

УДК 661.666; 504.062

DOI dx.doi.org/10.17073/1997-308X-2019-2-15-22

Получение активированного угля из скорлупы ореха анакардиума для очистки воды

© 2019 г. **Куасси Бру Гийом, Н.С. Серпокрялов, А.С. Смоляниченко, Е.Г. Чеблакова, В.А. Горина**

Донской государственный технический университет (ДГТУ), г. Ростов-на-Дону

Научно-исследовательский институт конструкционных материалов на основе графита (НИИГрафит), г. Москва

Статья поступила в редакцию 10.05.18 г., доработана 11.10.18 г., подписана в печать 22.10.18 г.

Предложено применение сельскохозяйственных отходов скорлупы ореха анакардиума (СОА) из Республики Кот-д'Ивуар (Западная Африка) для производства активированного угля, используемого в процессе очистки воды, методом парогазовой активации. Отмытая и измельченная СОА подвергалась карбонизации при температуре 800 °С. Полученный измельченный карбонизат СОА был активирован парогазовым методом в интервале температур от 400 до 700 °С. Проведены исследования удельной поверхности и пористой структуры полученных образцов активированного угля методами низкотемпературной адсорбции азота и рентгеноструктурного (рентгенофазового) анализа. Результаты показали, что увеличение температуры активации при фиксированном времени ведет к повышению удельной поверхности материала, развитию микропористой структуры и увеличению суммарного объема мезо- и микропор полученного активированного угля. По данным рентгенофазового анализа установлено, что степень графитизации, межплоскостное расстояние и размеры кристаллитов изменяются незначительно. Доказана возможность использования СОА для получения активированного угля, который по своим сорбционным свойствам не уступает аналогам, применяемым в настоящий момент для очистки воды.

Ключевые слова: скорлупа ореха анакардиума, активированный уголь, парогазовая активация, удельная поверхность, пористая структура, микропоры, рентгенофазовый анализ, Республика Кот-д'Ивуар.

Куасси Бру Гийом – магистрант кафедры безопасности жизнедеятельности и защиты окружающей среды ДГТУ (344022, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162). E-mail: guillaumekb@yahoo.fr.

Серпокрялов Н.С. – докт. техн. наук, профессор кафедры водоснабжения и водоотведения ДГТУ. E-mail: nik.serpokrilov@yandex.ru.

Смоляниченко А.С. – канд. техн. наук, доцент кафедры водоснабжения и водоотведения ДГТУ. E-mail: arpis-2006@mail.ru.

Чеблакова Е.Г. – канд. техн. наук, начальник испытательного центра НИИГрафит (111524, г. Москва, Электродная ул., 2). E-mail: elcheblakova@yandex.ru.

Горина В.А. – науч. сотрудник Испытательного центра НИИГрафит. E-mail: labchim76@yandex.ru.

Для цитирования: Куасси Бру Гийом, Серпокрялов Н.С., Смоляниченко А.С., Чеблакова Е.Г., Горина В.А. Получение активированного угля из скорлупы ореха анакардиума для очистки воды. *Изв. вузов. Порошк. металлургия и функц. покрытия*. 2019. No. 2. С. 15–22. DOI: dx.doi.org/10.17073/1997-308X-2019-2-15-22.

Kouassi Brou Guillaume, Serpokrylov N.S., Smolyanichenko A.S., Cheblakova E.G., Gorina V.A.
Preparation of activated carbon from cashew nut shells for water purification

The article proposes using the agricultural waste of Cashew Nuts Shells (CNS) from the Republic of Côte d'Ivoire to produce activated carbon used in water treatment by physical activation. Washed and crushed CNS was carbonized at 800 °C. The obtained crushed and charred CNS was physically activated with water vapor within the temperature range of 400 to 700 °C. Specific surfaces (SBET) and porous structures of obtained activated carbon samples were investigated by low-temperature nitrogen absorption using X-ray diffraction (phase) analysis. The results showed that an increase in the activation temperature with a fixed activation time leads to larger material specific surface, microporous structure development and higher total volume of meso- and micro pores of activated carbons obtained. The X-ray phase analysis results demonstrated that the degree of graphitization, interlayer spacing and crystallite size change insignificantly. It was shown that CNS can be used for activated carbon production that is not inferior by its sorption properties to analogues currently used for water purification.

Keywords: cashew nut shells, activated carbon, physical activation, specific surface, porous structure, micropores, X-ray phase analysis, Republic of Côte d'Ivoire.

Kouassi Brou Guillaume – Graduate student, Department of life safety and environmental engineering, Don State Technical University (DSTU) (344022, Russia, Rostov-on-Don, Sotsialisticheskaya str., 162). E-mail: guillaumekb@yahoo.fr.

Serpokrylov N.S. – Dr. Sci. (Tech.), Prof., Department of water supply and sewerage systems, DSTU. E-mail: nik.serpokrilov@yandex.ru.

