

*Т. С. Кузнецова, А. Е. Бураков, Т. В. Пасько,  
И. В. Буракова, Я. И. Сухарева\**

**КОМПОЗИТНЫЕ ГРАФЕНОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ  
ДЛЯ СОРБЦИОННОЙ ОЧИСТКИ ВОДНЫХ СРЕД  
ОТ ПОЛЛЮТАНТОВ ОРГАНИЧЕСКОЙ  
И НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ**

Развитие промышленного производства является одним из факторов негативного влияния на экологическое состояние регионов. На текущий момент человечество знает о множестве методов по удалению вредных поллютантов органической и неорганической химической природы из загрязненных водных сред

Основными загрязнителями, попадающими в водные экосистемы, являются синтетические красители и тяжелые металлы. Среди различных отраслей промышленности, которые при производстве товаров народного потребления сбрасывают токсичные стоки, в которых содержатся различные типы красителей, действующие как канцерогены и мутагены на живые организмы, наибольший вред оказывают красильная и текстильная промышленность. Загрязнение водных сред тяжелыми металлами связано с горно-металлургической, химической, машиностроительной промышленностью. Опасность нахождения тяжелых металлов в гидросистеме определяется тем, что скопление тяжелых металлов в организме человека способно также оказывать тератогенное, мутагенное и канцерогенное воздействие.

Адсорбционные способы являются наиболее эффективными и экономически рентабельными методами извлечения рассмотренных выше загрязнителей. Недостатками применяемых сорбционных материалов, используемых для извлечения поллютантов, зачастую являются недостаточная эффективность либо селективность, отсутствие возможности регенерации. В настоящее время в качестве эффективных сорбентов рассматриваются различные формы, а также композитные материалы на основе графеновых структур.

Оксид графена (ОГ) и его восстановленная форма (ВОГ), а также углеродные нанотрубки (УНТ) благодаря таким свойствам, как развитая удельная поверхность, наличие функциональных групп, способность к модификации, могут рассматриваться в качестве сорбентов [1, 2].

---

\* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доцента ФГБОУ ВО «ТГТУ» Т. В. Пасько.

Адсорбционные свойства графеновых наноматериалов по отношению к тяжелым металлам могут быть объяснены рядом факторов:

- наличием функциональных кислородосодержащих групп (молекулы кислорода имеют сродство к ионам металлов большее, чем углеродный каркас);
- наличием р-электронов на поверхности листов графена (взаимодействие согласно электронной теории химических соединений Льюиса);
- модифицированием N-содержащими группами (например,  $-\text{CN}$ ,  $-\text{NH}_2$  и  $-\text{NH}-$ ) (обеспечение поверхности активными центрами для комплексообразования с катионами тяжелых металлов);

- наличием высокой удельной поверхности и пористости.

По отношению к красителям адсорбционные свойства графеновых материалов могут быть так же объяснены рядом факторов:

- наличием функциональных групп:  $-\text{OH}$ ,  $-\text{C}=\text{O}$  и  $-\text{COOH}$  (образование водородных связей и  $\pi-\pi$  взаимодействия между ароматическими кольцами красителя и бензолными кольцами графеновых структур);
- наличием электростатического взаимодействия между поверхностью углеродных структур и молекулами красителя;
- наличием высокой пористости, большой площади поверхности;
- модифицированием поверхности за счет формирования функциональных групп в результате обработки  $\text{HCl}$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{NaOH}$  или добавления в состав других компонентов позволяют усиливать взаимодействие красителя с активными центрами сорбентов.

Введение модифицирующего агента при синтезе композитного материала позволяет улучшить свойства графеновых структур, придать ему новые свойства.

Авторами работы были синтезированы композитные графеновые материалы, где в роли структурообразователя выступали УНТ, а модифицирующим агентом являлся полианилин.

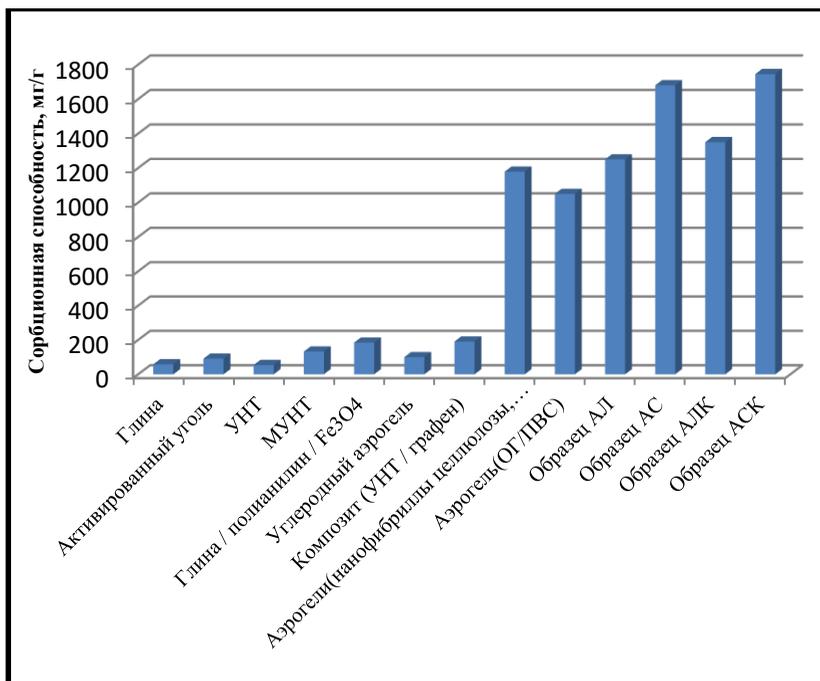
Для синтеза исходного гидрогеля были использованы водные пасты полианилина и окисленных УНТ, оксид графена (в виде водной дисперсии с содержанием сухого вещества 1%), аскорбиновая кислота. Восстановление оксида графена проводили в присутствии полианилина и УНТ. Подробная методика получения представлена в работе [3].

