

Получение композиционного углеродного материала, декорированного наночастицами оксидов железа

В лаборатории сорбционных методов ГЕОХИ успешно реализуются работы в рамках исследовательского проекта программы РФ «Проведение инициативных исследований молодыми учеными» Президентской программы исследовательских проектов» на тему **«Получение композиционного углеродного материала, декорированного наночастицами оксидов железа, для сорбции ионов тяжёлых металлов и радионуклидов»**. Сроки реализации [проекта](#): июль 2021 – июнь 2023. Руководитель проекта – к.т.н., с.н.с. **Нескоромная Елена Анатольевна**.

Проект направлен на создание наноконпозиционных сорбционных материалов на основе графена и продуктов переработки растительного сырья (карбоксиметилцеллюлоза, хитозан, лигнин), декорированных наночастицами оксидов железа.

На сегодняшний день перспективным методом получения композиционных углеродных структур является процесс гидротермальной карбонизации (ГТК) растительного сырья в присутствии структурообразующих компонентов и модифицирующих добавок, что позволяет получить высокоэффективные, и главное, недорогие сорбенты для комплексной очистки водных сред. Предлагаемый подход позволит не только значительно повысить качество водоподготовки, но и эффективно использовать вторичное сырьё для синтеза композиционных сорбционных материалов. Решение проблем качественной очистки воды актуально не только для промышленного или сельскохозяйственного сектора, но и важно с точки зрения улучшения экологической ситуации в целом. Создание новых типов наноструктурированных сорбционных материалов позволит значительно интенсифицировать процессы очистки водных сред, качественно улучшая показатели целевых водных ресурсов.

Для решения поставленных в проекте задач предлагается использовать несколько методологических подходов, которые можно разделить на следующие этапы:

1 год реализации проекта:

1. Синтез наноструктурных композиционных материалов, полученных методами ГТК и/или сверхкритической обработки. Синтез графеновых материалов и их модифицированных композиционных форм, обладающих уникальными структурными и функциональными свойствами. В качестве исходных структурообразующих веществ планировалось использовать – оксид графена и продукты переработки растительного сырья (карбоксиметилцеллюлоза, хитозан, лигнин). В качестве веществ, катализирующих или способствующих образованию целевой структуры наноконпозита, предполагалось использовать частицы железа в виде водорастворимых соединений или наночастиц оксидов или гидроксидов. Также, эти частицы могут выступать в качестве модифицирующего компонента композиционного материала, позволяющего увеличить целевые (сорбционные) характеристики при извлечении как ионов тяжелых металлов, так и радионуклидов. Для улучшения эффективности синтезированных наноструктурированных материалов необходимо провести предварительные исследования сорбционных свойств, в результате чего выбрать наиболее качественные композиционные материалы. Таким образом, на начальном этапе предлагалось синтезировать композиционные материалы оксид графена – карбоксиметилцеллюлоза, оксид графена – хитозан, оксид графена – лигнин. В качестве модификатора получаемой углеродной матрицы предлагается использовать наночастицы железа.

2. Изучение структурных и физико-химических свойств синтезированных партий образцов, проведение анализа материалов

2 год реализации проекта:

1. Определение сорбционных свойств полученных партий образцов на примере извлечения

некоторых видов ионов тяжелых металлов (Pb, Cu и Zn) и радионуклидов (Sr, Ce) в статическом режиме (batch-метод). Все экспериментальные исследования данного этапа планируется проводить в лаборатории сорбционных методов (бывшая лаборатория физической химии водных растворов) Федерального государственного бюджетного учреждения науки Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук.

2. Изучение возможности регенерации разработанных наноструктурированных сорбентов, рецикла и восстановления. Будет оценена возможность повторного использования синтезированных материалов и оценена степень потери ёмкости при нескольких циклах сорбции-десорбции. Для практического применения новых адсорбционных материалов их способность к регенерации очень важна как по экологическим, так и по экономическим причинам. Методы химической регенерации будут проверены и оптимизированы для синтезируемых комплексных наноструктурированных сорбентов.