Smolyanichenko A.S. – Cand. Sci. (Tech.), Assistant, Department of water supply and sewerage systems, DSTU. E-mail: arpis-2006@mail.ru.

Cheblakova E.G. – Cand. Sci. (Tech.), Superior of Testing centre, Research Institute of Graphite-Based Structural Materials (NILgraphit) (1115242, Russia, Moscow, Elektrodная str. 2). E-mail: elcheblakova@yandex.ru.

Gorina V.A. – Researcher, Testing centre of NILgraphit. E-mail: labchim76@yandex.ru.

Citation: Kouassi Brou Guillaume, Serpokrylov N.S., Smolyanichenko A.S., Cheblakova E.G., Gorina V.A. Preparation of activated carbon from cashew nut shells for water purification. *Izv. vuzov. Poroshk. metallurgiya i funkts. pokrytiya*. 2019. No. 2. P. 15–22 (In Russ.). DOI: dx.doi.org/10.17073/1997-308X-2019-2-15-22.

Введение

Активированный уголь (АУ) является одним из реагентов, используемых при очистке воды [1–12]. Это сорбент с высокоразвитой пористой структурой, состоящий из углерода и обладающий хорошей способностью сорбировать газо-, парообразные и растворенные вещества [13]. Он устраняет вкус, запах, цветность и органические загрязнители (пестициды) путем адсорбции и удаляет некоторые тяжелые металлы, присутствующие в воде [5].

Сырьем для получения АУ являются древесина, торф, бурый и каменный угли, антрацит, различные биоотходы [3].

В Республике Кот-д’Ивуар (Западная Африка) существует растение, называемое «анакардиум западный» (*Anacardium occidentale*). Плоды этого дерева состоят из двух частей — яблока и ореха, больше известного как кешью. Яблоко анакардиума — съедобное, достаточно сочное и богато витамином С. Его применяют для приготовления варенья, соков, алкоголя, уксуса или сиропа [14, 15].

Созревший орех анакардиума может быть серого или серо-коричневого цвета и содержит внутри белое ядро, которое получают после отделения ореховой скорлупы. Ядро ореха можно употреблять в пищу без обработки. Его также используют в пищевой промышленности для производства кондитерских изделий (мороженого, тортов, нуги, шоколада, масла) и медицине [14, 15].

Республика Кот-д’Ивуар является крупнейшим поставщиком ореха анакардиума в Африке [16]: 380 тыс. т в 2010 г. [15], 450 тыс. т в 2012 г. [17], 625 тыс. т в 2015 г. [18] и около 725 тыс. т в 2016 г., что составило 24 % всего производства в мире [19]. В 2018 г. в стране было произведено 750 тыс. т этого

продукта [20]. При переработке ореха образуется большое количество скорлупы, которая является загрязнителем окружающей среды. Согласно имеющимся литературным источникам скорлупа ореха анакардиума (СОА) еще не рассматривалась в качестве сырья для получения активированного угля как адсорбента для очистки воды. В связи с этим в данной работе рассмотрена возможность получения активированного угля из СОА методом парогазовой активации.

Экспериментальная часть

Объектом исследования была скорлупа ореха анакардиума размером $d = 2,5 \div 3,5$ мм, которая является отходом завода OLAM (г. Димбокро, Республика-Кот д’Ивуар) (рис. 1).

Так как СОА содержит масло Cashew nut shell



Рис. 1. Исходная скорлупа ореха анакардиума ($d = 2,5 \div 3,5$ см)

liquid (CNSL) [14–16, 21], его предварительно извлекают по причине того, что при горении скорлупы выделяются пары кислот, вредные для человека и окружающей среды. По данным литературных источников существуют несколько методов экстракции CNSL из СОА:

- с помощью CO_2 [22, 23];
- путем быстрого обжигания [23, 24];
- с использованием перегретого пара [22, 23];
- с помощью сольвента [23].

В каждом случае применяется специализированное оборудование.

Технология производства АУ включала в себя следующие операции.

Подготовка сырья. На первом этапе СОА промывается несколько раз в воде для удаления примесей и пыли. Затем ее сушат в течение 24 ч и измельчают до фракции $d = 3\pm 6$ мм (рис. 2). Поскольку СОА содержит маслянистые вещества, то для их извлечения, учитывая невозможность применения в лабораторных условиях промышленных методов очистки, указанных выше, осуществляется варка скорлупы в воде порциями по 50 г. В целом процесс занимает около 2–3 ч. Полнота извлечения масла из СОА не определялась, однако визуально отмечается, что его количество значительно уменьшилось, а потеря массы СОА после варки составила 46 %.

Карбонизация — это термическая деструкция исходного материала в отсутствие кислорода с целью создания первичной пористой структуры и прочностных свойств продукта, подлежащего последующей активации [3].

После варки в воде СОА подвергают карбонизации при $t = 800$ °С и выдержке при этой температуре в течение 10–20 мин. Скорость нагрева составляет около 20 °С/мин. Полученный карбонизат измельчают до фракции 1,0–1,5 мм.