Для получения нанокомпозиционных материалов в сухом виде после получения гидрогеля необходимо удалить растворитель из его пор. Реализовать данный процесс можно несколькими способами: провести сушку в замороженном виде (лиофильную сушку) (образец АЛ),

или же удалить жидкую фазу в процессе сверхкритической сушки (образец АС).

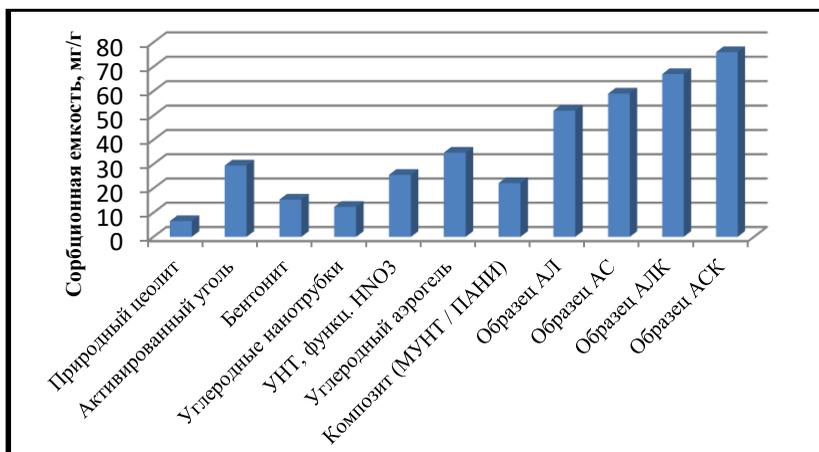
Для последующей карбонизации этих материалов соответствующие предшественники подвергались нагреву до 800°C в течение часа в инертной среде (образцы АЛК и АСК).

Ниже представлены сравнительные диаграммы сорбционных емкостей полученных материалов по метиленовому синему красителю (рис. 1) и по свинцу (рис. 2) в сравнении с литературными данными [3, 4].



**Рис. 1. Сорбционные емкости материалов на примере удаления метиленового синего красителя (начальная концентрация 1500 мг/л, масса сорбента 0,01 г, объем пробы 30 мл)**

Таким образом, полученные материалы обладают высокой сорбционной способностью по отношению к поллютантам органической и неорганической природы. Их постобработка путем карбонизации также повышает эффективность извлечения целевых загрязнителей.



**Рис. 2. Сорбционные емкости материалов на примере извлечения ионов свинца (начальная концентрация 100 мг/л, масса сорбента 0,01 г, объем пробы 30 мл)**

### Список литературы

1. Ansari, R., Mosayebzadeh, Z. Application of Polyaniline as an Efficient and Novel Adsorbent for Azodyes Removal from Textile Waste Waters. Chem. Pap., 2011, 65, 1-8.
2. Tara, N., Siddiqui, S., Rathi, G., Asiri, M. Nano-engineered Adsorbent for Removal of Dyes from Water: A review. Current Analytical Chemistry. – 2019, 15.
3. Mkrтчyan E. S., Neskoromnaya E. A., Burakova I. V., Ananyeva O. A., Revyakina N. A., Babkin A. V., Kuznetsova T. S., Kurnosov D. A., Burakov A. E. Comparative Analysis of the Adsorption Kinetics of the Methylene Blue Dye on Graphene Aerogel and Activated Coconut Carbon // Advanced materials and technologies. 2020. No. 4(20). 21-28.
4. Технология получения нанокompозитов для сорбционной очистки водных сред / И. В. Буракова, Т. В. Пасько, А. Е. Бураков, А. В. Мележик, Э. С. Мкртчян, А. В. Бабкин, Е. А. Нескоромная, А. Г. Ткачев // Перспективные материалы. – 2021. – № 9. – С. 68 – 78.

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