

## Экология

УДК 661.183.2 + 66.081.32.

DOI: 10.17277/voprosy.2020.03.pp.009-018

### ТЕРМОХИМИЧЕСКАЯ УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ ТЕКСТОЛИТА С ПОЛУЧЕНИЕМ АКТИВНЫХ УГЛЕЙ С ОДНОРОДНОЙ МИКРОПОРИСТОЙ СТРУКТУРОЙ

И. С. Глушанкова, А. С. Атанова

*ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет», г. Пермь, Россия*

*Рецензент д-р хим. наук, профессор О. С. Кудряшова*

**Ключевые слова:** активные угли; изотерма адсорбции; низкотемпературный пиролиз; отходы текстолита; параметры пористой структуры; термохимическая активация; фенол.

**Аннотация:** Определены параметры процесса термохимической утилизации отходов текстолита с получением однороднопористых углеродных сорбентов экологического назначения, включающего пиролиз измельченных отходов текстолита с последующей активацией полученного карбонизата гидроксидом калия. Исследовано влияние условий активации карбонизатов (массовое отношение карбонизат : КОН, температура, длительность активации) на формирование пористой структуры и сорбционной активности полученных образцов активных углей (АУ). Установлено, что адсорбционная емкость полученных образцов АУ по фенолу в 1,75 раз выше по сравнению с широко используемой в практике очистки сточных вод АУ марки АГ-3.

### Введение

Проблема накопления и поиск эффективных решений утилизации образующихся полимерных отходов (ПО) приобретает с каждым годом все большее значение для большинства российских городов. По различным оценкам только в 2018 г. на территории РФ было сгенерировано более 3,5 млн т ПО, из них переработано лишь 450 т (коэффициент извлечения ~ 12 %) [1].

---

Глушанкова Ирина Самуиловна – доктор технических наук, профессор кафедры «Охрана окружающей среды»; Атанова Анна Сергеевна – аспирант кафедры «Охрана окружающей среды», e-mail: atanovaas@yandex.ru, ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь, Россия.

Анализ морфологического состава образующихся ПО, показал, что основную часть отходов составляет полиэтилен – около 32 %, полипропилен – 18 %, отходы ПЭТ – 11 %, композиционные полимеры, в том числе содержащие фенолформальдегидные смолы (ФФС) – 14 % [2].

Фенолформальдегидные смолы новолачного и резольного типов широко используются для получения композиционных материалов различного назначения. Одним из наиболее широко применяемых композитов, как в машиностроении, так и других областях промышленности, является текстолит, представляющий собой спрессованную хлопчатобумажную ткань и фенолформальдегидные смолы. Отходы текстолита относятся к крупногабаритным, трудноразлагаемым. Процесс длительной химической и фотолитической деструкции текстолита сопровождается эмиссиями токсичных веществ – фенолом, бензолом, формальдегидом и др.

Разработка способов утилизации отходов на основе ФФС является одной из актуальных задач.

Анализ научно-технической информации, опыт утилизации полимеров в европейских странах и России показал, что существует целый ряд способов переработки полимеров с получением товарных продуктов [3, 4], выбор которых определяется как физико-химическими свойствами полимеров, так и технологической, экономической и экологической эффективностью их использования. К наиболее распространенным способам утилизации и переработки полимеров можно отнести вторичную переработку полимерных отходов и их термическую утилизацию. Одной из основных проблем, связанных с вторичной переработкой полимеров, является неоднородность их состава, а также ограниченная область применения полученных гранулятов. При этом высокая стоимость переработки, снижение эксплуатационных характеристик часто делают вторичные полимеры неконкурентоспособными с первичными.

К термическим методам утилизации полимеров относят сжигание и пиролиз. Сжигание – один из наиболее распространенных методов утилизации полимерных отходов, который позволяет максимально сократить их объемы. Использование метода не требует больших затрат на подготовку отходов к переработке, позволяет утилизировать неотсортированные полимерные отходы различных видов и при условии полной утилизации тепла, например, для получения электроэнергии или пара, сжигание полимеров может быть технологически и экономически оправданно. Высокая токсичность продуктов сгорания большинства полимеров, сложность очистки отходящих газов, коррозия оборудования, сажеобразование создают технологические и экологические проблемы при реализации метода.

