

Э. С. Мкртчян, Е. А. Нескоромная, О. А. Ананьева, Н. А. Ревякина*

**КОМПОЗИЦИОННЫЙ АЭРОГЕЛЬ НА ОСНОВЕ
ОКСИДА ГРАФЕНА, МОДИФИЦИРОВАННОГО
ПОЛИАНИЛИНОМ, ДЛЯ ЖИДКОФАЗНОЙ СОРБЦИИ
ТОКСИЧНЫХ ПОЛЛЮТАНТОВ**

Вода является одним из важнейших ресурсов на Земле для всех живых организмов. Сточные воды различных производств представляют большую угрозу окружающей среде вследствие присутствия в их составе токсичных поллютантов (органической и неорганической природы). Удаление загрязняющих веществ – актуальная задача, требующая безотлагательного решения.

Существуют различные методы очистки водных объектов, однако наиболее эффективным среди всех является адсорбция, позволяющая удалять вредные примеси практически до нулевых концентраций. Данный метод является не только простым в исполнении, но и экономически целесообразным.

Самыми распространенным природными сорбентами являются активированный уголь и глина (глинистые минералы). Активированный уголь (АУ) используется для адсорбции красителей и других органических соединений в воде [1]. Его получают из материалов естественного происхождения, таких как древесный уголь, скорлупа кокосового ореха, волокно бамбука, рисовая шелуха, апельсиновая корка, скорлупа грецкого ореха и др. [1]. Традиционным адсорбентом для извлечения тяжелых металлов являются глинистые материалы (сепиолит, каолинит, монтмориллонит, смектит, бентонит и цеолит) [2, 3]. Преимуществом использования АУ и глины является дешевизна и простота использования; недостатком – малая эффективность и длительное время процесса очистки [4].

Несмотря на то, что АУ и глинистые материалы нашли широкое применение в очистке водных объектов, их адсорбционные показатели являются недостаточными. Вследствие этого авторами статьи был синтезирован аэрогель на основе графена, модифицированного полианилином.

* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доц. ФГБОУ ВО «ПГТУ» А. Е. Буракова.

Синтез графенового аэрогеля состоит из нескольких стадий. На первом этапе синтеза проводили смешение дистиллированной воды с анилином гидрохлоридом и концентрированной соляной кислотой. Параллельно был подготовлен водный раствор персульфата аммония, который добавляли в смесь с растворенным анилином и перемешивали. Следом была добавлена суспензия оксида графена. Полученную смесь промывали водой и водным раствором аммиака для получения нейтрального значения pH. Итогом первого этапа синтеза является получения гидрогеля графена, поверхность которого модифицирована полианилином.

Вторым этапом синтеза является замещение воды в структуре гидрогеля изопропиловым спиртом. Для этого в емкость с изопропиловым спиртом помещали карбонат калия (K_2CO_3) и опускали материал. Результатом взаимодействия K_2CO_3 и H_2O является образование устойчивого гидрата, а на место воды приходит спирт.

Заключительным этапом синтеза аэрогеля является сверхкритическая обработка полученного алкогеля. Для этого в реактор высокого давления заливали изопропиловый спирт, опускали внутрь материал и создали условия для перехода изопропилового спирта в сверхкритический флюид ($T \geq 235,3$ °C и $p \geq 4,76$ МПа).

В результате синтеза был получен аэрогель графена, поверхность которого модифицирована полианилином.

На рисунке 1 представлено СЭМ изображение поверхности полученного материала.

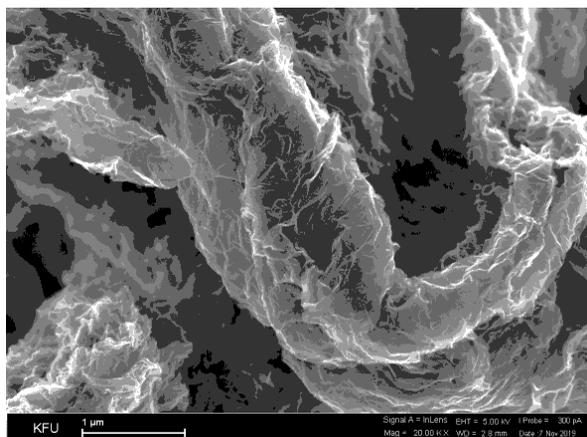


Рис. 1. СЭМ изображение полученного графенового аэрогеля, модифицированного полианилином (масштаб: 1 мкм)

Для проверки сорбционных характеристик синтезированного графенового аэрогеля были использованы растворы метиленового синего (МС), метилового оранжевого (МО) и Zn^{2+} с начальными концентрациями загрязнителя 150 мг/л, 150 мг/л и 100 мг/л соответственно.

