

бо изучен и информация об инициирующих его факторах практически отсутствует.

В данной работе были получены две серии образцов наночастиц гидроксиапатита, полученных методом осаждения с последующей гидротермальной обработкой в присутствии специально выводимой добавки. Полученные наночастицы охарактеризованы комплексом методов: РФА (фазовый состав, параметры решетки и размер кристаллитов), МРК – моделирование размеров кристаллитов – для определения размеров и формы кристаллитов, ПЭМ и БЭТ (форма и размер наночастиц), ИК-спектроскопии (состав поверхности).

На первой серии образцов было исследовано влияние природы вводимой добавки, а именно ионов NH_4^+ , K^+ , SO_4^{2-} , Cl^- , которые не могут участвовать в реакции образования гидроксиапатита, но тем не менее могут оказывать влияние на процесс формирования конечных наночастиц.

Полученные нами данные указывают на то, что введение крупных экранирующих ионов приводит к формированию более мелких частиц. Наименьший размер наночастиц в первой серии полученных образцов был достигнут при введении иона NH_4^+ (толщина наночастиц 30 нм, длина 60 нм).

На второй серии образцов была изучена концентрационная зависимость вводимого иона (NH_4^+) на морфологию конечного продукта. Показано, что введение добавки приводит к ограничению роста частиц в длину. Доказательством является синтез образцов, имеющие две фракции по размерам, на примере которых прослеживается переход от крупных частиц к более мелким.

С использованием квантово-химических расчетов для определения выгодности взаимодействия ионов реакционной среды второй серии образцов с поверхностными гранями частиц был определен движущий фактор формирования конечных частиц в присутствии NH_4^+ .

Впервые установлено, что состав реакционной среды оказывает значительное влияние на процессы формирования наночастиц, и показана возможность их регулирования с использованием простых в реализации процедур.

Наночастиц гидроксиапатита, синтезированные в присутствии иона аммония, были модифицированы жирными кислотами (каприловой, лауриновой и стерариновой) и апробированы в качестве сорбентов против неионогенного поверхностно-активного вещества Triton X-100 с предварительной оптимизацией условий сорбции (тип модификатора, время, температура, pH и масса наночастиц).

Изучение процесса модификации при помощи квантово-химических расчетов позволило объяснить успешность оптимального образца, который позволяет извлекать 73 % загрязнителя за 15 минут.

Исследование проведено при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант РНФ № 24-23-00225 <https://rscf.ru/project/24-23-00225/>). Авторы работы выражают благодарность ресурсным центрам Научного парка СПбГУ: «Рентгенодифракционные методы исследования», «Методы анализа состава вещества», «Нанотехнологии», «Геомодель», «Оптические и лазерные методы исследования», «Инновационные технологии композитных наноматериалов», «Физические методы исследования поверхности».

ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННОЙ ЕМКОСТИ МАГНИТНОГО НАНОКОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ НАНОЧАСТИЦ МАГНЕТИТА И ВОССТАНОВЛЕННОГО ОКСИДА ГРАФЕНА

М. Р. Галстенкова, Ю. Р. Мухортова, А. С. Прядко

Научный руководитель – д.т.н., директор НИЦ «ФМКМ» Р. А. Сурменев

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет
galstenkova@mail.ru*

Введение. Новые композитные материалы обладают способностью объединять в себе ряд полезных свойств, что делает возможным использование одного и того же материала в разно-

образных областях жизнедеятельности. Один из таких материалов – нанокompозит на основе наночастиц магнетита и восстановленного оксида графена. Этот материал имеет большой потен-

циал для применения во многих отраслях, включая очистку воды от тяжелых металлов, красителей, фтора и других вредных веществ [1]. Целью данной работы является получение нанокompозита с высокой сорбционной ёмкостью, и последующая оценка скорости сорбции мышьяка с применением математической модели Томаса.

Теоретическая часть. Основным инструментом исследования сорбции в динамическом режиме является математическая модель. Для данного эксперимента была выбрана математическая модель Томсона. Модель Томсона используется позволяет описать основные характеристики процесса сорбции [2]. 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_m – сорбционная емкость.

Материалы и методы. В качестве загрязнителя был выбран трехвалентный мышьяк, концентрация которого составляла 0,1 мг/л. Для исследования сорбции нанокompозита были подготовлены 2 образца: чистый сорбент – нанокompозит на основе наночастиц магнетита и восстановленного оксида графена, и сорбент с песком – смесь нанокompозита с кварцевым песком. Добавление кварцевого песка обусловлено

увеличением пропускной способности сорбента. Нанокompозит изготавливался по методике [3], смешивание нанокompозита с песком производилось в соотношении 1:25, соответственно. Далее оба образца загружались в колонки высотой 8 см для чистого нанокompозита, и 12 см для нанокompозита с песком. Далее в колонки подавался раствор мышьяка на скорости 1,25 мл/мин, после чего отбирались пробы каждые 100 мл. Анализ мышьяка в отобранных пробах осуществлялся по методике МУ № 31-09/04 [4].

Результаты и обсуждение. На основе полученных данных были построены математические модели для каждого образца. Данные представлены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры, полученные из модели Томаса для адсорбции ионов As^{3+}

Образец	Чистый сорбент	Сорбент с песком
Q, мл/мин	1,25	1,25
m, г	5	1
$k_{\text{Томаса}} \cdot 10^3$, мл/мг · мин	0,236	0,229
q, мг/г	2,020	7,873

Максимум насыщения сорбента с песком был достигнут при пропускании 18 л воды. Объем 5,5 л был очищен до значения ПДК для мышьяка в воде 0,01 мг/л, согласно данным ВОЗ.

Полученное значение сорбционной ёмкости для смеси сорбента с песком превышает значения из литературных источников [2, 5, 6], что свидетельствует об эффективности сорбента при удалении ионов мышьяка из воды.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ 22-13-20043.

Список литературы

1. Geng, Z., Lin, Y., Yu, X. // *Journal of Materials Chemistry*. – 2012. – V. 22. – № 8. – P. 3527–3535.
2. Carneiro M. // *Journal of Hazardous Materials*. – 2022. – V. 432. – P. 128657.
3. Zhao Q., Liu J., Wang Y. // *Electrochimica Acta*. – 2018. – V. 262. – P. 233–240.
4. МУ 31-09/04 Определение мышьяка в воде: [Электронный ресурс] // *Томьяналит*. URL: <https://tomanalyt.ru/ru/methods/536-mu31-09-04-opredelenie-myshyaka-v-vode/> (дата обращения: 14.02.2024).
5. Navarathna C. // *Journal of environmental management*. – 2019. – V. 250. – P. 109429.
6. Liu Y. // *Journal of Molecular Structure*. – 2023. – V. 1273. – P. 134361.