При низкотемпературном пиролизе отходов (400...600 °С) протекают процессы деструкции полимеров, сопровождающиеся карбонизацией и образованием пиролизных газов. Технологически процесс пиролиза осуществляют путем нагрева углеродсодержащих отходов в стационарных или вращающихся печах ретортного типа, и их деструкция проводится в среде пиролизных газов. Отсутствие кислорода способствует интенсивному протеканию процессов нагрева, плавления, испарения и термического разложения отходов. Достоинством способа является возможность проведения процесса в автотермическом режиме, так как образующиеся

пиролизные газы обладают высоким энергетическим потенциалом (до 35 МДж/кг) и могут быть использованы для поддержания уровня температуры процесса пиролиза в печи. Часть пиролизных газов способна конденсироваться с образованием жидкой фракции с температурой кипения 300...400 °С, которая может быть использована в качестве печного топлива или переработана с получением высококачественных моторных топлив. В результате термической переработки образуется углеродистый остаток – карбонизат. Известно, что пиролиз или карбонизация углеродсодержащего сырья является первой стадией получения активных углей (АУ).

В последние годы вопросам получения АУ из полимеров уделяется большое внимание. Предложены способы получения АУ из отходов полиэтилентерефталата (ПЭТ), отработанных синтетических ионообменных смол (сополимеры стирола и дивинилбензола), шинной резины, ПВХ, материалов на основе ФФС [5 – 8]. Использование полимерных отходов в качестве сырья для получения сорбентов позволяет не только решить проблему их утилизации, но и получить углеродные сорбенты. В отличие от АУ, получаемых из природного сырья (каменного и бурого углей, древесины), углеродные сорбенты из полимерного сырья характеризуются низкой зольностью. Варьирование температурных и временных режимов, а также использование различных активирующих агентов дают возможность получать сорбенты с заданными свойствами и параметрами пористой структуры (мезопористые, микропористые, с бипористой структурой и т.д.) [9 – 12].

Известно получение АУ из текстолита методом парогазовой активации [13, 14]. Анализ научно-технической информации по переработке отходов синтетических полимеров с получением АУ показал, что для этих целей наряду с физической активацией карбонизатов паром или диоксидом углерода используются методы химической активации с применением хлорида цинка, дегидратирующих реагентов (фосфорной и серной кислот), а также гидроксидов и карбонатов натрия, калия или магния [15 – 18]. Использование в качестве активирующего агента гидроксида калия КОН позволяет получать сорбенты с однородной микропористой структурой, что объясняется интеркалирующим эффектом продуктов восстановления гидроксида калия.

Цель работы – разработка термохимического способа утилизации полимерных отходов текстолита с получением продуктов экологического назначения – активных углей методом низкотемпературного пиролиза с последующей химической активацией полученных образцов гидроксидом калия.

### **Материалы и методы исследования**

В качестве прекурсора использовали измельченные отходы текстолита марки Б. Карбонизацию образцов проводили в лабораторной электрической печи муфельного типа, позволяющей регулировать температуру, скорость нагрева и время выдержки. Полученные карбонизаты активировали гидроксидом калия, затем промывали раствором кислоты и водой до нейтральной величины рН. Исследовались параметры влияния соотношения карбонизат : гидроксид калия, температуры и времени обработки на сорбционные свойства полученных активированных образцов.

Сорбционную активность и параметры пористой структуры полученных образцов определяли по стандартным, принятым в сорбционной технике, методикам:

- суммарную пористость – по величине влагоемкости (ГОСТ 17219–71);
- сорбционную активность образцов – по величине сорбционной емкости по йоду (ГОСТ 6217–74);

- параметры пористой структуры АУ (объемы микро- и мезопор, характеристическую энергию адсорбции и размер полуширины щели щелевидных микропор) – на основе анализа изотерм адсорбции азота при температуре 77 К, полученных с использованием газоадсорбционного анализатора сорбции NOVA 4200e Quantachrome.

Для сравнения сорбционных характеристик и параметров пористой структуры исследуемых сорбентов получены образцы АУ из текстолита, активированные паром, а также исследованы параметры пористой структуры и сорбционные характеристики образцов промышленных АУ марок АГ-3 и кокосовый активный уголь (КАУ). В целях определения возможности применения полученных образцов углеродных сорбентов для очистки сточных вод исследовано извлечение фенола из модельных растворов. Концентрацию фенола определяли по методике ПНД Ф 14.1:2.100-97.