Активация — это процессы, направленные на развитие пористой структуры материалов. Варьируя условия активации (температуру, время, атмосферу, специальные добавки-модификаторы), можно контролировать общую пористость полученных материалов и их внутреннюю структуру, которая характеризуется распределением пор по размерам [25]. К настоящему времени сформированы три основных направления технологии (стадий активации): парогазовая (или физическая), химическая и смешанная [4–7, 9, 11, 12].

В нашем случае использовалась парогазовая активация на экспериментальной лабораторной установке, состоящей из печи и котла для выработки водяного пара. Время процесса составляло 30 мин, а температура варьировалась от 400 до 700 °С. Активации подвергали карбонизат СОА с размером частиц $d = 1,0\pm 1,5$ мм, произведенный при 800 °С (далее обозначим его У800), из которого получили активированные угли при температурах 400, 600 и 700 °С (соответственно — АУ400, АУ600 и АУ700). Затем их измельчали и рассеивали до фракции $\leq 0,16$ мм (рис. 3).

Технологическая схема получения активированного угля из СОА представлена на рис. 4.

В Испытательном центре АО «НИИГрафит» (г. Москва) определены удельная поверхность, пористость и проведен рентгенофазовый анализ кар-

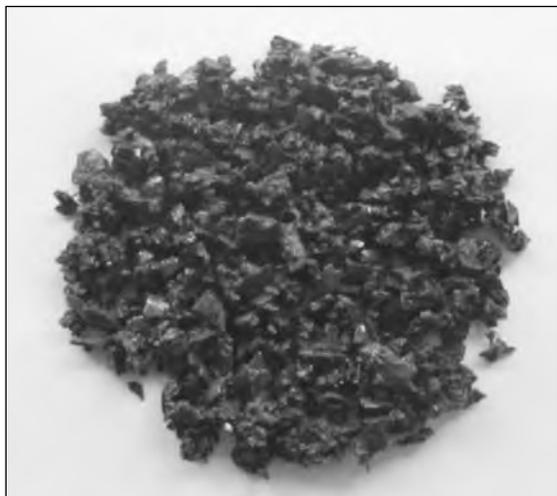


Рис. 2. Скорлупа ореха анакардиума после промывки и сушки ($d = 3\pm 6$ мм)



Рис. 3. Активированный уголь из скорлупы ореха анакардиума ($d \leq 0,16$ мм)

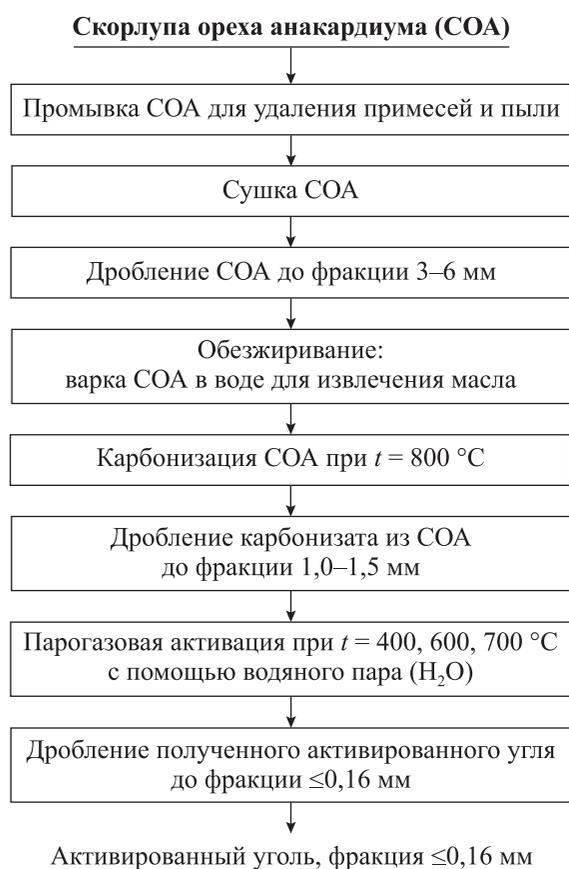


Рис. 4. Технологическая схема получения активированного угля из СОА

бонизата СОА при $t = 800\text{ °C}$ (У800) и активированных углей (АУ400, АУ600 и АУ700).

Удельную поверхность и пористость образцов оценивали по низкотемпературной адсорбции азота на приборе ASAP 2020 фирмы «Micromeritics» (США). Изотермы адсорбции—десорбции азота фиксировали в интервале относительных давлений $p/p_0 = 0,05 \div 1,0$ при температуре 77 К. Образцы предварительно подвергали дегазации при 150 °С под вакуумом.

Величину удельной поверхности определяли методом БЭТ, исходя из изотермы адсорбции при $p/p_0 = 0,05 \div 0,30$. Объем мезопор и их распределение по размерам рассчитывали методом Баррета, Джойнера и Халенды (ВЖН) в интервале давлений $p/p_0 = 0,35 \div 0,95$. Объем микропор и их распределение по размерам вычисляли методом Хорвата—Кавазое по изотерме адсорбции—десорбции азота в интервале относительных давлений $p/p_0 = 0,00 \div 0,01$.

