

УДК 620.22

**Исследование сорбции мышьяка на нанокompозите $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{BOГ}$
в динамическом режиме**

М.Р. Галстенкова, А. Прядко

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

FIXED-BED STUDY OF ARSENIC ADSORPTION ON NANOCOMPOSITE $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{rGO}$

M.R. Galstenkova, A. Pryadko

Scientific Supervisor: Prof., Dr. R.A. Surmenev
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: mrg3@tpu.ru

Abstract. *New composite materials have the ability to combine a number of useful properties, making it possible for the same material to be used in a variety of applications. One such material is a nanocomposite based on magnetite nanoparticles and reduced graphene oxide. This material has great potential for application in many industries, including purification of water from heavy metals, dyes, fluorine and other harmful substances. The problem of water purification from arsenic is an important one because arsenic causes serious damage when it enters the body. The aim of this work is to prepare and investigate a nanocomposite with a high sorption capacity in dynamic mode.*

Key words: *nanocomposite, magnetite nanoparticles, reduced graphene oxide, arsenic adsorption.*

Введение

Нанокompозит на основе магнетита и восстановленного оксида графена (BOГ) позволяет объединять в себе ряд полезных свойств, что делает возможным использование одного и того же материала в различных областях жизнедеятельности. Один из таких материалов – нанокompозит на основе наночастиц магнетита и восстановленного оксида графена. Этот материал имеет большой потенциал для применения во многих отраслях, включая очистку воды от тяжелых металлов, красителей, фтора и других вредных веществ [1]. Нанокompозит на основе магнетита и BOГ за счет магнитных свойств магнетита позволяет исключить многоступенчатые этапы подготовки адсорбента, упрощая их до магнитной сепарации. И именно магнетит выступает адсорбентом мышьяка. Восстановленный оксид графена в свою очередь выступает в качестве подложки для наночастиц магнетита, предупреждая их агломерацию. Мышьяк распространен в грунтовых водах, является токсичным элементом и его попадание в организм приводит к серьезным проблемам со здоровьем. Как показано в исследовании, нанокompозит $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{BOГ}$ обладает высокой скоростью адсорбции в условиях статической сорбции, что делает его пригодным для использования в полевых условиях. Однако, возможность его применения в бытовых фильтрах не была исследована. По этой причине целью данной работы является получение нанокompозита с высокой сорбционной ёмкостью, и исследование его сорбционных свойств в динамическом режиме.

Экспериментальная часть

Нанокompозит $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{BOГ}$ был получен путем соосаждения Fe^{2+} из соли железа $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, на поверхность оксида графена, полученного по усовершенствованной методике Хаммера [2]. За счет перехода двухвалентного железа в трехвалентное, и образованием наночастиц магнетита, происходит одновременное восстановление оксида графена. Далее нанокompозит был лиофильно высушен. Для последующих сорбционных исследований к

нанокompозиту был добавлен кварцевый песок для улучшения гидродинамических свойств материала. Кварцевый песок предварительно был промыт раствором HCl для удаления примесей. Масса нанокompозита составила 0,04 от массы кварцевого песка. В качестве адсорбата был выбран трехвалентный мышьяк, концентрация которого составляла 0,1 мг/л. Нанокompозит был загружен в колонку высотой 18 см, скорость подачи мышьяка составляла 1,25 мл/мин. Пробы отбирались с шагом в 100 мл. Анализ мышьяка в отобранных пробах осуществлялся по методике МУ №31 – 09/04 [3].

Основным инструментом исследования сорбции в динамическом режиме является построение математической модели. Для данного эксперимента была выбрана математическая модель Томаса. Модель, которая позволяет описать основные характеристики процесса сорбции [4]. В основе модели лежит положение, что сорбция происходит на однородной поверхности адсорбента, и что молекулы адсорбата взаимодействуют с адсорбентом только в одной точке. Эта модель хорошо работает для систем с низкой концентрацией адсорбата и когда процесс сорбции происходит быстро.

$$\ln\left(\frac{C_0}{C} - 1\right) = k_{\text{Томаса}} \frac{q \cdot m}{Q} - k_{\text{Томаса}} \cdot C_0 \cdot t,$$

где C_0 – исходная концентрация загрязнителя, C – концентрация загрязнителя на выходе из колонки, $k_{\text{Томаса}}$ – константа скорости адсорбции Томаса, m – масса адсорбента в колонке, Q – объемная скорость потока очищаемого раствора, q – сорбционная емкость.

Построение и расчеты математической модели Томаса производились с использованием программы OriginLab.

Результаты

В результате исследования были определены сорбционные характеристики для двух образцов: нанокompозит $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{BOГ}$ и нанокompозит смешанный с песком $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{BOГ}/\text{песок}$. В таблице 1 представлены сорбционные характеристики, определенные из эксперимента. Расчет сорбционной емкости для $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{BOГ}$ не является достоверным, поскольку уплотнение материала привело к преждевременному завершению эксперимента, до того, как материал перестал адсорбировать мышьяк (рисунок 1). По причине уплотнения материала, для обеспечения необходимой гидродинамики к нему добавлялся кварцевый песок, согласно процедуре, описанной в экспериментальной части.

