

УДК 544.723.2.544.4

ПРИМЕНЕНИЕ НАНОМАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СОРБЦИОННОГО УДАЛЕНИЯ ИОНОВ МЫШЬЯКА

Амургалинов Олжас Саматович

olzhas_naiman@mail.ru

Магистрант 1 курса международной кафедры ядерной физики и нанотехнологий
ЕНУ им.Л.Н. Гумилёва, Нур-Султан, Казахстан
Научный руководитель - Машенцева А.А.

Мышьяк – один из самых распространенных элементов в окружающей среде. Из-за его распространенности и токсичности потенциальное загрязнение мышьяком воды, воздуха и почвы представляет собой серьезную проблему. Для решения данной проблемы крайне необходима экономически и экологически эффективная технология удаления мышьяка из воды, безвредная для здоровья человека. Среди различных технологий, которые использовались для удаления мышьяка из воды, таких как коагуляция, фильтрация, мембранное разделение и т.д, сорбционный метод предлагает множество преимуществ, включая простую и стабильную работу, легкость обращения с отходами, отсутствие дополнительных реагентов, компактное оборудование и, как правило, более низкие эксплуатационные расходы [1]. Считается, что нанотехнологии станут ключом к обеспечению чистой и доступной воды. В этой статье представлен обзор по применению наноматериалов для сорбционного удаления ионов мышьяка.

Наноматериал на основе железа

Наноматериал на основе железа (Fe) является одним из наиболее перспективных и тщательно изученных материалов для удаления мышьяка из воды благодаря ряду преимуществ наноматериалов на основе железа. Прежде всего, большая площадь поверхности наночастиц оксида железа и сильное сродство к частицам мышьяка способствуют адсорбции мышьяка. Суперпарамагнитные свойства наночастиц магнетита (Fe_3O_4) и маггемита ($\gamma-Fe_2O_3$) позволяют проводить магнитную сепарацию в воде, что является эффективным методом разделения.

Эффективность удаления мышьяка можно оценить, рассмотрев процент удаления мышьяка в зависимости от различных факторов, таких как время, значение pH, размер частиц и присутствие конкурирующих ионов загрязняющих веществ. В своем эксперименте по изучению эффективности адсорбции мышьяка Мауо J. и Yavuz C. изготовили иерархическую наноструктуру Fe_2O_3 , похожую на каштан [2,3]. Большая часть их работ по характеристике заключалась в анализе площади активной поверхности с использованием метода Брунауэра, Эммета, Теллера (БЭТ). В их исследованиях обнаружилось влияние размера частиц магнетита и маггемита на эффективность адсорбции мышьяка. В экспериментах было обнаружено 200-кратное увеличение адсорбционной способности As(III) за счет уменьшения размера частиц магнетита с 300 нм до 12 нм. Объяснением такого значительного улучшения является увеличение участков активной поверхности и площади поверхности БЭТ по мере уменьшения размера частиц.

Помимо размера частиц, значение pH также оказывает большое влияние на адсорбцию ионов As(III) на наночастицах магнетита или маггемита. Экспериментальные

результаты, полученные Mayo J. показали, что эффективность адсорбции падает примерно после pH=9. Оптимальное рабочее значение pH колеблется примерно в пределах 7-9 для всех рассмотренных наноматериалов магнетита или маггемита.

Присутствие других загрязняющих ионов также влияет на поглощение частиц мышьяка наноматериалом, поскольку эти загрязняющие вещества конкурируют с частицами мышьяка за активные центры на поверхности наноматериала. Zhang W. и его коллеги обнаружили, что присутствие 0,13% фосфат-ионов может снизить адсорбционную способность As(III) естественной объемной железной руды при дозировке 5 мг л⁻¹ на 30-50% [4].

Наночастицы TiO₂

Наночастицы TiO₂, популярный фотокатализатор, который находит применение в очистке сточных вод, окислении и удалении загрязняющих веществ, широко изучался как кандидат для удаления мышьяка из воды. Каталитическая активность TiO₂ при ультрафиолетовом или иногда видимом солнечном облучении, очень большая площадь поверхности БЭТ для адсорбции, высокая физическая и химическая стабильность и относительно низкая стоимость [5] являются ключевыми факторами, побуждающими исследователей разрабатывать наноматериалы на основе TiO₂, которые эффективны для удаления мышьяка из воды. Кроме того, еще одним преимуществом TiO₂ является присущая ему способность эффективно окислять As(III).

Наночастицы TiO₂ удаляют As(III) путем окисления до As(V) с дальнейшей адсорбцией. В своем эксперименте Pena M. и его соавторы сравнивали адсорбция As(III) нанокристаллами TiO₂, синтезированными в лаборатории и коммерческими, в различных экспериментальных условиях. В ходе эксперимента было обнаружено несколько особенностей наночастицы TiO₂ во-первых синтезированный в лаборатории TiO₂ обладает гораздо более высокой адсорбционной способностью по сравнению с коммерческим. Во вторых, при попадании солнечного света из воды было удалено более 90% общего количества мышьяка, что указывает на то, что присутствие света является важным фактором для того, чтобы нанокристаллы TiO₂ обладали хорошей адсорбционной способностью на As(III). В-третьих, присутствие источника света оказывает положительное влияние на окисление As(III) до As(V) в воде.

Объединив эти результаты Pena M. и соавторы. сделали следующие выводы (показаны в таблице 1) относительно эффективности нанокристаллических соединений TiO₂ при удалении частиц As(III) и As(V) в воде.