### Результаты и их обсуждение

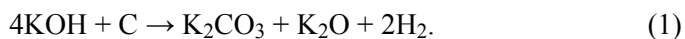
Обзор научно-технической информации, термический анализ деструкции ФФС показал, что пиролиз отходов текстолита целесообразно проводить при температуре 600 °С [19]. Исследовалось влияние времени обработки отходов при заданной температуре на выход карбонизата (*далее ТК-К*) и его свойства. Карбонизат представлял собой дробленый механически прочный материал. Характеристика полученных карбонизатов представлена в табл. 1.

Полученные результаты показали, что исследуемые образцы обладают высокой механической прочностью и оптимальное время выдержки при заданном уровне нагрева для формирования первичной пористости составляет 15 минут.

Для активации карбонизатов использовали водяной пар и гидроксид калия.

Проведенный термодинамический анализ возможных реакций между карбонизатом и гидроксидом калия показал, что процесс целесообразно проводить в интервале температур 750...850 °С. В экспериментах температура процесса активации составляла 800 °С.

В общем виде химическая реакция между гидроксидом калия КОН и углеродным материалом может быть представлена следующим уравнением



Исследовалось влияние соотношения активирующего агента и карбонизата и длительности активации на формирование пористой структуры и сорбционную активность образцов. Основные характеристики полученных образцов АУ представлены в табл. 2.

Таблица 1

**Влияние длительности проведения низкотемпературного пиролиза на формирование физико-химических и сорбционных свойств ТК-К**

| Показатель  | Время выдержки, мин |       |       |       |
|---|---------------------|-------|-------|-------|
|   | 15                  | 30    | 45    | 60    |
| Насыпная плотность, г/см <sup>3</sup>                       | 0,58                | 0,55  | 0,52  | 0,48  |
| Суммарный объем пор по влагоемкости, см <sup>3</sup> /г     | 0,30                | 0,33  | 0,47  | 0,49  |
| Равновесная активность по парам бензола, см <sup>3</sup> /г | 0,120               | 0,125 | 0,157 | 0,159 |
| Выход карбонизата, %  | 64                  | 60    | 57    | 55    |

Таблица 2

**Характеристика образцов АУ, полученных при активировании карбонизатов отходов текстолита водяным паром и гидроксидом калия КОН**

| Показатель  | ТАУ–Н <sub>2</sub> О     |       |       | ТАУ–КОН                  |       |       | Промышленные АУ  |             |
|---|--------------------------|-------|-------|--------------------------|-------|-------|------------------|-------------|
|   |                          |       |       |                          |       |       | АГ-3             | КАУ         |
| Параметры проведения активации                          | Т = 850 °С<br>t = 60 мин |       |       | Т = 800 °С<br>t = 15 мин |       |       | Т = 850...950 °С |             |
| Соотношение ТК-К и активирующего агента                 | 1 : 2                    | 1 : 4 | 1 : 6 | 1 : 0,5                  | 1 : 1 | 1 : 2 | Активация паром  |             |
| Насыпная плотность, г/см <sup>3</sup>                   | 0,45                     | 0,43  | 0,46  | 0,46                     | 0,45  | 0,44  | 0,45...0,5       | 0,6...0,65  |
| Механическая прочность на истирание, %                  | 85                       | 80    |       | 90                       | 85    | 82    | 75               | 90          |
| Преобладающий размер частиц, мм                         | 3                        | 2     | 2...4 |                          |       | 2...3 |                  | 1,5...2     |
| Суммарный объем пор по влагоемкости, см <sup>3</sup> /г | 0,68                     | 0,75  | 0,83  | 0,40                     | 0,42  | 0,45  | 0,8              | 0,85        |
| Равновесная активность по йоду, мг/г                    | 560                      | 580   | 620   | 660                      | 860   | 900   | 700...730        | 1000...1050 |
| Равновесная активность по бензолу, мг/г                 | 187                      | 209   | 320   | 231                      | 283   | 375   | 320...350        | 480...500   |

В процессе активации формируются дробленые высокопрочные образцы АУ (далее ТАУ) с низкой зольностью (1–2 %). Образцы обладают более высокой активностью по йоду по сравнению с промышленными образцами АУ марок АГ-3 и КАУ, что свидетельствует о формировании более развитой микропористой структуры. Размер молекулы йода (0,56 нм) соответствует размеру микропор АУ. На основании проведенных исследований установлены оптимальные соотношения карбонизата ТК-К и активирующего агента: ТК-К : пар = 1 : 4, ТК-К : КОН = 1 : 1. Для образцов, полученных при выбранных соотношениях определены основные параметры пористой структуры на анализаторе сорбции газов NOVA 4200e Quantachrome (табл. 3).

