

## АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности 8D05311 (6D060600) - «Химия»

**Кудайбергеновой Рабиги Мусапаровны**

### **Синтез, модификация и характеристика супергидрофобных магнитных наноматериалов на основе восстановленного оксида графена в качестве высокоселективных и перерабатываемых сорбентов для очистки сточных вод**

**Общая характеристика диссертационного исследования.** Очистка нефтесодержащих сточных вод стала важной глобальной проблемой в борьбе с загрязнением окружающей среды в результате утечек и разливов нефти. В диссертации описан простой синтез нового супергидрофобного магнитного наноматериала на основе восстановленного оксида графена (RGO), пригодного для вторичной переработки, для селективной сорбции нефти/органических растворителей из сточных вод. Во-первых, были проведены синтез и исследования физико-химических характеристик GO и RGO. Описан двухстадийный синтез листов RGO: получение GO из графита модифицированным методом Хаммерса и химическое восстановление полученного GO гидразинмоногидратом. Во-вторых, были синтезированы магнитные НЧ  $MgFe_2O_4$  золь-гель-методом и определены их структурные, морфологические и физико-химические характеристики. Наконец, методом иммерсионного покрытия с использованием полиуретановой (PU) губки были получены новые супергидрофобные магнитные материалы под названием PU/ $MgFe_2O_4$ /RGO/PDMS, PU/ $MgFe_2O_4$ /PDMS и PU/ $MgFe_2O_4$ /RGO/SO, PU/ $MgFe_2O_4$ /SO, которые были приготовлены с использованием магнитных НЧ  $MgFe_2O_4$ , полидиметилсилоксана (PDMS) или силиконового масла (SO), а также с RGO или без него. Исследования губок PU/ $MgFe_2O_4$ /RGO/PDMS, PU/ $MgFe_2O_4$ /PDMS и PU/ $MgFe_2O_4$ /RGO/SO, PU/ $MgFe_2O_4$ /SO в качестве сорбента выявили положительный эффект использования RGO в составе супергидрофобной магнитной губки для увеличения поглощающей способности масла и различных органических растворителей. Полученные губки PU/ $MgFe_2O_4$ /RGO/PDMS и PU/ $MgFe_2O_4$ /RGO/SO обладают высокими механическими/супергидрофобными свойствами, сорбционной способностью по отношению к нефти и органическим растворителям различной плотности, высокой эффективностью разделения и водоотталкивающими свойствами, а также продемонстрирована возможность повторного использования в течение 20-25 циклов для разделения нефти и органических растворителей и легкое управление отделением от воды с помощью магнита. Таким образом, новые супергидрофобные магнитные губки PU/ $MgFe_2O_4$ /RGO/PDMS и PU/ $MgFe_2O_4$ /RGO/SO можно рассматривать как перспективные материалы для

практического применения при ликвидации разливов нефти и удалении органических загрязнителей с водной поверхности.

**Актуальность работы.** В настоящее время очистка сточных вод от нефти и нефтепродуктов, органических растворителей является очень актуальной темой. Мировое производство загрязненной нефтью воды составляет примерно 33,6 миллиона баррелей в день, что делает ее одним из наиболее значительных загрязнителей в мире, оказывающих разрушительное воздействие на окружающую среду. Увеличение добычи нефти и ее транспортировки морем, а также разливы нефти становятся все более частыми, что приводит к экологическим катастрофам, влияющим на морскую экологию. Разливы нефти попавшие на поверхность моря легко распространяются по обширным территориям волнами и ветром, поэтому требуют быстрого удаления. Такие инциденты могут привести к глобальным последствиям для окружающей среды, таким, как химическая токсичность, физический ущерб дикой природе и ее среде обитания, изменение окружающей среды и исчезновение редких видов. Ликвидация разливов нефти значительно снижает экологические издержки и улучшает экономические ресурсы региона. Поэтому подобные инциденты с разливами нефти, а также наличие нефти в промышленных сточных водах являются серьезными проблемами для экосистемы, которые необходимо срочно решать. Для решения этих проблем в настоящее время известны различные методы разделения нефти и воды, а также новые материалы. Подобно нефти и органическим загрязнителям нефть может адсорбироваться различными сорбентами, используемыми для очистки разливов, а затем обычно удаляться механическим путем и сжигаться. Кроме того, для разделения большого количества нефти и воды требуется много времени, а при их переработке в атмосферу выбрасывается огромное количество испаренных нефтяных фракций. В настоящее время производству супергидрофобных ПУ губок уделяется большое внимание, поскольку они представляют собой недорогие, пористые, с большой площадью внутренней поверхности, эластичные трехмерные материалы, которые идеально подходят для разделения нефти и воды. Среди различных супергидрофобных материалов абсорбенты с покрытием из RGO обладают уникальными супергидрофобными свойствами благодаря своей химической стабильности и гидрофобным взаимодействиям. Супергидрофобные композитные наноматериалы на основе графена могут найти широкое применение благодаря их высоким эксплуатационным свойствам, таким как самоочищение, высокие механические/супергидрофобные свойства и эффективное поглощение масла и органических жидкостей. Поэтому супергидрофобные наноматериалы на основе графена пользуются большим спросом из-за их высоких эксплуатационных свойств.

**Цель исследования.** Получение новых супергидрофобных наноматериалов на основе RGO, магнитных НЧ  $MgFe_2O_4$  и PDMS или SO как селективных и перерабатываемых сорбентов для очистки воды от нефти и органических растворителей.