Таблица 1 - Краткое описание характеристик кристаллического TiO₂ в процессах адсорбции As(III) и окисления As(III) в различных экспериментальных условиях [6]

Условия Эксперимента	Скорость адсорбции	Скорость окисления	Контролирующий фактор
В атмосфере азота в Темноте	-	Отсутствие окисление	Процесс адсорбции
В атмосфере воздух в темноте	-	Отсутствие окисление	Процесс адсорбции
В атмосфере воздуха при солнечных лучах	уменьшается	Увеличивается	Процесс адсорбции
В атмосфере воздуха при свете	Увеличивается	уменьшается	Процесс окисления

Deedar N. и соавторы также проводили эксперименты с чистым и легированным Fe TiO₂ в условиях воздушной освещенности, воздушной темноты и азотной темноты. В их эксперименте было обнаружено, что наночастицы TiO₂, легированные Fe, способны

осуществлять фотокатализируемое окисление As(III) до As(V) под воздействием видимого света вместо ультрафиолетового света, что благоприятно в более практических контекстах. Кроме того, легирование Fe также улучшило адсорбционную способность As(III) и As(V) по сравнению с чистыми наночастицами TiO₂ [5]. Эффективность наночастиц TiO₂ при удалении мышьяка из воды также сильно зависит от значения pH. В работе Рена М. [7] адсорбция мышьяка быстро снижалась, когда значение pH экспериментальной среды превышало 10,0. Однако Deedar N. и соавторы [5] сообщили, что адсорбция мышьяка резко уменьшается только примерно после pH=7.

Наночастицы на основе циркония (Zr) и оксида циркония (ZrO₂)

Наночастицы на основе циркония (Zr) и оксида циркония (ZrO₂) привлекли значительное внимание к удалению мышьяка из воды. Несколько групп сообщили о хороших характеристиках наноматериалов на основе Zr при удалении мышьяка путем адсорбции. Наночастицы на основе Zr также обладают такими преимуществами, как хорошая стабильность, нетоксичность и нерастворимость в воде, что делает их пригодными в качестве адсорбентов мышьяка при очистке воды.

Наночастицы ZrO₂ хорошо удаляют As(III) из воды. По сравнению с обычными коммерческими адсорбентами мышьяка, такими как порошки TiO₂ и Al₂O₃, водные наночастицы ZrO₂ обладали превосходными характеристиками, это связано с большей площадью поверхности БЭТ наночастиц ZrO₂.

Кроме того, на эффективность наночастиц ZrO₂ по удалению мышьяка из воды влияет значение pH. Hang C. и его соавторы сообщили, что оптимальное рабочее значение pH для аморфных наночастиц ZrO₂ составляет около 7. В кислой и щелочной средах адсорбционная способность наночастиц значительно снижалась [8].

Как для водных, так и для аморфных наночастиц ZrO₂ присутствие конкурирующих ионов, таких как Cl⁻, SO₄²⁻ и F⁻, не оказывало очевидного влияния на адсорбционную способность наночастиц. Однако ионы H₂PO₄⁻ резко снижали адсорбцию соединений As(III) в воде

Считается, что добавление наночастиц ZrO₂ на ткани из стекловолокна является эффективным методом удаления мышьяка из воды.

В заключении хотелось бы отметить, что нанотехнологии обеспечивают эффективное, экономичное и высокопроизводительное решение для удаления мышьяка из воды. Различные типы наноматериалов, рассмотренные в этой статье, обладают уникальными свойствами, которые могут быть использованы для удаления мышьяка из воды. Наноматериалы на основе железа, в частности наночастицы оксида железа, продемонстрировали преимущества в удалении мышьяка благодаря своим суперпарамагнитным свойствам. С другой стороны, у наноматериалов на основе TiO₂ адсорбционная способность увеличивается более чем в 200 раз при облучении ультрафиолетовым светом. Наноматериалы на основе Zr имеют одну из самых больших активных площадей БЭТ для адсорбции.

Список литературы

1. Yean S, Cong L, Yavuz C, Mayo J, Yu W, Kan A, Colvin V and Tomson M 2005 Effect of magnetite particle size on adsorption and desorption of arsenite and arsenate Journal of Material Research
2. Mayo J, Yavuz C, Yean S, Cong L, Shipley H, Yu W, Falkner J, Kan A, Tomson M and Colvin V 2007 The effect of nanocrystalline magnetite size on arsenic removal Science and Technology of Advanced Materials
3. Yavuz C T, Mayo J T, Yu W W, Prakash A, Falkner J C, Yean S, Cong L, Shipley H J, Kan A, Tomson M, Natelson D and Colvin V L 2006 Low-field magnetic separation of monodisperse Fe₃O₄ nanocrystals Science Zhang W, Singh P, Paling E and Delides S 2004 Arsenic removal from contaminated water by natural iron ores Minerals Engineering

4. Deedar N, Irfan A and Qazi I A 2009 Evaluation of the adsorption potential of titanium dioxide nanoparticles for arsenic removal J. Environ. Sci.
5. W. Wong, Y. Wong, A. Borhan, M. Badruzzaman, H. Goh and Mukter Zaman. 2007 Recent advances in exploitation of nanomaterial for arsenic removal from water
6. Pena M E, Korfiatis G P, Patel M, Lippincott L and Meng X 2005 Adsorption of As(V) and As(III) by nanocrystalline titanium dioxide Water Res
7. Hang C, Li Q, Gao S and Shang J K 2011 As(III) and As(V) adsorption by hydrous zirconium oxide nanoparticles synthesized by a hydrothermal process followed with heat treatment Industrial & Engineering Chemical Research