Исследование рентгенофазовых характеристик (степени графитации, межплоскостного рассто-

яния и размеров кристаллитов) полученных материалов осуществляли на порошковом дифрактометре D8 Advance фирмы «Bruker» (Германия). Параметры съемки были следующими: $\text{CuK}\alpha$ -излучение с длиной волны $\lambda = 1,5418\text{ \AA}$, шаг сканирования $0,02^\circ$, скорость сканирования 2 град/мин .

Результаты и их обсуждение

Результаты определения удельной поверхности ($S_{\text{уд}}$, $\text{м}^2/\text{г}$) карбонизата СОА при 800 °C (У800) и активированных углей (АУ400, АУ600 и АУ700) приведены ниже:

У800	$3,56 \pm 0,18$
АУ400	$45,3 \pm 1,3$
АУ600	$165,7 \pm 4,6$
АУ700	$316,6 \pm 11,0$

Исходный карбонизат У800 — малопористое вещество. Его изотерма адсорбции—десорбции азота представлена на рис. 5, а. Она относится к 4-му типу по классификации, предложенной С. Брунауэром, Л. Демингом, У. Демингом и Э. Теллером (БДДТ) [26]. На адсорбционной ветви наблюдается медленный рост значений удельной адсорбции ($V_{\text{адс}}$) с увеличением относительного показателя p/p_0 , а в области давлений азота, близких к давлению насыщения, величина $V_{\text{адс}}$ резко возрастает. Петля гистерезиса указывает на наличие пор размером 2—50 нм, в которых происходит необратимая капиллярная конденсация. В рассматриваемой изотерме петля гистерезиса соответствует типу В и характерна для материалов со шелевидной формой пор.

Изотермы адсорбции азота на карбонизате СОА после активации имеют вид (см. рис. 5, б), характерный для физической адсорбции микропористыми телами (1-й тип изотермы) по вышеуказанной классификации и отличаются друг от друга количеством адсорбированного вещества. На изотермах наблюдается крутой подъем при низких относительных давлениях (менее 0,03) и наличие почти горизонтального плато, свидетельствующего о заполнении микропор адсорбатом (азотом).

Наличие небольшого гистерезиса может говорить о частичном разрушении структуры материала в процессе адсорбции.

Увеличение температуры активации исходного карбонизата У800 способствует развитию микропористой структуры. Характеристики пористой

Таблица 1. Характеристики пористой структуры исследуемых углей

Материал	Суммарный объем мезо- и микропор ($w < 480 \text{ \AA}$), $\text{см}^3/\text{г}$	Средний диаметр мезопор, \AA	Общий объем микропор ($w < 20 \text{ \AA}$), $\text{см}^3/\text{г}$	Средний диаметр микропор, \AA
У800	0,0047	94	0,0008	5,01
АУ400	0,035	42	0,012	3,9
АУ600	0,098	35	0,072	3,5
АУ700	0,183	39	0,140	3,4

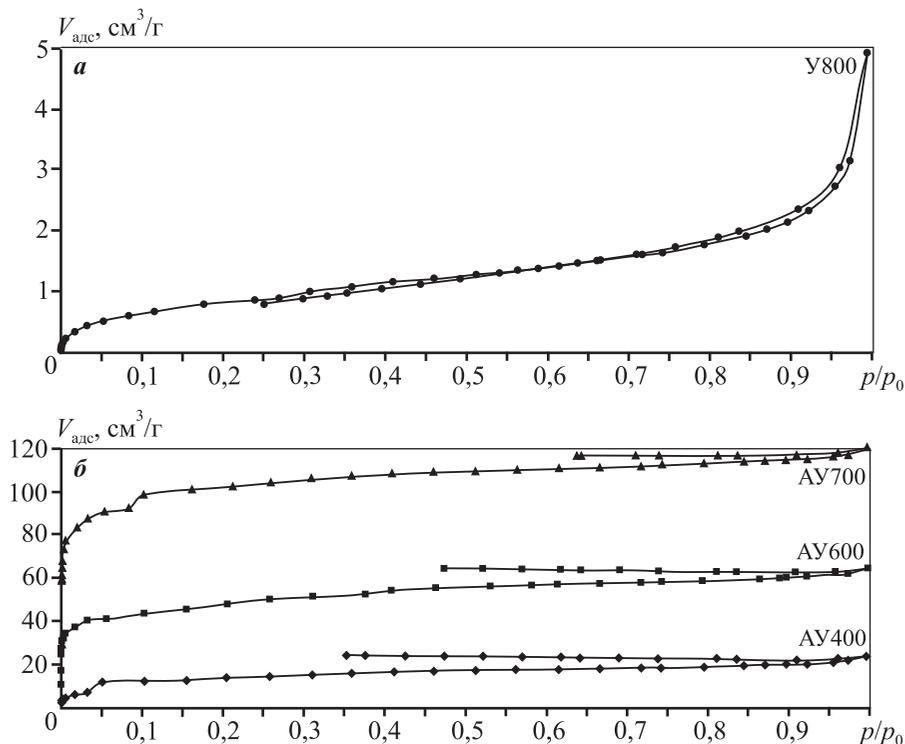


Рис. 5. Изотермы адсорбции–десорбции азота карбонизата У800 (а) и углей АУ400, АУ600 и АУ700 (б)

