

УДК 620.22 – 022.532

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПОСТОБРАБОТКИ НА СОРБЦИОННУЮ  
СПОСОБНОСТЬ ВЫСОКОПОРИСТОГО УГЛЕРОДА НА ОСНОВЕ  
РЕГИОНАЛЬНЫХ С/Х ОТХОДОВ**

**Ксения Александровна Шурыкина**

магистрант

ksunyasmelaya@mail.ru

**Ирина Владимировна Буракова**

кандидат технических наук, доцент

iris\_tamb68@mail.ru

**Дмитрий Александрович Бадин**

магистрант

Badin.dima97@gmail.com

**Татьяна Сергеевна Кузнецова**

кандидат технических наук, старший преподаватель

kuznetsova-t-s@yandex.ru

**Ананьева Оксана Альбертовна**

аспирант

oksana.a9993471@gmail.com

**Александр Евгеньевич Бураков**

Кандидат технических наук, доцент

m-alex1983@yandex.ru

Тамбовский государственный технический университет

г. Тамбов, Россия

**Аннотация.** В работе методом гидротермальной карбонизации (ГТК) синтезирован активированный биоуголь на основе растительных отходов рапса.

Изучена кинетика жидкофазной адсорбции биоугля по отношению к молекулам органического красителя – метиленового синего. Адсорбционная емкость ГТК материала составила –1455 мг/г, для ГТК материала после дополнительной карбонизации – 1742 мг/г, для карбонизированного ГТК материала после активации 1:6 – 2864 мг/г. Время сорбции составило 10 мин.

**Ключевые слова:** углеродные сорбенты, биоугли, рапс, гидротермальная карбонизация, кинетика сорбции.

Адсорбция широко применяется в промышленности для очистки сточных вод от различных загрязнений, так как она позволяет достичь высокой степени очистки воды от токсичных веществ. Кроме того, этот метод является относительно дешевым и экономически эффективным. Важно отметить, что выбор адсорбента и оптимизация условий процесса играют решающую роль в эффективности очистки воды. Поэтому разработка новых и усовершенствование существующих методов адсорбции является актуальной задачей в области защиты окружающей среды от загрязнения воды.

Разработка сорбционных материалов на основе растительных отходов представляет собой перспективное направление в области очистки воды и удаления загрязнений. Растительные отходы, такие как подсолнечник, соевые, рапс и другие, обладают высокой поверхностной активностью благодаря своей микроструктуре и химическому составу. Эти материалы могут быть использованы в качестве эффективных сорбентов для органических загрязнителей, тяжелых металлов и радиоактивных веществ благодаря своей способности притягивать и удерживать различные вещества на своей поверхности. При этом они обладают преимуществом биоразлагаемости и экологической безопасности, что делает их более привлекательными для использования в сравнении с некоторыми синтетическими сорбентами. [1]

Авторы разработали технологию получения нанопористых активированных биоуглей на основе рапса. Способ получения сорбентов заключается в гидротермальной карбонизации растительных отходов из рапса с последующей карбонизацией в инертной среде аргона и щелочной активацией КОН (соотношение 1:6). Таким образом, получены образцы: исходный рапс после ГТК, ГТК/К и ГТК/К/КОН (соотношение 1:6).

По адсорбции азота были определены параметры пористого пространства нанопористого угля. Результаты приведены табл. 1. Для активированного материала размер пор составляет 0,8-1,2 нм.

Таблица 1

Величина удельной поверхности и объем пор.

Образец	Параметры пористой структуры*		
	$S_{БЭТ}$ , м <sup>2</sup> /г	$S_{DFT}$ , м <sup>2</sup> /г	$V_{DFT}$ , см <sup>3</sup> /г
ГТК	4,321	3,393	0,002
ГТК/К	1,629	3,607	0,002
ГТК/К/КОН	3193,770	1927,473	1,664

\*  $S_{БЭТ}$  – удельная поверхность по БЭТ, м<sup>2</sup>/г;  $S_{DFT}$  – удельная поверхность по DFT, м<sup>2</sup>/г;  $V_{DFT}$  – удельный объем пор по DFT, см<sup>3</sup>/г.

Для оценки сорбционной способности разработанных материалов были проведены статические сорбционные исследования в ограниченном объеме на модельных растворах красителя метиленового синего. Для этого брали 0,01 г синтезированного материала, помещали в пробирку с модельным раствором (начальная концентрация 1530 мг/л) объемом 30 мл. Время контакта составляло 5, 10, 15, 30 и 60 мин. В результате проведенных исследований были получены кинетические зависимости адсорбции, представленные на рис. 1.