Таким образом, в рамках данного проекта планируется создать новые типы композиционных углеродных материалов на основе графеновых структур и продуктов переработки растительного сырья (карбоксиметилцеллюлоза, лигнин, хитозан), декорированных наночастицами металлов. Данные наноструктурированные материалы будут получены с использованием методов ГТК и/или сверхкритической обработки, которые в совокупности оказываются значительно более экологически чистыми, чем традиционные способы получения углеродных наноструктур.

В рамках проекта исследования будут проводиться в течение двух лет до 2023 г. На данный момент Фондом принята отчетность за первый год реализации проекта и продолжено финансирование.

В рамках первого этапа исследована возможность получения композиционных сорбционных материалов на основе наноструктурированного углерода – оксида графена, и продуктов переработки растительного сырья – карбоксиметилцеллюлозы, хитозана и лигносульфоната. В ходе работы исследованы особенности получения композиционного материала оксид графена/карбоксиметилцеллюлоза/наночастицы железа. Показано, что наночастицы железа могут выступать в роли сшивающего агента, обеспечивая формирование устойчивой структуры геля. Экспериментально установлено соотношение исходных компонентов, позволяющих получать материал с высокими сорбционными свойствами, а также определено оптимальное время и температура процесса синтеза. Исследована возможность получения аэрогелей путём обработки полученных гидрогелей в среде сверхкритического изопропилового спирта (СКИ). Аналогичные исследовательские работы проведены для получения композиционных сорбционных материалов на основе хитозана и лигнина. Экспериментально установлено влияние наночастиц железа в структуре на свойства хитозановых гидрогелей, а в случае с лигнином дополнительно показано, как влияет количество связующего на сорбционные свойства получаемых материалов. В случае, когда частицы железа не являются сшивающим агентом (не образуют комплексные устойчивые соединения с исходными компонентами синтеза) их влияние на сорбционные свойства конечного продукта значительно снижается. Анализ функциональных характеристик синтезированных композиционных материалов позволяет утверждать, что в процессе синтеза удаётся сформировать высокопористую структуру, а аэрогели, полученные на основе этих материалов, обладают высокой удельной поверхностью. Все предложенные и научно апробированные методики получения предполагают использование меньшего количества оксида графена в синтезируемых материалах (не более 25 %). При этом установленные сорбционные характеристики материалов (сорбционная ёмкость при извлечении ионов свинца из водных растворов при начальной концентрации 100 мг/л больше 500 мг/г) в несколько раз превосходят современные промышленные аналоги.

По результатам работы опубликованы следующие статьи:

- 1) **Нескоромная Е.А.**, Khamizov R.K., Melezhyk A.V., Memetova A.E., Mkrtchan E.S., Babkin A.V. (2022) Adsorption of lead ions (Pb^{2+}) from wastewater using effective nanocomposite GO/CMC/FeNPs: Kinetic, isotherm, and desorption studies, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 655, 130224, <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2022.130224>
- 2) **Нескоромная Е.А.**, Мележик А.В., Мкртчян Э.С., Меметова А.Е., Бабкин А.В. (2022) Композиционный материал карбоксиметилцеллюлоза – оксид графена, декорированный наночастицами железа для сорбционного удаления ионов тяжелых металлов из загрязненных водных сред. *Перспективные материалы*, №8, 48-60, DOI: 10.30791/1028-978X-2022-8-48-60
- 3) **Нескоромная Е.А.**, Бабкин А.В., Меметова А.Е., Курносое Д.А. (2022) Синтез композиционного материала оксид графена/хитозан для сорбционной очистки водных сред от ионов тяжелых металлов, *Сборник материалов XVIII международной научно-практической конференции «Новые полимерные композиционные материалы» Микитаевские чтения*, 242 ([пресс-релиз](#))
- 4) **Нескоромная Е.А.**, Бабкин А.В., Меметова А.Е. (2022) Синтез композиционных материалов оксид графена/карбоксиметилцеллюлоза, декорированных наночастицами железа, для сорбционной очистки водных сред. *Сборник тезисов докладов XIV Международной конференции «Углерод»*, 131-132.