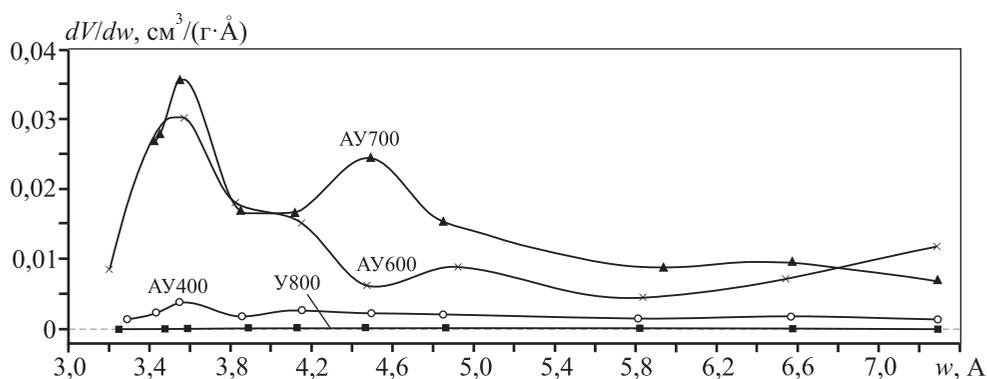


Рис. 6. Зависимость общего объема микропор от их размера

структуры всех исследуемых образцов АУ приведены в табл. 1. Видно, что заметно возрастает общий объем пор, при этом доля микропор при повышении температуры активации увеличивается с 34 % для АУ400 до 73–76 % для АУ600 и АУ700. Вероят-

нее всего, это соотношение является предельным. Микропоры имеют высокое соотношение удельной поверхности к объему и, следовательно, вносят наибольший вклад в показатель $S_{\text{уд}}$ изучаемых образцов АУ.

Таблица 2. Результаты рентгенофазового анализа

Материал	Межплоскостное расстояние d_{002} , Å	Степень графитизации g , %	Размер кристаллитов L , нм
У800	3,965	< 0	0,8
АУ400	3,944	< 0	0,9
АУ600	3,950	< 0	0,9
АУ700	3,951	< 0	0,9