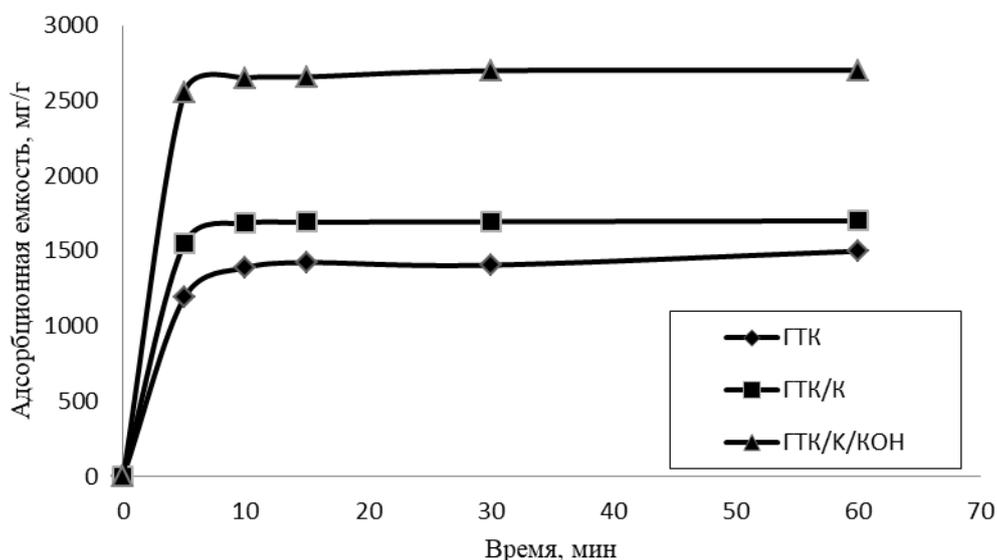


Рисунок 1 – Кинетика адсорбции метиленового синего на синтезированных материалах.

Анализируя полученные данные, видно, что активированный биоуголь со степенью активации 1:6 имеет наиболее высокую удельную поверхность по

БЭТ в сравнении с не активированными материалами и проявляет более высокую сорбционную способность по метиленовому синему. В первые 10 мин процесса для всех образцов наблюдается стремительный характер поглощения, что связано с заполнением макро- и мезопор материалов. К 15 мин извлечение постепенно выходит на равновесие, дальнейшее увеличение времени не приводит к росту сорбционной емкости. Согласно кинетическим исследованиям, экспериментальная сорбционная емкость материалов составила: ГТК –1455 мг/г, для ГТК/К – 1742 мг/г, для карбонизированного ГТК/К/КОН (соотношение 1:6) – 2864 мг/г.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-13-20074, <https://rscf.ru/project/22-13-20074>.*

#### **Список литературы:**

1. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Тамбовской области в 2020 году. URL: [https://opr.tmbreg.ru/files/Library/Docs/Report/env\\_/es2020.pdf](https://opr.tmbreg.ru/files/Library/Docs/Report/env_/es2020.pdf) (дата обращения 01.04.2024)

**UDC 620.22 – 022.532**

### **ASSESSMENT OF THE EFFECT OF POST-TREATMENT ON THE SORPTION CAPACITY OF HIGHLY POROUS CARBON BASED ON REGIONAL AGRICULTURAL WASTE**

**Ksenia A. Shurykina**

master's student

[ksunyasmlaya@mail.ru](mailto:ksunyasmlaya@mail.ru)

**Irina V. Burakova**

candidate of technical sciences, associate professor

[iris\\_tamb68@mail.ru](mailto:iris_tamb68@mail.ru)

**Dmitry Alexandrovich Badin**

master's student

Badin.dima97@gmail.com

**Tatyana S. Kuznetsova**

candidate of technical sciences, senior lecturer

kuznetsova-t-s@yandex.ru

**Oksana A. Ananyeva**

graduate student

oksana.a9993471@gmail.com

**Alexander E. Burakov**

candidate of technical sciences, associate professor

m-alex1983@yandex.ru

Tambov State Technical University

Tambov, Russia

**Abstract.** In this work, activated biocarbon based on rapeseed plant waste was synthesized by the method of hydrothermal carbonization (HTC). The kinetics of liquid-phase adsorption of biochar with respect to molecules of an organic dye, methylene blue, has been studied. The adsorption capacity of the HTC material was - 1455 mg/g, for HTC material after additional carbonation – 1742 mg/g, for carbonized HTC material after activation 1:6 – 2864 mg/g. The sorption time was 10 minutes.

**Key words:** carbon sorbents, biochar, rapeseed, hydrothermal carbonation, sorption kinetics.

Статья поступила в редакцию 03.05.2024; одобрена после рецензирования 13.06.2024; принята к публикации 27.06.2024.

The article was submitted 03.05.2024; approved after reviewing 13.06.2024; accepted for publication 27.06.2024.