Таблица 1

Сорбционные характеристики $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{BOГ}$ и $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{BOГ}/\text{песок}$

Образец	$\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{BOГ}$	$\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{BOГ}/\text{песок}$
Q , мл/мин	1,25	1,25
m , г	5	1
C_0 , мг/л	0,1	0,1
$k_{\text{Томаса}} \cdot 10^3$, мл/мг·мин	0,236	0,229
$k_{\text{Томаса}} \cdot C_0$	$-2,36 \cdot 10^{-4}$	$-2,29 \cdot 10^{-4}$
$-(k_{\text{Томаса}} \cdot q \cdot m)/Q$	1,90718	1,44191
q , мг/г	–	7,873

По результатам динамической сорбции мышьяка нанокompозитом был проведен сравнительный анализ с литературой, который позволил установить преимущество полученного материала, относительно других железосодержащих материалов. Материал имеет существенно более высокую сорбционную емкость, чем в других сорбционных исследованиях [1, 5].

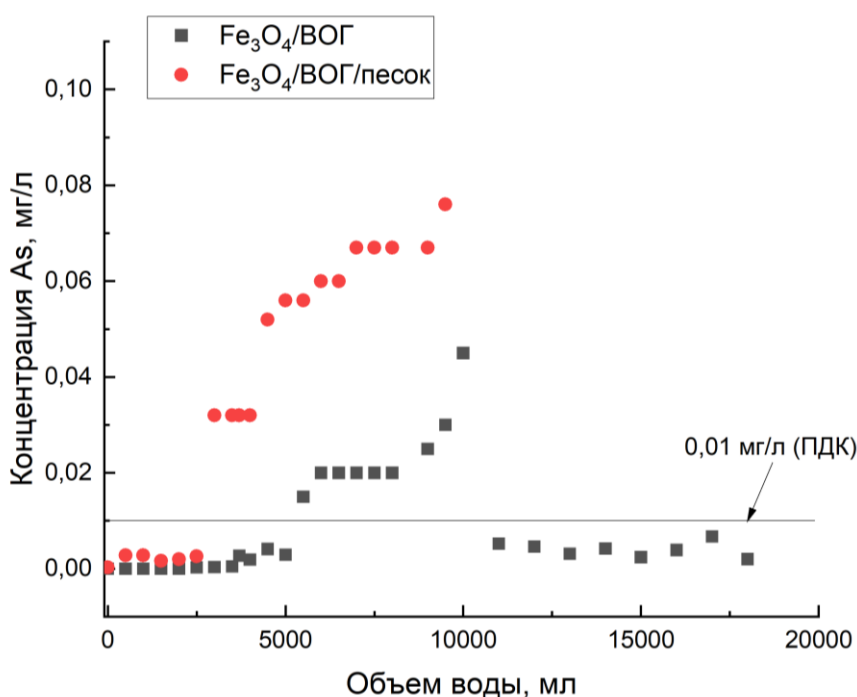


Рис. 1. Кривые прорыва образцов $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ВОГ}$ и $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ВОГ}/\text{песок}$

Заключение

В результате проведенных исследований был получен нанокompозит на основе наночастиц магнетита, синтезированных на поверхности оксида графена. Исследование адсорбционной способности материала в динамическом режиме показало существенно более высокий результат сорбционной емкости (7,87 мг/г), по сравнению с другими исследованиями железосодержащих материалов.

Исследование проводится при поддержке Российского научного фонда в рамках гранта № 22-13-20043 <https://www.rscf.ru/project/22-13-20043/> и при финансовой поддержке Администрации Томской области.

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. – Vol. 149. – P. 104039.
2. Pryadko A. et al. A comprehensive study on in situ synthesis of a magnetic nanocomposite of magnetite and reduced graphene oxide and its effectiveness at removing arsenic from water // Nano-Structures & Nano-Objects. – 2023. – Vol. 36. – P. 101028.
3. МУ 31-09/04 Определение мышьяка в воде. – Электронный ресурс // Томьяналит: сайт. – 2024. – URL: <https://tomanalyt.ru/ru/methods/536-mu31-09-04-opredelenie-myshyaka-v-vode/> (дата обращения: 20.02.2024)
4. Carneiro M.A. et al. Efficient removal of arsenic from aqueous solution by continuous adsorption onto iron-coated cork granulates // Journal of Hazardous Materials. – 2022. – Vol. 432. – P. 128657.
5. Ghasemabadi S. M. et al. Investigation of continuous adsorption of Pb (II), As (III), Cd (II), and Cr (VI) using a mixture of magnetic graphite oxide and sand as a medium in a fixed-bed column // Journal of environmental chemical engineering. – 2018. – Vol. 6, № 4. – P. 4840–4849.