Как видно из представленных данных, пористая структура ТАУ–КОН представлена в основном микропорами со средним размером – 0,56 нм.

## Характеристика параметров пористой структуры образцов ТАУ

| Показатель  | ТАУ–H <sub>2</sub> O | ТАУ–KOH | Промышленные марки АУ |             |
|---|----------------------|---------|-----------------------|-------------|
|   |                      |         | АГ-3                  | КАУ         |
| Соотношение текстолита и активирующего агента                         | 1 : 4                | 1 : 1   | –                     |             |
| Суммарный объем пор, см <sup>3</sup> /г                               | 0,71                 | 0,48    | 0,75...0,85           | 0,8...0,9   |
| Объем микропор $V_{ми}$ , см <sup>3</sup> /г                          | 0,33                 | 0,38    | 0,23...0,25           | 0,42        |
| Объем мезопор $V_{ме}$ , см <sup>3</sup> /г                           | 0,08                 | 0,01    | 0,11                  | 0,10...0,12 |
| Предельный объем сорбционного пространства $W_0$ , см <sup>3</sup> /г | 0,42                 | 0,40    | 0,33...0,35           | 0,45...0,56 |
| Характеристическая энергия адсорбции $E_0$ , кДж/моль                 | 19,8                 | 20,7    | 18...20               | 22...24     |
| Размер полуширины щели микропор $X$ , нм                              | 0,62                 | 0,56    | 0,7...0,72            | 0,5...0,55  |
| Площадь поверхности микропор, м <sup>2</sup> /г                       | 548                  | 680     | 350...400             | 840         |
| Площадь поверхности $S_{БЭТ}$ , м <sup>2</sup> /г                     | 845                  | 840,5   | 780                   | 980         |

Эффективность активации КОН по сравнению с физической активацией паром можно объяснить способностью продуктов восстановления внедряться между слоями графитовых кристаллитов в формирующихся углях и расширять пространство между соседними углеродными слоями, формируя структуру АУ.

На образцах ТАУ–KOH и АГ-3 проведены испытания по определению эффективности их использования для очистки сточных вод от фенолов. Изотермы адсорбции фенола из раствора с его исходной концентрацией 500 мг/дм<sup>3</sup> на ТАУ–KOH и АГ-3 показаны на рис. 1, а. На рисунке 1, б, изотермы представлены в координатах уравнения Фрейндлиха

$$\lg A = \lg K + 1/n \lg C, \quad (2)$$

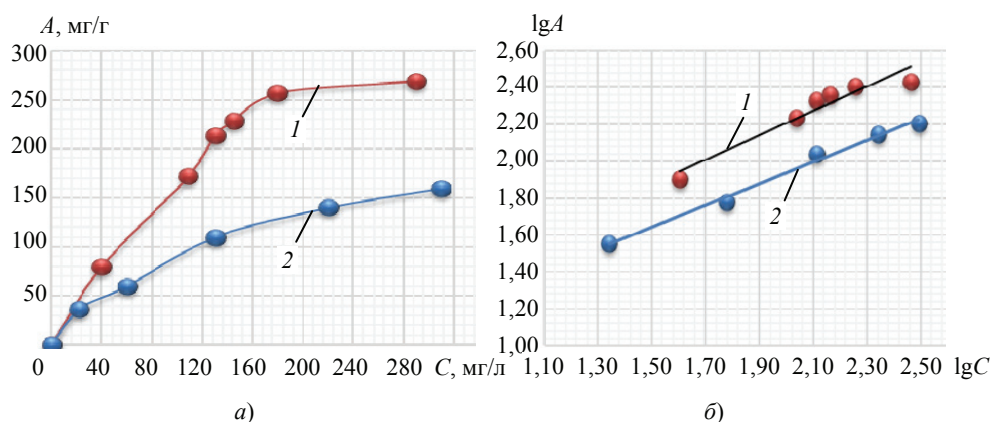


Рис. 1. Изотермы адсорбции фенола на АУ ТАУ, АГ-3 (а) и построенные в координатах уравнения Фрейндлиха (б): 1 – ТАУ; 2 – АГ-3



где  $A$  – емкость, мг/г;  $K$  – константа адсорбционного равновесия;  $n$  – эмпирический коэффициент;  $C$  – равновесная концентрация, мг/л.