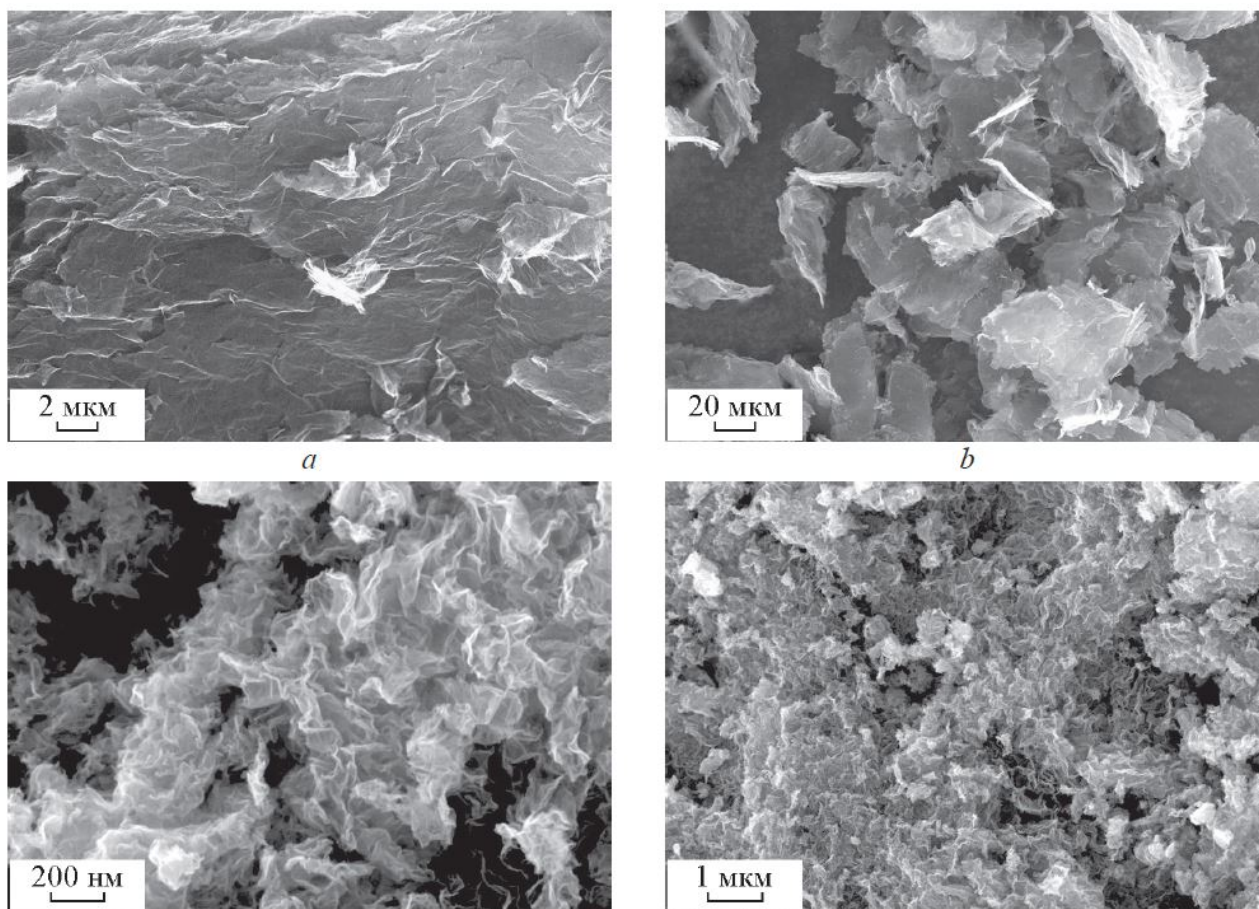


Рис. 1. СЭМ-изображения структуры: а, b — высушенной плёнки оксида графена; с, d — высушенного композита ОГ/ КМЦ/Fe.