

УДК 538.955

**СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА НАНОКОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ НАНОЧАСТИЦ МАГНЕТИТА  
И ВОССТАНОВЛЕННОГО ОКСИДА ГРАФЕНА**М.Р. Галстенкова, Ю.Р. Мухортова

Научный руководитель: профессор, д.т.н. Р.А. Сурменев  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050  
E-mail: [mrg3@tpu.ru](mailto:mrg3@tpu.ru)

**SORPTION PROPERTIES OF THE NANOCOMPOSITE COMPOSITION MAGNETITE  
AND REDUCED GRAPHENE OXIDE**M.R. Galstenkova, Yu.R. Mukhortova

Scientific Supervisor: Prof., Dr. R.A. Surmenev  
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050  
E-mail: [mrg3@tpu.ru](mailto:mrg3@tpu.ru)

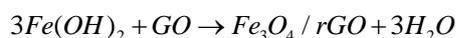
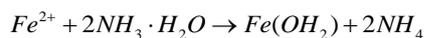
***Abstract.** This paper presents a technique for obtaining a nanocomposite consisting of magnetite nanoparticles and flakes of reduced graphene oxide (rGO). This nanocomposite has great prospects for use in biomedical applications and as a sorbent for environmental protection. The introduction of magnetic properties in graphene or rGO will combine their high adsorption capacity and the convenience of separation of magnetic materials. Analysis of the magnetic properties of nanoparticles shows the potential application of the magnetic field for the study of sorption processes.*

**Введение.** Для жизнеобеспечения любого организма необходим такой ресурс, как вода. Во многих регионах Земли потребление воды затруднено наличием в грунтовых водах различных примесей. Ситуацию усугубляет и наличие множества промышленных предприятий, так как сточные воды содержат большое количество потенциально токсичных элементов. К наиболее распространенным загрязнителям относятся: мышьяк, фтор, кадмий, медь, никель, свинец, цинк, хром и кобальт [1]. Решением данной проблемы может послужить сорбент, способный очистить воду от указанных выше элементов.

В данной работе в качестве перспективного сорбента исследован наноккомпозит на основе наночастиц магнетита и восстановленного оксида графена (М-ВОГ). Магнетит  $Fe_3O_4$  обладает высокими магнитными свойствами, высокой сорбционной способностью и стабильностью. Магнитные свойства позволяют использовать метод магнитной сепарации сорбента для его последующего восстановления и повторного использования [2]. Восстановленный оксид графена также является хорошим сорбентом, за счет большого количества поверхностных дефектов и наличия кислородсодержащих функциональных групп. Большая удельная площадь поверхности ( $\sim 2630 \text{ м}^2 \text{ г}^{-1}$ ) восстановленного оксида графена (ВОГ) и наноразмерные частицы магнетита, являются важными факторами для эффективности композита [3].

**Экспериментальная часть.** Образцы наноккомпозита были получены в результате одностадийного синтеза [4], процентное соотношение для компонентов составляет 82% магнетита и 18% ВОГ, что

обеспечивает равномерное распределение наночастиц магнетита по поверхности ВОГ. Синтез нанокompозита проходил по следующей реакции:



Затем нанокompозит был собран с помощью магнита, промыт водой и высушен лиофильной сушкой (Labconco FreeZone 1 Liter Benchtop Freeze Dry System) в течение 2 дней при температуре  $-50^\circ C$ .

Магнитные свойства нанокompозита были исследованы на импульсном магнитометре для определения зависимости намагниченности образцов при  $T=300 K$  в магнитных полях до  $6,5 kЭ$  (рис. 1). Определены следующие магнитные характеристики нанокompозита: намагниченность насыщения  $M_{нас}=74,4 \pm 2,2 \text{ Гс} \cdot \text{см}^3/\text{г}$ , остаточная намагниченность  $M_{ост}=2,8 \pm 0,2 \text{ Гс} \cdot \text{см}^3/\text{г}$  и коэрцитивная сила  $H_k=37 \pm 2 \text{ Э}$ . Из полученных данных наблюдается ферримагнитное поведение наночастиц магнетита в составе нанокompозита М-ВОГ.