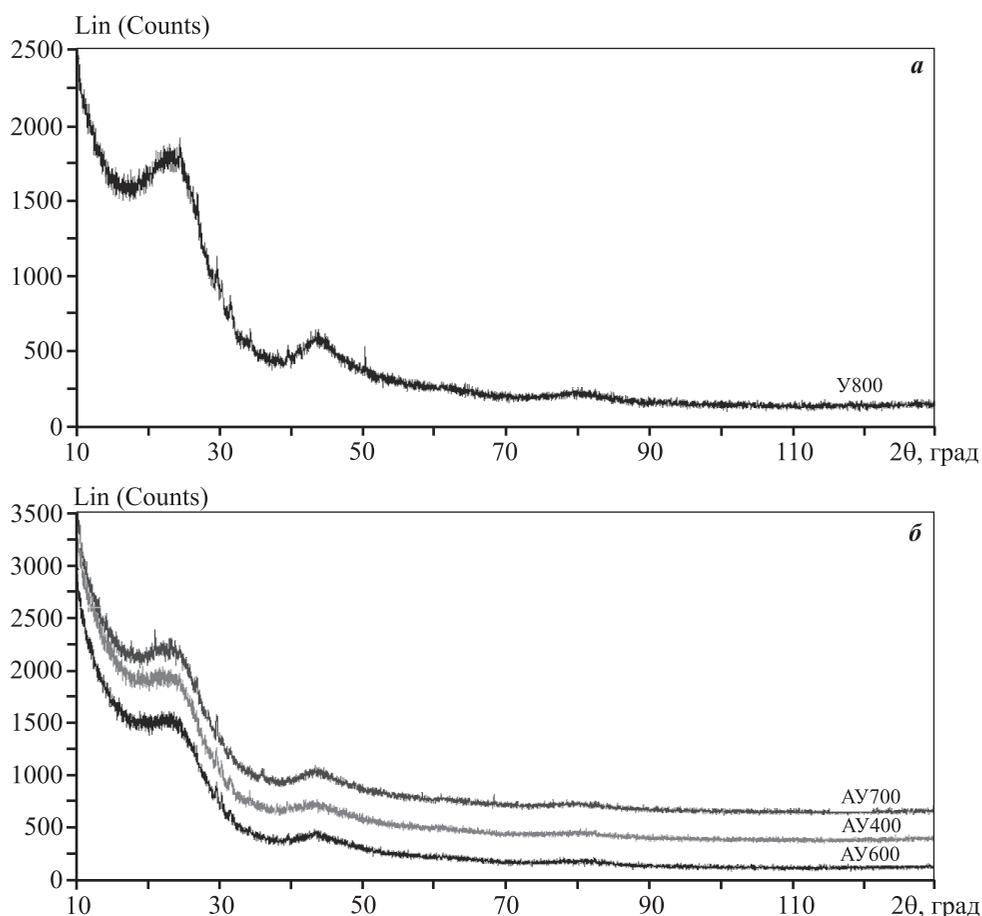


Рис. 7. Результаты рентгенофазового анализа углей У800 (а) и АУ400, АУ600 и АУ700 (б)

Удельная поверхность полученных в данной работе активированных углей (образцы АУ400, АУ600 и АУ700) больше по сравнению с некоторыми аналогами, описанными в литературе: ОГА-2 ($S_{уд} = 40 \text{ м}^2/\text{г}$) [3], ОДК-1 ($85 \text{ м}^2/\text{г}$) [3], СКО ($68\text{--}70 \text{ м}^2/\text{г}$) [27], ОКЦ ($102 \text{ м}^2/\text{г}$) [28], ($248 \text{ м}^2/\text{г}$) [29], ($155,91, 302,07$ и $292,45 \text{ м}^2/\text{г}$) [30], используемыми для тех же целей (отчистка воды).

Преобладающий размер (μ) микропор АУ остается практически одинаковым, однако объем их существенно возрастает с увеличением температуры активации (рис. 6). Таким образом, варьируя режимы активации для одного и того же исходного

карбонизата, можно получать материал с контролируемым соотношением пор разного размера.

Результаты рентгенофазового и рентгеноструктурного анализа исследуемых активированных углей приведены в табл. 2 и на рис. 7. На дифрактограммах присутствуют размытый рефлекс ($2\theta \approx 24^\circ$) фазы аморфного углерода и рефлексы малой интенсивности неизвестных кристаллических фаз. Как исходный карбонизат У800, так и активированные угли АУ400, АУ600 и АУ700 представляют собой неграфитизированный аморфный углеродный материал с очень большими межплоскостными расстояниями.

Выводы

1. Показана возможность использования скорлупы ореха анакардиума для получения активированного угля путем парогазовой активации при разных температурах.

2. Установлено, что температура активации влияет на удельную поверхность и структуру полученного АУ.

3. По результатам рентгенофазового анализа выявлено, что значения степени графитизации, межплоскостного расстояния и размеров кристаллитов полученных активированных углей изменяются незначительно и характерны для неграфитизированного аморфного материала.

4. Предварительное извлечение масла из СОА не требует специализированного оборудования, что удешевляет технологию в целом.

5. В перспективе необходимо проведение дополнительной серии экспериментов с повышенной температурой активации для установления требуемых характеристик пористой структуры АУ.