Также рассчитаны основные константы для ТАУ–КОН:  $K = 7,76$ ,  $n = 1,5$ ; для АГ-3:  $K = 5,75$ ,  $n = 1,69$ .

Сорбционная емкость на образце ТАУ–КОН в 1,75 раза выше, чем на АУ марки АГ-3, широко используемых для очистки сточных вод.

## Выводы

1. Определены параметры процесса термохимической утилизации отходов текстолита с получением углеродных сорбентов, включающего пиролиз измельченных отходов текстолита при температуре 600 °С и времени выдержки 15 мин с последующей активацией полученного карбонизата гидроксидом калия или паром.

2. Исследовано влияние условий активации карбонизатов паром и гидроксидом калия (массового отношения карбонизат : активатор, температуры, длительности активации) на формирование пористой структуры и сорбционной активности полученных образцов активных углей АУ. Установлены условия проведения активации карбонизатов гидроксидом калия: температура 800 °С, время выдержки 15 мин, массовое соотношение карбонизат : КОН – 1 : 1.

3. Определены параметры пористой структуры образцов ТАУ–КОН: площадь поверхности  $S_{БЭТ} = 840,5 \text{ м}^2/\text{г}$ , суммарный объем пор –  $0,48 \text{ см}^3/\text{г}$ , объем микропор –  $0,38 \text{ см}^3/\text{г}$ .

4. Установлено, что адсорбционная емкость полученных образцов АУ по фенолу выше более чем в 1,5 раза по сравнению с широко используемой в практике очистки сточных вод АУ марки АГ-3.

По результатам выполненных экспериментальных работ получен патент РФ на способ получения углеродного сорбента № 2616679.

Проведенные экспериментальные исследования показали возможность термической утилизации многотоннажных полимерных отходов текстолита с получением эффективных активных углей с однородной микропористой структурой.

### *Список литературы*

1. Волкова, А. В. Рынок утилизации отходов / А. В. Волкова. – М. : ИНФРА, 2018. – 87 с.
2. Geyer, R. Production, Use, and Fate of all Plastics ever Made / R. Geyer, J. R. Jambeck, K. Lavender Law // Science Advances. – 2017. – Vol. 3, No. 7. – 5 p.
3. Шварц, О. Переработка пластмасс / О. Шварц, Ф.-В. Эбелинг, Б. Фурт ; под общ. ред. А. Д. Панаматченко. – СПб. : Профессия, 2005. – 320 с.
4. Ла Мантия, Ф. Вторичная переработка пластмасс / Ф. Ла Мантия. – СПб. : Профессия, 2007. – 400 с.
5. Михайлин, Ю. А. Тепло, термо- и огнестойкость полимерных материалов / Ю. А. Михайлин. – СПб. : Научные основы и технологии, 2011. – 416 с.
6. Татаринцева, Е. А. Сорбционный материал из вторичного полиэтиленерефталата / Е. А. Татаринцева, А. В. Карпенко, А. В. Ильина // Вестн. Харьковского национ. автомобильно-дорожного ун-та. – 2011. – № 52. – С. 125 – 127.

7. Пат. 2415808 Российская Федерация, МПК C01B 31/08. Способ получения активного угля / В. М. Мухин, И. Д. Зубова, И. Н. Зубова, А. А. Курилкин ; заявитель и патентообладатель Министерство промышленности и торговли Российской Федерации. – № 2009133964/05 ; заявл. 11.09.2009 ; опубл. 10.04.2011, Бюл. № 10. – 6 с.

8. Углеродные адсорбенты на основе лигноцеллюлозных материалов / Ю. А. Саврасова, Н. И. Богданович, Н. А. Макаревич, М. Г. Белецкая // Лесной журнал. – 2012. – № 1 (325). – С. 107 – 112.

9. Lian, F. Comparative Study on Composition, Structure, and Adsorption Behavior of Activated Carbons Derived from Different Synthetic Waste Polymers / F. Lian, B. Xing, L. Zhu // Journal of Colloid and Interface Science. – 2011. – Vol. 360. – P. 725 – 730.

10. Glushankova I. Applied Problems of Selecting Synthetic Polymer Waste as Raw Material for Production of Active Carbon / I. Glushankova., Y. Vasman // Nature Environment and Pollution Technology. – 2017. – Vol. 16, No. 4. – P. 1175 – 1181.

