

*Д. А. Бадин, Т. С. Кузнецова**

ПОЛУЧЕНИЕ НАНОКОМПОЗИЦИОННОГО СОРБЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ БИОУГЛЯ, МОДИФИЦИРОВАННОГО ОКСИДОМ ЖЕЛЕЗА

Загрязнение водных сред ионами тяжелых металлов и различного органическими загрязнителями является острой экологической проблемой. Существующие методы очистки (мембранное разделение, ионный обмен, химическое осаждение) часто дороги, энергозатратны или малоэффективны при низких концентрациях загрязнителей. Адсорбция считается перспективным методом благодаря экономичности, простоте и возможности использования возобновляемого сырья [1].

Особый интерес вызывают сорбенты на основе отходов сельского хозяйства. Такие отходы являются возобновляемыми, имеют низкую себестоимость, не токсичны. Использование с/х отходов уменьшает выбросы вредных веществ в атмосферу при гниении или сжигании. Шрот подсолнечника – доступное растительное сырье, образующееся при производстве растительного масла. Он содержит лигнин и целлюлозу, что делает его перспективным сырьем для получения биоугля методом гидротермальной карбонизации. Одним из путей улучшения свойств биомассы является модифицирование магнитными частицами оксида железа, что в перспективе повысит сорбционную способность и обеспечит простое отделение материала внешним магнитным полем [2]. Разработка эффективных магнитных сорбентов на основе вторичного растительного сырья является актуальной задачей очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов.

Авторами разработан сорбционный материал на основе биоугля из шрота подсолнечника, модифицированного оксидом железа. Синтез включал предварительное смешение биомассы с $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (соотношение 100:1), осаждение гидроксида железа 25 %-ным раствором аммиака

* Работа выполнена под руководством кандидата технических наук, доцента кафедры «Техника и технологии производства нанопродуктов» ФГБОУ ВО «ТГТУ» И. В. Бураковой.

и гидротермальную карбонизацию (180 °С, 12 ч) в автоклаве, высокотемпературную карбонизацию при 150, 500 и 750 °С в среде аргона, а также активацию КОН (1:6 по массе) при 400 и 750 °С в среде аргона. Далее биоуголь промывали дистиллированной водой до нейтрального рН.

В работе были изучены физико-химические свойства углеродного нанокompозита. Элементный анализ позволил установить количественное содержание основных элементов.

1. Результаты элементного анализа активированного биоугля из шрота подсолнечника, модифицированного оксидом железа

Элемент	С К	О К	Na К	Mg К	Al К	Si К	Р К	S К	К К	Ca К	Fe К	Итого
Масс. %	72,30	15,03	0,04	1,90	0,07	0,15	4,91	0,13	1,48	1,73	2,26	100,00
Атом. %	82,11	12,81	0,03	1,07	0,04	0,07	2,16	0,06	0,52	0,59	0,55	

Элементный анализ (табл. 1) показал, что основу материала составляет углерод (72,30 масс. %). Присутствие железа (2,26 масс. %) подтверждает успешное модифицирование биоугля частицами оксида железа. Также обнаружены калий, кальций, магний и фосфор, которые могут входить в состав минеральных компонентов исходного растительного сырья. Морфология и структура поверхности исследованы с помощью сканирующего электронного микроскопа TESCAN Vega III (Чехия), а также проведено картирование распределения химических элементов. На рисунке 1 представлено СЭМ-изображение активированного биоугля из шрота подсолнечника, модифицированного оксидом железа. Материал имеет шероховатую, пористую поверхность с включениями сферических наночастиц железа.

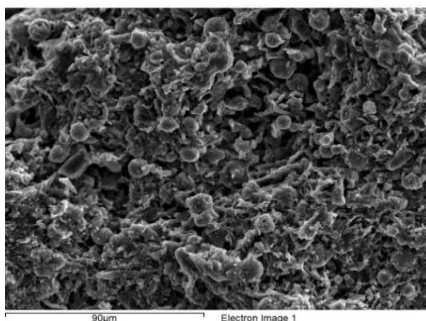


Рис. 1. СЭМ-изображение активированного биоугля из шрота подсолнечника, модифицированного оксидом железа

Результаты картирования распределения химических элементов (рис. 2) показывают, что железо равномерно распределено в углеродной биомассе, что свидетельствует об эффективности предложенного метода модифицирования.

