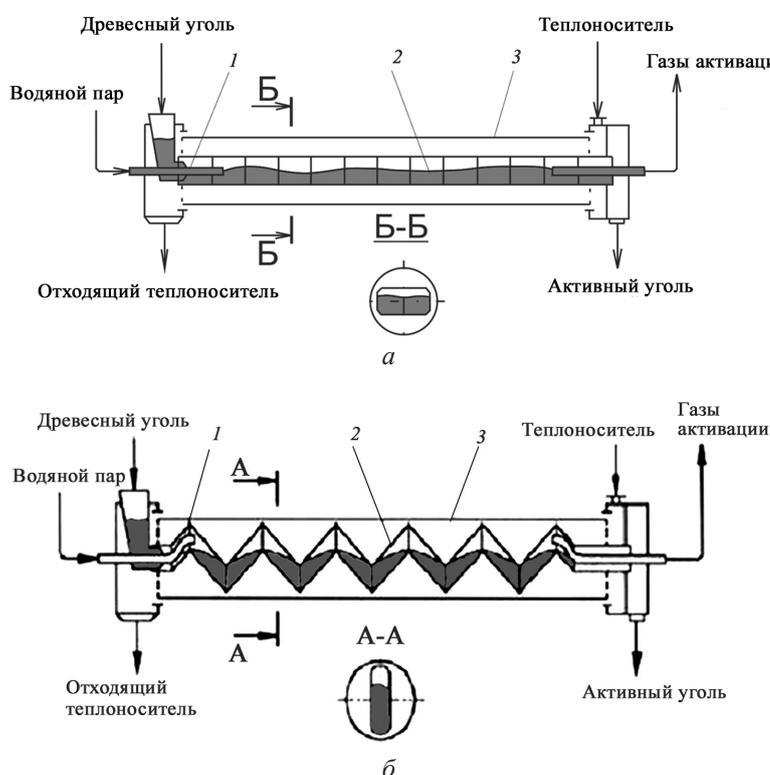


Рис. 1. Горизонтальное (а) и вертикальное (б) положение z-образной вставки: 1 – форсунка для подачи пара; 2 – зигзагообразная вставка; 3 – барабан

Fig. 1. The horizontal (a) and vertical (б) position of the z-shaped insert: 1 – steam nozzle; 2 – z-shaped insert; 3 – drum

Результаты исследования и их обсуждение

Изменение окисляемости воды после доочистки АУ при разной продолжительности контакта показано на рис. 2, а. Установлено, что при 2-минутном контакте угля с водой через 4 месяца этот уголь терял сорбционную активность.

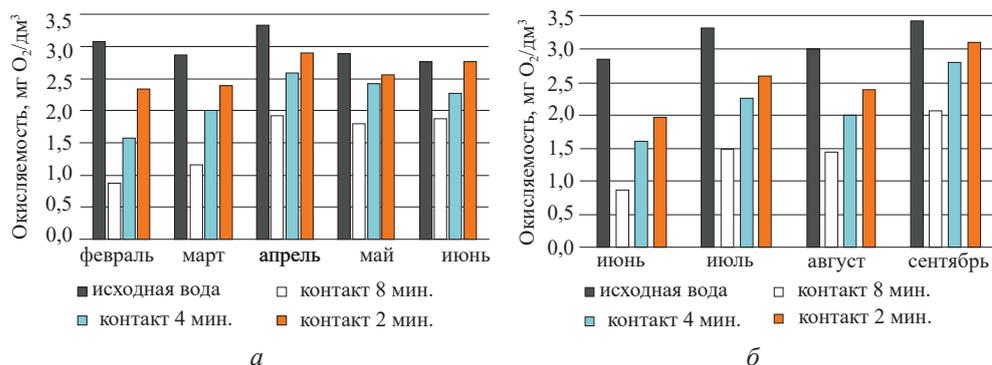


Рис. 2. Окисляемость воды после обработки активным углем до (а) и после (б) регенерации

Fig. 2. Water oxidability after treatment with activated carbon before (a) and after (b) regeneration

Через 3 месяца непрерывной работы все угольные фильтры с продолжительностью контакта 8 мин еще сохраняли сорбционную активность, а фильтры с продолжительностью контакта 4 мин были отработаны на 80 %. Следует отметить, что эффективность очистки воды как промышленным, так и опытным АУ была практически одинаковой. Различие в окисляемости воды на выходе из фильтра с промышленным и опытным АУ не превышало 10 %.

После регенерации АУ имел активность по йоду в пределах 80...83 %, т. е. выше, чем у исходного АУ. Предложенный режим регенерации оказался эффективным за счет короткой продолжительности процесса и низкого удельного расхода пара на активацию.

Далее испытания по доочистке воды проводили на регенерированных углях (рис. 2, б).