11. Viswanathan, B. Methods of Activation and Specific Applications of Carbon Materials / B. Viswanathan, P. I. Neel, T. K. Varadarajan. – Indian Institute of Technology Madras, 2009. – 160 p.

12. Effect of Combined Activation on the Preparation of High Porous Active Carbons from Granulated Post-Consumer Polyethyleneterephthalate / N. V. Sych, N. T. Kartel, N. N. Tsyba, V. V. Strelko // Applied Surface Science. – 2006. – Vol. 252, No. 23. – P. 8062 – 8066.

13. Новые технологии получения активных углей из реактопластов / В. М. Мухин, И. Д. Зубова, В. В. Гурьянов [и др.] // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2009. – Т. 9, № 2. – С. 191 – 195.

14. Пат. 2221745 Российская Федерация, МПК C01B 31/08. Способ получения дробленого активного угля / Е. А. Галкин, Н. Н. Алифанова, В. М. Мухин, И. Д. Зубова, Е. М. Великий ; заявитель и патентообладатель ОАО «Сорбент». – № 2002109540/15 ; заявл. 12.04.2002 ; опубл. 20.01.2004, Бюл. № 2.

15. Synthetic Carbons Activated with Phosphoric Acid III. Carbons Prepared in Air / A. M. Puziy, O. I. Poddubnaya, A. Martinez-Alonso [et al.] // Carbon. – 2003. – Vol. 41, No. 6. – P. 1181 – 1191.

16. Porous Carbon Obtained by Carbonization of PET Mixed with Basic Magnesium Carbonate: Pore Structure and Pore Creation Mechanism / J. Przepiorski, J. Karolczyk, K. Takeda [et al.] // Industrial & Engineering Chemistry Research. – 2009. – Vol. 48, No. 15. – P. 7110 – 7116.

17. Preparation and Characterization of High-Specific-Surface-Area Activated Carbons from K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>-Treated Waste Polyurethane / J. Hayashi, N. Yamamoto, T. Horikawa [et al.] // Journal of Colloid and Interface Science. – 2005. – Vol. 281, No. 2. – P. 437 – 443.

18. Ставицкая, С. С. Влияние некоторых модифицирующих добавок на структурные, сорбционные и каталитические свойства активных углей / С. С. Ставицкая, Н. В. Сыч // Журнал прикладной химии. – 2010. – Т. 83, № 11. – С. 1761 – 1769.

19. Сазанов, Ю. Н. Карбонизация полимеров / Ю. Н. Сазанов, А. В. Грибанов. – СПб. : Научные основы и технологии, 2013. – 296 с.

## References

1. Volkova A.V. *Rynok utilizatsii otkhodov* [Market for waste management], Moscow: INFRA, 2018, 87 p. (In Russ.)

2. Geyer R., Jambeck J.R., Lavender Law K. Production, Use, and Fate of all Plastics ever Made, *Science Advances*, 2017, vol. 3, no. 7, 5 p.