Литература/References

1. *Богаев А.Н., Горелова О.М., Курочкин Э.С.* Изучение закономерностей процесса пиролиза скорлупы кедрового ореха и получение на ее основе активированного угля с заданными свойствами. *Ползуновский вестник*. 2014. No. 3. С. 217–220.
Bogayev A.N., Gorelova O.M., Kurochkin E.S. Study of the regularities of the pyrolysis process of the pine nut shell and the production of activated carbon on the basis of its properties with specified properties *Polzunovskiy vestnik*. 2014. No. 3. P. 217–220 (In Russ.).
2. *Пустовая Л.Е., Тюрина Т.А., Талпа Б.В., Баян Е.М.* Адсорбционная способность опочки «талпус–ро» и «талпус–кк». *Вестн. ДГТУ*. 2012. Т. 12. No. 2-1 (63). С. 151–152.
Pustovaya L.E., Tyurina T.A., Talpa B.V., Bayan E.M. Adsorbability of «talpus-ro» and «talpus-kk» mould. *Vestnik Donskogo Tech. Univ.* 2012. Vol. 12. No. 2-1 (63). P. 151–152 (In Russ.).
3. *Передерий Ю.И., Кураков И.Н., Маликов М.В.* Адсорбенты на основе углеродсодержащих материалов. М.: Metallurgizdat, 2014.
Perederiy Yu.I., Kurakov I.N., Malikov M.V. Adsorbents based on carbon-containing materials. Moscow: Metallurgizdat, 2014 (In Russ.).
4. *Белецкая М.Г.* Синтез углеродных адсорбентов методом термохимической активации гидролизного лигнина с использованием гидроксида натрия: Дис. ... канд. техн. наук. Архангельск: Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, 2014.
Beletskaya M. Synthesis of carbon adsorbents by thermochemical activation of hydrolytic lignin using sodium hydroxide: Abstr. Diss. of PhD (Tech.). Arkhangel'sk: Severnyy (Arkticheskii) federal'nyi universitet im. M.V. Lomonosova, 2014 (In Russ.).
5. *Кинле Х., Бадер Э.* Активные угли и их промышленное применение. Л.: Химия, 1984.
Kinle Kh., Bader E. Active coals and their industrial application. Moscow: Khimiya, 1984 (In Russ.).
6. *Кишибаев К.К., Кабулов А.Т., Токпаев Р.Р., Атачарова А.А., Ефремов С.А., Нечипуренко С.В., Наурызбаев М.К., Мухин В.М.* ИК-спектроскопия активированных углей на основе сополимеров Фурфурола. *Вестн. КазНТУ. Химико-металлургические науки*. 2014. No. 4. С. 344–348.
Kishibayev K.K., Kabulov A.T., Tokpaev R.R., Atchabarova A.A., Yefremov S.A., Nechipurenko S.V., Nauryzbaev M.K., Mukhin V.M. IR-spectroscopy of activated carbons based on copolymers of furfural. *Vestnik KazNTU*. 2014. No. 4. P. 344–348 (In Russ.).
7. *Бутырин Г.М.* Высокопористые углеродные материалы. М.: Химия, 1976.
Butyrin G.M. Highly porous carbon materials. Moscow: Khimiya, 1976 (In Russ.).
8. *Grah Patrick Atheba.* Traitement des eaux par action combinée de la photocatalyse solaire et de l'adsorption sur charbon actif: conception et réalisation du procédé: Thèse de Doctorat. Metz, France: Université Paul Verlaine, 2009.
9. *Павленко В.В.* Синтез и использование многофункциональных углеродных наноструктурированных материалов на основе растительной клетчатки: Дис. ... канд. техн. наук. Алматы: КазНУ, 2014.
Pavlenko V.V. Synthesis and use of multifunctional carbon nanostructured materials based on plant fiber: Abstr. Diss. of PhD. Almaty: Al-Farabi Kazakh National University, 2014 (In Russ.).
10. *Баширов И.И.* Получение формованного углеродного адсорбента из нефтяного сырья методами паровой и щелочной активации: Дис. ... канд. техн. наук. Уфа: УГНТУ, 2016.
Bashirov I.I. Preparation of a molded carbon adsorbent from petroleum feedstocks by steam and alkaline activation: Abstr. Diss. of PhD (Tech.). Ufa: UGNTU, 2016 (In Russ.).
11. *Смирнов А.Д.* Сорбционная очистка воды. Л.: Химия, 1982.
Smirnov A.D. Sorption cleaning of water. Leningrad: Khimiya, 1982 (In Russ.).
12. *Мухин В.М., Клушин В.Н.* Производство и применение углеродных адсорбентов: Учеб. пос. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2011.
Mukhin V.M., Klushin V.N. Production and application of