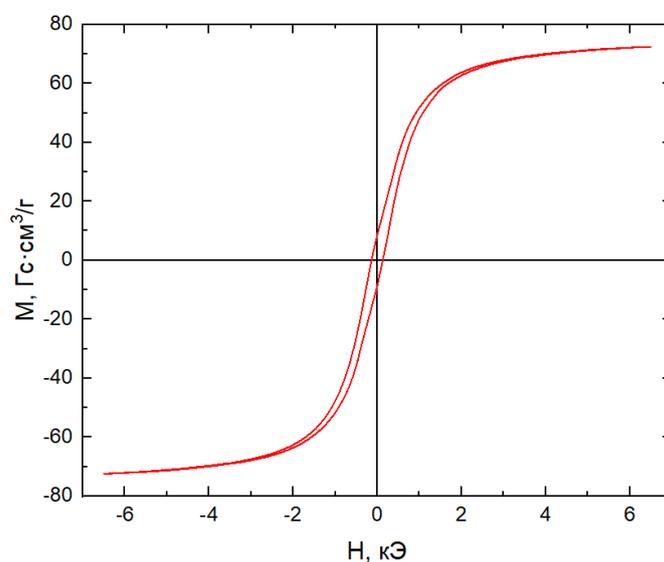


Рис. 1. Петля гистерезиса для нанокompозита М-ВОГ

Для установления наноразмерности композита были получены снимки с помощью сканирующего электронного микроскопа. СЭМ-изображение (рис. 2) показывает, что магнитные наночастицы  $Fe_3O_4$  равномерно распределены по поверхности ВОГ. Средний диаметр наночастиц составляет  $31,1 \pm 7,9 \text{ нм}$ .

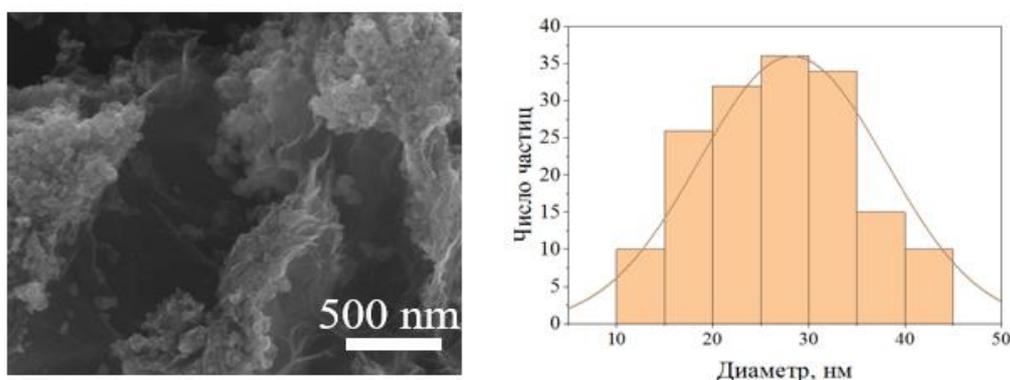


Рис. 2. СЭМ-изображение нанокompозита М-ВОГ и распределение наночастиц магнетита по размерам

**Результаты.** В результате работы были определены магнитные свойства нанокompозита М-ВОГ. В работе [3] используется постоянное магнитное поле  $\sim 0,3$  Тл для железосодержащего нанокompозита при реализации метода магнитной сепарации при отделении сорбента из воды. Переменное магнитное поле способствует увеличению эффективности взаимодействия загрязнителя и сорбента, что в результате обеспечивает более высокие значения сорбционной емкости [5]. Так, наночастицы магнетита в определенном интервале размеров, проявляют ферромагнитные свойства, при этом использование внешнего магнитного поля будет обеспечивать изменение ориентации магнитного момента наночастиц.

**Заключение.** В результате работы был получен нанокompозит М-ВОГ, исследована его морфология, магнитные и сорбционные свойства. Нанокompозит имеет большой потенциал для применения в качестве сорбента. Развитие работы заключается в определении количественного изменения скорости сорбции в зависимости от наличия или отсутствия внешнего переменного магнитного поля.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФ (проект 22-13-20043).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Suo L. et al. Silica-coated magnetic graphene oxide nanocomposite based magnetic solid phase extraction of trace amounts of heavy metals in water samples prior to determination by inductively coupled plasma mass spectrometry // *Microchemical Journal*. – 2019. – V. 149. – P. 104039.
2. Reddy L.H. et al. Magnetic nanoparticles: design and characterization, toxicity and biocompatibility, pharmaceutical and biomedical applications // *Chemical reviews*. – 2012. – V. 112., №. 11. – P. 5818-5878.
3. Minitha C.R., Martina Susan Arachy M., Rajendra Kumar R. T. Influence of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles decoration on dye adsorption and magnetic separation properties of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/rGO nanocomposites // *Separation Science and Technology*. – 2018. – V. 53., №. 14. – P. 2159-2169.
4. Pryadko A.S. et al. Comprehensive Study on the Reinforcement of Electrospun PHB Scaffolds with Composite Magnetic Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-rGO Fillers: Structure, Physico-Mechanical Properties, and Piezoelectric Response // *ACS omega*. – 2022. – V. 7., №. 45. – P. 41392-41411.
5. Aigbe U.O. et al. Removal of fluoride ions using a polypyrrole magnetic nanocomposite influenced by a rotating magnetic field // *RSC advances*. – 2020. – V. 10., №. 1. – P. 595-609.