

*Т. С. Кузнецова, А. В. Бабкин, А. Е. Бураков\**

## **ГИБРИДНЫЕ УГЛЕРОДНЫЕ АЭРОГЕЛИ ДЛЯ СОРБЦИИ НЕФТИ И ЕЕ ПРОИЗВОДНЫХ ИЗ ВОДНЫХ СРЕД**

Загрязнение воды вследствие нефтяных разливов – важная экологическая проблема всего мира, поскольку она влияет как на качество воды, так и на флору и фауну места аварии. Загрязнение водоемов происходит в результате чрезвычайных ситуаций, промышленной добычи нефти, ее переработки, транспортировки.

Существуют различные методы устранения последствий аварий [1]:

- механический;
- термический;
- физико-химический;
- биологический.

Применение сорбентов – один из самых распространенных способов устранения последствий нефтяных разливов. По природе происхождения сорбционные материалы принято делить на органические (солома, листья, деревянные опилки, мох, шелуха), неорганические (графит, перлит, стекловолокно) и синтетические материалы (гранулы пенополистирола, волокно полипропилена, измельченные шины, порошок карбамидоформальдегидной смолы, поролон гранулированный, синтепон).

Органические материалы являются самыми экологичными, но их сорбционная способность ниже, чем у других сорбентов. Синтетические имеют хорошие показатели сорбционной емкости, но вызывает трудности их утилизация. Неорганические сорбенты имеют средние показатели сорбционной способности, но хорошие предпосылки для улучшения сорбционных показателей (табл. 1) [2].

Исследования в сфере создания и модификации сорбентов ведутся в направлении увеличения сорбционной емкости материалов, повышения гидрофобности, пористости, развития удельной поверхности, способности к регенерации.

Трехмерные углеродные наноструктуры привлекают ученых по всему миру своими удивительными характеристиками. Синтезируя

---

\* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доц. ФГБОУ ВО «ПГТУ» Т. В. Пасько.

материалы, основу которых составляют несколько нанообъектов, например, листы графена, углеродные нанотрубки (УНТ), возможно добиться синергетического эффекта в сравнении с материалами на базе одной наноструктуры.

### 1. Сорбционная способность традиционных материалов

Сорбент		Сорбционная способность, г/г
Природные органические материалы	Солома	4,1
	Камышовые листья	6,1
	Древесные опилки	1,7
	Торф	17,7
	Шерсть	10
	Сфагновый мох	7
Синтетические материалы	Гранулы пенополистирола	12
	Волокно полипропилена	40
	Измельченные шины	3,6
	Порошок карбамидо-формальдегидной смолы	39,6
	Поролон гранулированный	36,9
Неорганические материалы	Стекловолокно	5,4
	Графит	60
	Перлит	7
	Базальтовое волокно	37

Внедрение функциональных агентов при создании аэрогелей позволяет модифицировать эти структуры легированием азотом (за счет пиррола или органического амина), азотом и бором (добавлением аммиачного трифторида бора), включением других нанообъектов (углеродные нанотрубки, нанопроволоки, наночастицы, полианилиновые нановолокна и нанопроволоки) для повышения гидрофобности конечного продукта, увеличения размера пор, увеличения межмолекулярного взаимодействия.

Анализ литературы показал удивительные величины сорбционной способности трехмерных структур (чаще аэрогелей), полученных на основе оксида графена и УНТ.

Существует несколько подходов к синтезу аэрогелей. При работе с углеродными нанотрубками применяют синтез на основе гидрогелей, метод шаблонного ориентирования, метода химического осаждения из паровой фазы. При работе с оксидом графена используют самосборный синтез, индуцированный восстановлением, шаблонно-ориентированный, метод сшивания и выращивание технологией CVD.

Однако из-за наличия функциональных групп, расположенных на поверхности оксида графена, получаемые материалы не имеют должной степени гидрофобности, в результате чего происходит одновременное поглощение нефтепродуктов и воды. Для устранения этого препятствия применяется дополнительная постобработка, например, путем карбонизации.

В зависимости от способа получения, можно управлять характеристиками сорбционных материалов, влияющими на количество сорбированных нефтепродуктов: показателями удельной поверхности, размерами пор, плотностью, функциональными группами на поверхности, степенью гидрофобности (табл. 2) [3].

## 2. Сорбционная емкость инновационных материалов

Сорбент	Сорбционная емкость, г/г
Магнитная пена графена	260
Пена с восстановленным оксидом графена	400
Магнитный расслоенный графит	300...490
Аэрогель на основе 3D-графена	300...400
Графеновый аэрогель	120...250
Пена оксида графена	70...125
Графеновая губка	140...616,4
УНТ / графеновые аэрогели	100...322,8
Лигнин / графеновые аэрогели	254...522
Целлюлоза / графен аэрогели	80...197
Макропористый углеродный монолит	87...273
Графеновая губка	120...616

Перспективным направлением исследований является применение полианилиновых соединений в структуре аэрогеля для сорбции нефтепродуктов.

Выбор полианилиновых материалов в качестве функционализирующего агента углеродных наноматериалов не случаен. Нанотрубки на основе полианилина и модифицированные многостенные углеродные нанотрубки похожи по молекулярной структуре и морфологии [4]. Материалы, полученные на основе полианилина, имеют иную химическую природу, но схожую геометрию: большие полые ячейки, перспективные для сорбционного поглощения нефтепродуктов. Нанотрубки на основе полианилина имеют множество функциональных групп, содержащих азот, а классические УНТ специально модифицируют азотсодержащими группами либо атомами азота для увеличения сорбционных показателей конечных сорбентов. При этом удельная поверхность полианилиновых наноструктур увеличивается в несколько раз после стадии карбонизации и приближается к значениям, типичным для коммерческих УНТ, модифицированных азотом.

Таким образом, комбинируя перспективные наноматериалы – УНТ, оксид графена, наноструктуры полианилина – возможно синтезировать трехмерный графеновый аэрогель, обладающий комплексом свойств, необходимых для быстрого и эффективного удаления нефтепродуктов с поверхности водоемов.

### Список литературы

1. Сериков, Ф. Т. Методы профилактики и ликвидации аварийных ситуаций в нефтегазовой отрасли / Ф. Т. Сериков, Б. Б. Оразбаев. – Алматы : Былым, 2011.
2. Очистка нефтесодержащих сточных вод магнитосорбентами на основе ферритизированного гальваношлама / И. В. Долбня, Е. А. Татаринцева, К. В. Козьмич и др. // Вестник Казанского технологического университета. – 2016. – № 23.
3. Enhanced fluoride uptake by bimetallic hydroxides anchored in cotton cellulose/graphene oxide composites / Yanan Shang, Zihang Wang, Xing Xu et al. // Journal of Hazardous Materials. – 2019.
4. The conversion of polyaniline nanotubes to nitrogen-containing carbon nanotubes and their comparison with multi-walled carbon nanotubes / M. Trchová, E. Konyushenko, J. Stejskal et al. // Polymer Degradation and Stability. – V. 94, Is. 6. – 2009. – P. 929 – 938.

*Кафедра «Техника и технологии производства нанопродуктов»  
ФГБОУ ВО «ТГТУ»*