Установлено, что АУ при повторном использовании после регенерации позволяет снизить окисляемость воды на 1-2 ед. Однако 2-минутной продолжительности контакта явно недостаточно, а при 8-минутном контакте воды с углем наблюдаются повышенный удельный расход фильтрующего материала и рост затрат на доочистку. Оптимальные результаты получены при продолжительности контакта угля с водой, равной 4 мин.

Проведенный расчет расхода угля для 4-минутной продолжительности контакта АУ с водой показал, что 1 кг угля достаточно для обработки 103 м³ воды.

Выводы

1. Доочистка воды с применением активного угля из тонкомерной березовой древесины снижает окисляемость примерно на 1 мг О₂/дм³. Лучшие результаты достигнуты при 4-минутном контакте угля с очищаемой водой.
2. Уголь из березовой древесины после активации в печи с z-образной вставкой снижает окисляемость воды так же, как и промышленный уголь марки БАУ-А.
3. Уголь после регенерации пригоден к повторному использованию.
4. Использование более дешевого сырья (тонкомерной березовой древесины) и активация угля за счет организации пульсирующего давления при

низком удельном расходе водяного пара сокращают затраты на изготовление фильтрующего материала и доочистку питьевой воды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Ким А.Н., Романова Ю.В., Грун Н.А. Повышение качества питьевой воды путем совершенствования сорбционной доочистки водопроводной воды // Перспективы развития строительного комплекса. 2015. № S1. С. 316–326. [Kim A.N., Romanova Yu.V., Grun N.A. Improving the Quality of Drinking Water through Development of Sorption Post-Treatment of Tap Water. *Perspektivy razvitiya stroitel'nogo kompleksa*, 2015, no. S1, pp. 316–326].

2. Клущин В.Н., Хомутов А.Н., Статиров М.М., Киреев А.С., Мухин В.М. Новые активные угли отечественного производства для водоподготовки и доочистки питьевой воды // Хим. пром-сть сегодня. 2008. № 5. С. 31–41. [Klushin V.N., Khomutov A.N., Statirov M. M., Kireev A.S., Mukhin V.M. New Activated Carbons of Domestic Production for Water Treatment and Drinking Water Post-Treatment. *Khimicheskaya Promyshlennost' segodnya*, 2008, no. 5, pp. 31–41].

3. Королькова С.В. Эколого-гигиеническое обоснование применения и оптимизация автономных адсорбционных устройств для доочистки питьевой воды: дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2000. 226 с. [Korol'kova S.V. *Environmental and Health Substantiation of Use and Optimization of Autonomous Adsorption Devices for Drinking Water Post-Treatment*: Cand. Eng. Sci. Diss. Saint-Petersburg, 2000. 226 p.].

4. Макаревич Н.А., Богданович Н.И. Теоретические основы адсорбции. Архангельск: САФУ, 2015. 362 с. [Makarevich N.A., Bogdanovich N.I. *The Theoretical Basis of Adsorption*. Arkhangelsk, NArFU Publ., 2015. 362 p.].

5. Патент № 76644 Российская Федерация, МПК C10B 1/04. Реторта / Самойленко С.А., Юрьев Ю.Л., Мехренцев А.В., Жевлаков А.Н. 2008. [Samoylenko S.A., Yur'yev Yu.L., Mekhrentsev A.V., Zhevlakov A.N. *Retort*. Patent RF no. RU 76644 U1, 2008].

6. Патент № 2027735 Российская Федерация, МПК C10B 1/04. Установка для производства древесного угля / Богданович Н.И., Гольверк С.В. 1992. [Bogdanovich N.I., Gol'verk S.V. *Charcoal-Producing Plant*. Patent RF no. RU 2027735 C1, 1992].

7. Патент № 2051097 Российская Федерация, МПК C01B 31/10. Способ активации карбонизованных материалов / Панюта С.А., Юрьев Ю.Л., Стахровская Т.Е., Шишко И.И. 1995. [Panjuta S.A., Jur'yev Ju.L., Stakhrovskaja T.E., Shishko I.I. *Method of Activation of Carbonized Materials*. Patent RF no. RU 2051097 C1, 1995].

8. Первов А.Г. Как выбирать фильтры для очистки воды из водопровода // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2014. № 1(73). С. 42–45. [Pervov A.G. How to Choose Filters for Tap Water. *Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzheniye*, 2014, no. 1(73), pp. 42–45].

9. Шишкин В.В. Формирование качества питьевой воды путем адсорбционной доочистки от хлорфенола и хлороформа: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Кемерово, 2009. 22 с. [Shishkin V.V. *The Formation of the Drinking Water Quality by Adsorptive Post-Treatment from Chlorophenol and Chloroform*: Cand. Eng. Sci. Diss. Abs. Kemerovo, 2009. 22 p.].