3. Shvarts O., Ebeling F.-V., Furt B., Panimatchenko A.D. [Ed.] *Pererabotka plastmass* [Processing of plastics], St. Petersburg: Professiya, 2005, 320 p. (In Russ.)
4. La Mantiya F. *Vtorichnaya pererabotka plastmass* [Recycling of plastics], St. Petersburg: Professiya, 2007, 400 p. (In Russ.)
5. Mikhaylin Yu.A. *Teplo, termo- i ognestoykost' polimernykh materialov* [Heat, thermo- and fire resistance of polymeric materials], St. Petersburg: Nauchnyye osnovy i tekhnologii, 2011, 416 p. (In Russ.)
6. Tatarintseva Ye.A., Karpenko A.V., Il'ina A.V. [Sorption material from secondary polyethylene rephthalate], *Vestnik Khar'kovskogo natsional'nogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta* [Bulletin of the Kharkov National Automobile and Highway University], 2011, no. 52, pp. 125-127. (In Russ., abstract in Eng.)
7. Mukhin V.M., Zubova I.D., Zubova I.N., Kurilkin A.A. *Sposob polucheniya aktivnogo uglya* [A method of producing activated carbon], Russian Federation, 2011, Pat. 2415808. (In Russ.)
8. Savrasova Yu.A., Bogdanovich N.I., Makarevich N.A., Beletskaya M.G. [Carbon adsorbents based on lignocellulosic materials], *Lesnoy zhurnal* [Forest Journal], 2012, no. 1 (325), pp. 107-112. (In Russ., abstract in Eng.)
9. Lian F., Xing B., Zhu L. Comparative Study on Composition, Structure, and Adsorption Behavior of Activated Carbons Derived from Different Synthetic Waste Polymers, *Journal of Colloid and Interface Science*, 2011, vol. 360, pp. 725-730.
10. Glushankova I., Vasman Y. Applied Problems of Selecting Synthetic Polymer Waste as Raw Material for Production of Active Carbon, *Nature Environment and Pollution Technology*, 2017, vol. 16, no. 4, pp. 1175-1181.
11. Viswanathan B., Neel P.I., Varadarajan T.K. *Methods of Activation and Specific Applications of Carbon Materials*, Indian Institute of Technology Madras, 2009, 160 p.
12. Sych N.V., Kartel N.T., Tsyba N.N., Strelko V.V. Effect of Combined Activation on the Preparation of High Porous Active Carbons from Granulated Post-Consumer Polyethyleneterephthalate, *Applied Surface Science*, 2006, vol. 252, no. 23, pp. 8062-8066.
13. Mukhin V.M., Zubova I.D., Gur'yanov V.V., Kurilkin A.A., Gostev V.S. [New technologies for the production of active carbons from thermosets], *Sorbtsionnyye i khromatograficheskiye protsessy* [Sorption and chromatographic processes], 2009, vol. 9, no. 2, pp. 191-195. (In Russ., abstract in Eng.)
14. Galkin Ye.A., Alifanova N.N., Mukhin V.M., Zubova I.D., Velikiy Ye.M. *Sposob polucheniya droblenogo aktivnogo uglya* [The method of obtaining crushed activated carbon], Russian Federation, 2004, Pat. 2221745. (In Russ.)
15. Puziy A.M., Poddubnaya O.I., Martinez-Alonso A., Suárez-García F., Tascón J.M.D. Synthetic Carbons Activated with Phosphoric Acid III. Carbons Prepared in Air, *Carbon*, 2003, vol. 41, no. 6, pp. 1181-1191.
16. Przepiorski J., Karolczyk J., Takeda K., Tsumura T., Toyoda M., Morawski A.W. Porous Carbon Obtained by Carbonization of PET Mixed with Basic Magnesium Carbonate: Pore Structure and Pore Creation Mechanism, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2009, vol. 48, no. 15, pp. 7110-7116.
17. Hayashi J., Yamamoto N., Horikawa T., Muroyama K., Gomes V.G. Preparation and Characterization of High-Specific-Surface-Area Activated Carbons from K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>-Treated Waste Polyurethane, *Journal of Colloid and Interface Science*, 2005, vol. 281, no. 2, pp. 437-443.
18. Stavitskaya S.S., Sych N.V. [Effect of some modifying additives on structural, sorption and catalytic properties of activated carbons], *Zhurnal prikladnoy khimii* [Journal of Applied Chemistry], 2010, vol. 83, no. 11, pp. 1761-1769. (In Russ.)

19. Sazanov Yu.N., Griбанov A.V. *Karbonizatsiya polimerov* [Carbonization of polymers], St. Petersburg: Nauchnyye osnovy i tekhnologii, 2013, 296 p. (In Russ.)

---

### **Thermochemical Utilization of Textolite Waste to Obtain Active Carbons with a Homogeneous Microporous Structure**

**I. S. Glushankova, A. S. Atanova**

*Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia*

**Keywords:** active carbons; isotherm of adsorption; low temperature pyrolysis; PCB waste; parameters of the porous structure; thermochemical activation; phenol.

**Abstract:** The parameters of the process of thermochemical utilization of textolite waste are determined to obtain homogeneous porous carbon sorbents for ecological purposes, including pyrolysis of crushed textolite waste with subsequent activation of the resulting carbonizate with potassium hydroxide. The influence of the conditions of activation of carbonizates (mass ratio of carbonizate: KOH, temperature, duration of activation) on the formation of a porous structure and sorption activity of the obtained samples of active carbons (ACs) was studied. It was found that the adsorption capacity of the obtained AC samples for phenol is 1.75 times higher compared to the AC grade AG-3 widely used in the practice of wastewater treatment.

---

© И. С. Глушанкова, А. С. Атанова, 2020