- carbon adsorbents. Moscow: Rossiiskii khimiko-tekhnologicheskii universitet, 2011 (In Russ.).
13. *Кольшикин Д.А., Михайлова К.К.* Активные угли. Л.: Химия, 1972.
Kolyshkin D.A., Mikhailova K.K. Activated carbon. Leningrad: Khimiya, 1972 (In Russ.).
 14. *Emmanuelle Lautié, Manuel Dorniera, M. de Souza Filhoc, Max Reynesa.* Les produits de l'anacardier: Caractéristiques, voies de valorisation et marchés. *Fruits*. 2001. Vol. 56 (4). P. 235–248. DOI: <https://doi.org/10.1051/fruits:200112>.
 15. *Soro Doudjo.* Couplage de procédés membranaires pour la clarification et la concentration du jus de pomme de cajou: performances et impacts sur la qualité des produits: Thèse de Doctorat de Montpellier SupAgro, Institut des Régions Chaudes (France), 2012.
 16. *Tagutchou Jean-Philippe, Naquin Pascale.* Caractérisation et traitement thermochimique des coques d'anacarde en vue de leur valorisation énergétique dans les procédés de transformation artisanale de noix de cajou. *Colloque Eau, Déchets et Développement Durable* (21–24 mars 2012). Agadir, Maroc, P. 28–35. DOI: <https://doi.org/10.4267/dechets-sciences-techniques.2722>.
 17. *Fiche Sectorielle Filière Anacarde.* Chambre de commerce et d'industrie de cote d'ivoire; la filiere de l'anacarde en bref. Disponible sur: <http://www.cci.ci/3.0/component/content/article/133telechargements/683-fiches-sectorielles> (Consulté le 01.10.2018).
 18. *Jeune Afrique.* Côte d'Ivoire: forte poussée de la récolte de noix de cajou en 2015. Disponible sur: <https://www.jeuneafrique.com/251243/economie/cote-divoire-forte-poussee-de-la-recolte-de-noix-de-cajou-en-2015/> (Consulté le 01.10.2018).
 19. *Financial Afrik, La Côte d'Ivoire attend une production de 725 000 tonnes de noix de cajou en 2016, soit 24 % de l'offre mondiale.* Disponible sur: <https://www.financialafrik.com/2016/02/15/la-cote-divoire-attend-une-production-de-725-000-tonnes-de-noix-de-cajou-en-2016-soit-24-de-loffre-mondiale/> (Consulté le 01.10.2018).
 20. *Ouattara Gniré Mariam.* Analyse de la dynamique de l'offre de noix brutes de cajou en Côte d'Ivoire: une application par l'approche autorégressif à retards échelonnés (ARDL). *Eur. Sci. J*. 2018. Vol.14. No. 34. P. 292–306. DOI: <https://doi.org/10.19044/esj.2018.v14n34p292>.
 21. *Thierry Godjo, Jean-Philippe Tagutchou, Pascale Naquin, Rémy Gourdon;* Valorisation des coques d'anacarde par pyrolyse au Bénin. *Déchets Sciences et Techniques*. 2015. No. 70. P. 11–18. DOI: <https://doi.org/10.4267/dechets-sciences-techniques.3282>.
 22. *Setianto W.B, Yoshikawa S, Smith Jr.R.L, Inomata H, Florusse L.J, Peters C.J.* Pressure profile separation of phenol c liquid compounds from cashew (*Anacardium occidentale*) shell with supercritical carbon dioxide and aspects of its phase equilibria. *J. Supercritical Fluids*. 2009. Vol. 48. P. 203–210. DOI: [dx. doi.org/10.1016/j.supflu.2008.11.018](https://doi.org/10.1016/j.supflu.2008.11.018).
 23. *Smith Jr. R.L., Malaluan R.M., Setianto W.B., Inomata H., Arai K.* Separation of cashew (*Anacardium Occidentale* L.) nut shell liquid with supercritical carbon dioxide. *Bioresour Technol.* 2003. No. 88(1). P. 1–7. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0960-8524\(02\)00271-7](https://doi.org/10.1016/s0960-8524(02)00271-7).
 24. *Gedam P.H., Sampathkumaran P.S.* Cashew nut shell liquid: extraction, chemistry and applications. *Prog. Org. Coat.* 1986. No. 14. P. 115–157. DOI: [https://doi.org/10.1016/0033-0655\(86\)80009-7](https://doi.org/10.1016/0033-0655(86)80009-7).
 25. *Горина В.А., Чеблакова Е.Г.* Влияние режимов активации на удельную поверхность и развитие микропористой структуры углеродных волокон на основе вискозы. *Изв. вузов Порошк. металлургия и функц. покрытия*. 2015. No. 4. С. 34–39. DOI: [dx. doi.org/10.17073/1997-308X-2015-4-34-39](https://doi.org/10.17073/1997-308X-2015-4-34-39).
Gorina V.A., Cheblakova E.G. Influence of activation modes on the specific surface and development of a microporous structure of viscose-based carbon fibers. *Izv. vuzov. Poroshk. metallurgiya i funkts. pokrytiya*. 2015. No. 4. P. 34–39 (In Russ.).
 26. *Грэг С., Синг К.* Адсорбция, удельная поверхность, пористость. М.: Мир, 1984.
Greg S., Sing K. Adsorption, surface area and porosity. Moscow: Mir, 1984 (In Russ.).
 27. *Одинцова М.В.* Физико-химические характеристики бифункционального сорбента из скорлупы кедровых орехов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Тюмень: ТГУ, 2010.
Odintsova M.V. Physico-chemical characteristics of bifunctional sorbent from the shells of pine nuts: Abstr. Diss. of PhD (Tech.). Tyumen: Tyumenskii gosudarstvennyi universitet, 2010 (In Russ.).
 28. *Ульянова В.В.* Очистка сточных вод от ионов тяжелых металлов сорбентами на основе модифицированных отходов керамического производства и сельхозпереработки: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Саратов: ЭТУ (филиал), СГТУ, 2015.
Ulyanova V.V. Wastewater treatment from ions of heavy metals by sorbents on the basis of modified wastes of ceramic production and agricultural processing: Abstr. Diss. of PhD (Tech.). Saratov: Engel'skii tekhnologicheskii institut (filial) SGTU, 2015 (In Russ.).
 29. *Hashemian S., Salari K., Yazdi Z.A.* Preparation of activated carbon from agricultural wastes (almond shell and orange peel) for adsorption of 2-pic from aqueous solution. *J. Indust. Eng. Chem.* 2014. No. 20. P. 1892–1900. DOI: [dx. doi.org/10.1016/j.jiec.2013.09.009](https://doi.org/10.1016/j.jiec.2013.09.009).
 30. *Rajeshwari Sivaraj, Venkatesh Rajendran, G. Sangeetha Gunalan.* Preparation and characterization of activated carbons from parthenium biomass by physical and chemical activation techniques. *Coden ecjhae. E-Journal of Chemistry*. 2010. No. 7(4). P. 1314–1319. DOI: <https://doi.org/10.1155/2010/948015>.