10. Юрьев Ю.Л. Свойства угля из тонкомерной березовой древесины // Вестн. Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. Химическая технология и биотехнология. 2018. № 1. С. 105–112. [Yuriev Yu.L. Charcoal Properties of Small Size Birch Wood. *Vestnik PNIPIU. Khimicheskaya tekhnologiya i biotekhnologiya* [PNRPU Bulletin. Chemical Technology and Biotechnology], 2018, no 1, pp. 105–112]. DOI: [10.15593/2224-9400/2018.1.09](https://doi.org/10.15593/2224-9400/2018.1.09)

11. Юрьев Ю.Л., Гиндулин И.К., Дроздова Н.А. Варианты переработки низкосортной древесины на углеродные материалы // Изв. вузов. Лесн. журн. 2017. № 5. С. 139–149. [Yur'yev Yu.L., Gindulin I.K., Drozdova N.A. Options of Low-Grade Wood

Processing into Carbon-Base Materials. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2017, no. 5, pp. 139–149]. DOI: [10.17238/issn0536-1036.2017.5.139](https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2017.5.139), URL: http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/f01/1_YUrev.pdf

12. Юрьев Ю.Л., Дроздова Н.А., Панова Т.М. Доочистка артезианской воды с применением модифицированных древесных углей // Вестн. Казан. технол. ун-та. 2013. Т. 16, № 19. С. 85–86. [Yur'ev Yu.L., Drozdova N.A., Panova T.M. Post-Treatment of Artesian Water Using Modified Charcoals. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Herald of Kazan Technological University], 2013. T. 16. No 19. S. 85–86].

13. Юрьев Ю.Л., Штеба Т.В. Исследование закономерностей активации углеродной нанопористой матрицы водяным паром // Вестн. Технол. ун-та. 2015. Т. 18, № 4. С. 194–197. [Yur'ev Yu.L., Shteba T.V. Study of the patterns of activation of carbon nanoporous matrix water vapor. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta* [Herald of Kazan Technological University], 2015, vol. 18, no. 4, pp. 194–197].

14. Choi Y., Lee J. *Filter System*. Patent US no. US 9889408 B2, 2018.

15. Elliott A.M. *Manufacture of Charcoal*. Patent US no. US 8202400 B2, 2012.

16. Olander M., Piers P., Beierwaltes W.T., Gaspard J.G. *Portable Biochar Kiln*. Patent US no. US 10385274 B2, 2019.

17. *Roskill: Activated Carbon Could See World Consumption Double in Four Years*. Roskill Information Services, 2013. Available at: <https://www.prnewswire.com/news-releases/roskill-activated-carbon-could-see-world-consumption-double-in-four-years-198976641.html> (accessed 09.12.19).

18. Shearer D., Gaunt J., Peacocke V.C. *Biochar*. Patent US no. US 8747797 B2, 2014.

19. Takeda H., Itakura M., Ito M., Yoshinobu H. *Water Filter Cartridge and Water Purifier*. Patent US no. US 10023476 B2, 2018.

20. *United Nations Commodity Trade Statistics Database*. Available at: <https://comtrade.un.org/db/default.aspx> (accessed 09.12.19).

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

PRODUCTION AND USE OF BIRCH ACTIVATED CARBON FOR DRINKING WATER POST-TREATMENT

Yu.L. Yur'ev, Doctor of Engineering, Prof., Head of Department;

ResearcherID: AAA-8591-2020, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1187-7401>

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

Pyrolysis of low-quality deciduous wood in the plants with low environmental hazard, located near the source of raw materials is one of the promising options for its processing. In the future, it will be possible to convert such charcoal into activated carbons for various purposes. The research purpose is to evaluate the usefulness of activated carbon derived from small-diameter birch wood for the drinking water post-treatment, as well as to show the possibility of its regeneration. Commercial activated carbon BAU-A and crushed activated charcoal, obtained by steam activation of coal made of small-diameter birch wood in a rotary kiln with a z-shaped insert, were used as a filter medium in the columns. Water was supplied to the columns with activated carbon in such a way as to ensure the contact duration of water with coal for 8, 4, and 2 min. After three months of continuous operation, all carbon filters with 8-minute contact time retained sorption activity, and filters with 4-minute contact time were used for 80 %. Further on, water post-treatment tests were carried out with recovered carbons. It is found that post-treatment using birch activated carbon reduces the water permanganate

oxidation by about 1 mg O₂/dm³. The most complementary preferred contact time of coal charge with water is 4 min. The coal after regeneration is recyclable. It is shown that coal made of small-diameter birch wood using activation in a kiln with a z-shaped insert reduces the water oxidation in the same way as commercial coal BAU-A. Herewith, the use of cheaper raw materials (fine birch wood) and coal activation with low specific consumption of water steam (due to the organization of oscillating pressure) cut costs for the filter medium production and drinking water post-treatment.

For citation: Yur'ev Yu.L. Production and Use of Birch Activated Carbon for Drinking Water Post-Treatment. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2020, no. 3, pp. 169–175. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-3-169-175

Keywords: drinking water post-treatment, oxidability, sorption, activated carbon, small-diameter birch wood.

Поступила 09.12.19 / Received on December 9, 2019