### **Задачи исследования:**

- получение GO и RGO, НЧ  $MgFe_2O_4$  и модификация супергидрофобных магнитных наноматериалов на их основе;
- изучение структурно-морфологических и физико-химических характеристик GO, RGO и НЧ  $MgFe_2O_4$ ;
- определение влияния RGO на поглотительную способность полученных новых супергидрофобных магнитных наноматериалов;
- изучение магнитных, гидрофобных свойств полученных новых наноматериалов и процессы разделения органических фракций в сточных водах, а также эффективности разделения и абсорбционных и рециркуляционных способностей.

**Объекты исследования:** Часто используемые при очистке сточных вод от нефти и различных органических растворителей гидрофобные, магнитные и связующие соединения: RGO, НЧ  $MgFe_2O_4$  и PDMS или SO.

**Методы исследования:** В работе использованы следующие структурно-морфологические и физико-химические методы анализа: ИК Фурье спектроскопия, рамановская спектроскопия, сканирующая электронная микроскопия (СЭМ), энергодисперсионная рентгеновская спектроскопия (ЭДС), рентгеновская дифракция (РД), термогравиметрия (ТГ), мессбауэровская спектроскопия.

Исследования диссертационной работы проводились в Центре физико-химических исследований Таразского регионального университета имени М.Х. Дулати, Национальном научно-исследовательском центре Университета Лорреин, (Нанси, Франция), Национальной лаборатории Астаны, Лаборатории преобразования материалов и прикладной физики Назарбаев Университета.

**Научная новизна.** Впервые синтезированы новые супергидрофобные магнитные наноматериалы, содержащие RGO, НЧ  $MgFe_2O_4$  и PDMS или SO и изучены их структурные, морфологические и физико-химические характеристики.

Определены селективность и эффективность разделения, а также абсорбционные свойства и возможность переработки полученных новых супергидрофобных магнитных наноматериалов.

### **Положения, выносимые на защиту:**

1. Достижение увеличения абсорбционной способности по отношению к нефти и органическим растворителям (хлороформ, толуол, этанол, ацетон, гексан) на 2 - 4 раза композиционных материалов PU/ $MgFe_2O_4$ /RGO/PDMS и PU/ $MgFe_2O_4$ /RGO/SO, в состав которых входит восстановленный оксид графена, по сравнению с материалами на основе PU/ $MgFe_2O_4$ /PDMS и PU/ $MgFe_2O_4$ /SO.

2. Полученные гидрофобные материалы на основе PU/ $MgFe_2O_4$ /RGO/PDMS и PU/ $MgFe_2O_4$ /RGO/SO показывает эффективность

разделения смесей нефти, оливкового масла (органических растворителей: толуол, гексан) и воды до 96,7 – 99 %.

**3.** Гидрофобные материалы состава PU/MgFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/RGO/PDMS и PU/MgFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/RGO/SO выдерживают 20 – 25 циклов регенерации при значениях абсорбции нефти, оливкового масла, органических растворителей: хлороформ, толуол, этанол, ацетон, гексан 12 – 36 г/г и 16 – 44 г/г и краевом угле смачивания 155,5° – 138,6°, соответственно, в течении 20 секунд погружения.

**Личный вклад докторанта.** Обработка и оформление научно-литературных данных, планирование и проведение экспериментальных работ, анализ и оценка результатов, полученных в результате научно-исследовательской работы, и публикация их в научных изданиях осуществлялись при непосредственном участии автора.

**Связь темы диссертационной работы с научно-исследовательскими работами и различными государственными программами.** Работа выполнена на основе государственного гранта «Жас ғалым 2022-2024» по проекту AP15473575 «Простой способ изготовления супергидрофобного магнитного материала на основе графена для разделения нефти и воды».

**Апробация работы.** Основные результаты диссертационной работы были доложены и обсуждены на следующих научных и научно-практических конференциях: IV Международная научно-практическая конференция «Modern research - 2019» (Чехия, Карловы Вары - Россия, Москва, 2019), «Общенациональное движение «Бобек» Конгресс ученых Казахстана «Global science and innovations 2020: Central Asia» серия «Химические науки» (Алматы, 2020), XIX International Science Conference «Applied and fundamental scientific research», (Бельгия 2021), «Science and education in the modern world: challenges of the XXI century» VIII Международная научно-практическая конференция, Алматы 2021), 5th International Conference on Nanomaterials, Materials and Manufacturing Engineering (Токио, Япония 2023).

**Достоверность и корректность полученных результатов.** Значения стандартной ошибки экспериментальных результатов новых супергидрофобных магнитных наноматериалов по поглощающей способности ниже 5 (т.е. 0,54 – 4,23 г), а значения относительных стандартных отклонений ниже 15% (т.е. 1,87 - 12,28%). Исследования достоверны и точны, поскольку использованы различные современные средства и методы.

**Информация о публикациях.** По результатам диссертационной работы опубликовано 13 научных работ, в том числе: 2 статьи в изданиях Web of Science и Scopus, 4 статьи в изданиях, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования Министерство науки и высшего образования Республики Казахстан и 7 статей в сборниках международных научно-практических конференций, в том числе опубликована 1 статья в публикациях Scopus. Получен 1 патент на полезную модель Республики Казахстан.

**Структура и объем диссертационной работы.** Диссертация состоит из введения, 3 частей, заключения, 184 ссылок на использованную литературу и 3 приложений. Работа изложена на 100 страницах, включает 44 рисунка и 10 таблиц.