На кинетических кривых (рис. 2 – 4) показана эффективность извлечения токсичных поллютантов из водных растворов, используя традиционные сорбенты (АУ, глина), суспензию оксида графена и полученный графеновый аэрогель.

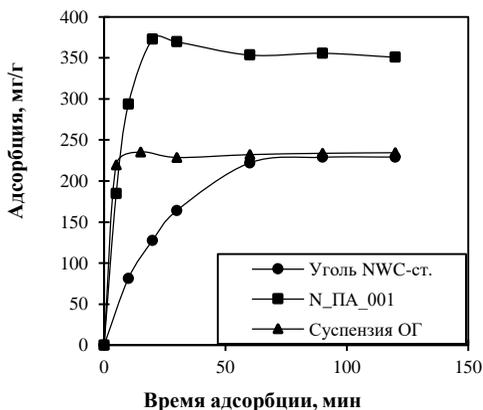


Рис. 2. Кинетическая зависимость сорбции молекул МО

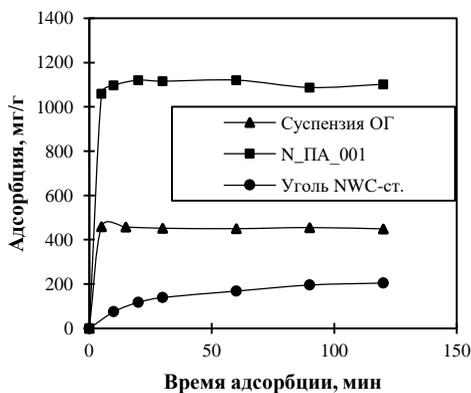


Рис. 3. Кинетическая зависимость сорбции молекул МС

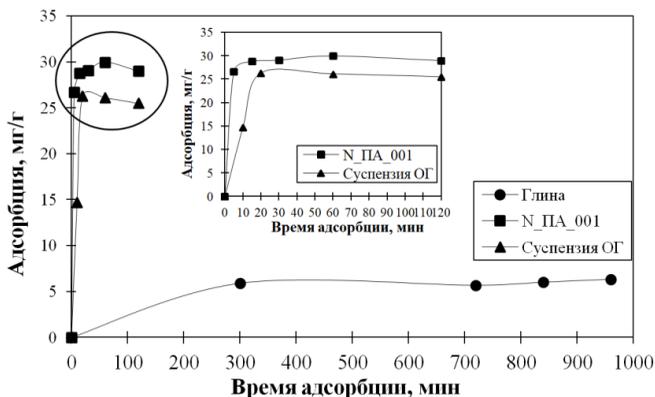


Рис. 4. Кинетическая зависимость сорбции ионов Zn^{2+}

Анализируя кинетические зависимости, полученные в ходе адсорбционных исследований (рис. 2 – 4), можно отметить, что полученный композиционный аэрогель является универсальным высокоэффективным сорбентом, позволяющим извлекать загрязнители как органической, так и неорганической природы за короткие промежутки времени. Установлено, что адсорбционная емкость при извлечении молекул МО составляет ~ 369 мг/г при начальной концентрации 150 мг/л; для молекул МС ~ 1120 мг/г при начальной концентрации 150 мг/л; для ионов Zn^{2+} ~ 30 мг/г при начальной концентрации 100 мг/л.

Список литературы

1. Natural polysaccharides-modified graphene oxide for adsorption of organic dyes from aqueous solutions / Y. Qi, M. Yang, W. Xu et al. // Journal of Colloid and Interface Science. 486. – 2017. – P. 84 – 96.
2. Adsorption of heavy metals from aqueous media on graphene-based nanomaterials / E. Galunin, I. Burakova, E. Neskornomnaya et al. // AIP Conference Proceedings. 2041. – 2018. – 020007.
3. Removal of hazardous dyes-BR 12 and methyl orange using graphene oxide as an adsorbent from aqueous phase / D. Robati, B. Mirza, M. Rajabi et al. // Chemical Engineering Journal. 284. – 2015. – P. 687 – 697.
4. A review on modification methods to cellulose-based adsorbents to improve adsorption capacity / S. Hokkanen, A. Bhatnagar, M. Sillanpää // Water Research. 91. – 2016. – P. 156 – 173.

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