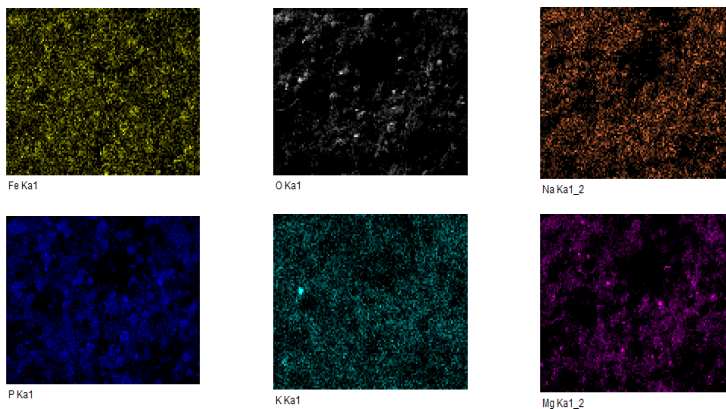


Рис. 2. Картирование распределения химических элементов в активированном биоугле, модифицированного оксидом железа

Для получения ИК-спектров исходных компонентов и образцов нанокompозита использовали ИК-Фурье-спектрометр Jasco FT/IR 6700 (Jasco International Co., Ltd., Япония). ИК-спектроскопия (рис. 3) подтвердила наличие функциональных групп О–Н (3400 см^{-1}), С–Н ($2925, 2855\text{ см}^{-1}$), С=О (1655 см^{-1}), С–О ($1059, 1034\text{ см}^{-1}$). После карбонизации и активации интенсивность пиков снижается, однако полного удаления групп не происходит, что важно для химической сорбции.

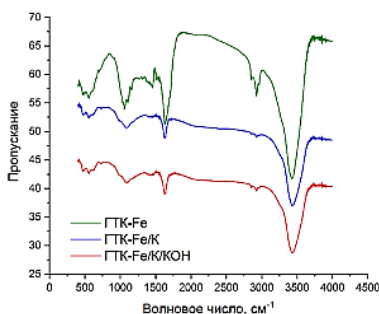


Рис. 3. ИК-спектры исходного, карбонизованного и активированного образцов, модифицированных оксидом железа

В работе проводилась оценка сорбционной способности активированного биоугля на модельном растворе синтетического красителя – метиленовый синий (МС). Условия эксперимента: вес сорбента – 0,01 г, объем раствора – 30 мл, концентрация раствора – 1500 мг/л, время сорбции – 2; 5; 10; 15; 30; 45; 60 мин. Растворы перемешивались при 100 об/мин и комнатной температуре на ротаторе Multi Bio RS-24 (Biosan) и затем фильтровали.

Оптическую плотность раствора синтетического красителя определяли на спектрофотометре ПЭ-5400 В при длине волны $\lambda(\text{МС}) = 665 \text{ нм}$.

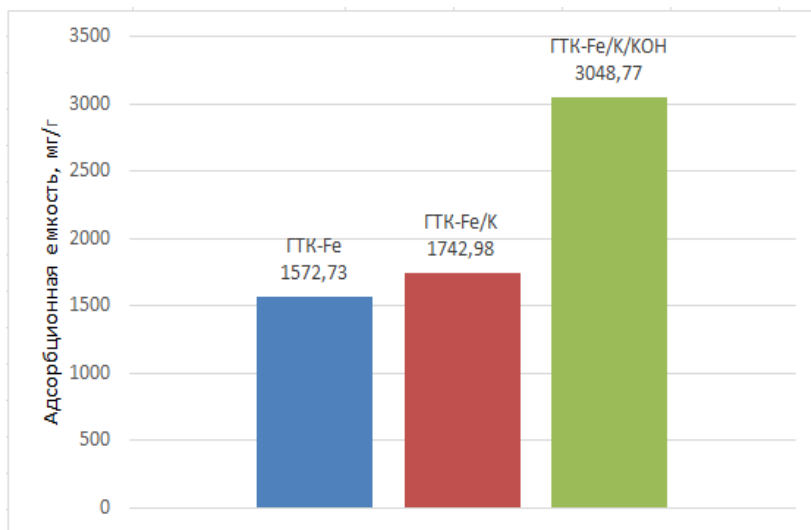


Рис. 4. Адсорбционная емкость активированного биоугля из шрота подсолнечника, модифицированного оксидом железа, по молекулам органического красителя метиленового синего

Таким образом, разработанный сорбент на основе биоугля из шрота подсолнечника, модифицированный оксидом железа, демонстрирует высокую сорбционную активность по отношению к органическому красителю метиленовому синему – 3048 мг/г. Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности использования отходов переработки подсолнечника для создания бюджетных и эффективных сорбционных материалов.

Работа была проведена на базе Центра коллективного пользования «Получение и применение многофункциональных наноматериалов» ФГБОУ ВО «ГТТУ».

Список литературы

1. Sorption kinetics of organic dyes methylene blue and malachite green on highly porous carbon material / A. H. K. Kadum, I. V. Burakova, E. S. Mkrtychyan, et al. // Journal of Advanced Materials and Technologies. – 2023. – V. 8, No. 2. – P. 130 – 140.
2. Wang, M. Magnetically responsive nanostructures with tunable optical properties / M. Wang, Y. Yin // Journal of the American Chemical Society. – 2016. – V. 138, No. 20. – P. 6315 – 6323.

*Кафедра «Техника и технологии производства нанопродуктов»
ФГБОУ ВО «ТГТУ»*