

Егізбек Камила Бахытжанқызы, Козловский Артем Леонидович

kemelin@mail.ru

Студент 5го курса специальности 6В060500 "Ядерная физика"
физико-технического факультета ЕНУ им. Л.Н.Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
Научный руководитель – PhD, преподаватель-исследователь Шлимас Д.И.

Введение

В современном мире магнитные наночастицы являются одним из важных классов магнитных наноматериалов [1,2]. Их малые размеры, большая площадь удельной поверхности, а также кристаллическая структура и устойчивость к деградации открывают широкие перспективы применения в различных областях науки и техники. При этом существенные различия в магнитных свойствах наночастиц и массивных материалов, так как гигантское магнито-сопротивление, значения коэрцитивности, намагниченности насыщения и остаточной намагниченности позволяют применять наночастицы в качестве контрастных агентов для жидкостей, адресной доставки лекарственных препаратов, очистке воды, сепарации клеток и т.д. [3,4]. Интерес к магнитным наночастицам, в частности, железооксидным наночастицам, обусловлен их хорошей биосовместимостью, устойчивостью к внешним воздействиям, возможностью модификации поверхности и т.д. [5].

На основании вышесказанного, целью данной работы является изучение влияния фазового состава синтезированных наночастиц $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-Gd}_2\text{O}_3$ на эффективность применения в качестве основы для экспериментов магнитной гипертермии.

Экспериментальная часть

Химический синтез Fe_3O_4 наночастиц проводился путем растворения в 100 мл воды 3.25 г $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ с добавлением 5 мл Na_2SO_3 (5 %). Полученную смесь смешивали с 20 мл аммиака в аргоновой среде и последующим нагреве при 70°C в течение 30 минут. После этого полученную смесь нагревают до 90°C с добавлением лимонной кислоты в течение 90 минут.

Синтезированные Fe_3O_4 наночастицы смешивают с $\text{Gd}(\text{NO}_3)_3$ в равных молярных соотношениях и отжигают в течение 5 часов в диапазоне температур $400\text{-}800^\circ\text{C}$. Полученные наночастицы при различных условиях отжига в дальнейшем были использованы для характеризации и испытаний.

Исследование цитотоксичности синтезированных наночастиц оценивалось путем взаимодействия наночастиц с раковыми клетками поджелудочной железы (Mia PaCa 2). Концентрация наночастиц составила 10 $\mu\text{g}/\text{ml}$. Временной интервал измерений составил 60 часов, пробы отбирались каждые 12 часов. Температура инкубирования составляла 37°C в 5% CO_2 атмосфере.

48 h-MTT тест (3-[4,5-dimethylthiazol-2yl]-2,5-diphenyltetrazolium bromide) проводился для определения токсичности синтезированных наночастиц в зависимости от концентрации в растворе. Концентрации наночастиц составляли от 100 до 300 μg . В качестве клеточной линии использовались Mia PaCa 2.

Результаты и обсуждение

На рисунке 1 приведены результаты исследований определения биосовместимости синтезированных наночастиц, а также влияние фазового состава наночастиц на показатели токсичности.

На диаграмме 1 представлены результаты исследования цитотоксичности синтезированных наночастиц при взаимодействии с раковыми клетками поджелудочной железы (Mia PaCa 2). Концентрация наночастиц составила 10 $\mu\text{g}/\text{ml}$. Временной интервал измерений составил 60 часов, пробы отбирались каждые 12 часов. Температура инкубирования составляла 37°C в 5% CO_2 атмосфере. Как показали результаты тестов, в течение длительного времени (60 часов) все типы исследуемых наночастиц показали высокую степень

выживаемости клеток. Наибольшим показателем обладают наночастицы, полученные при температурах отжига 600 и 800°C.

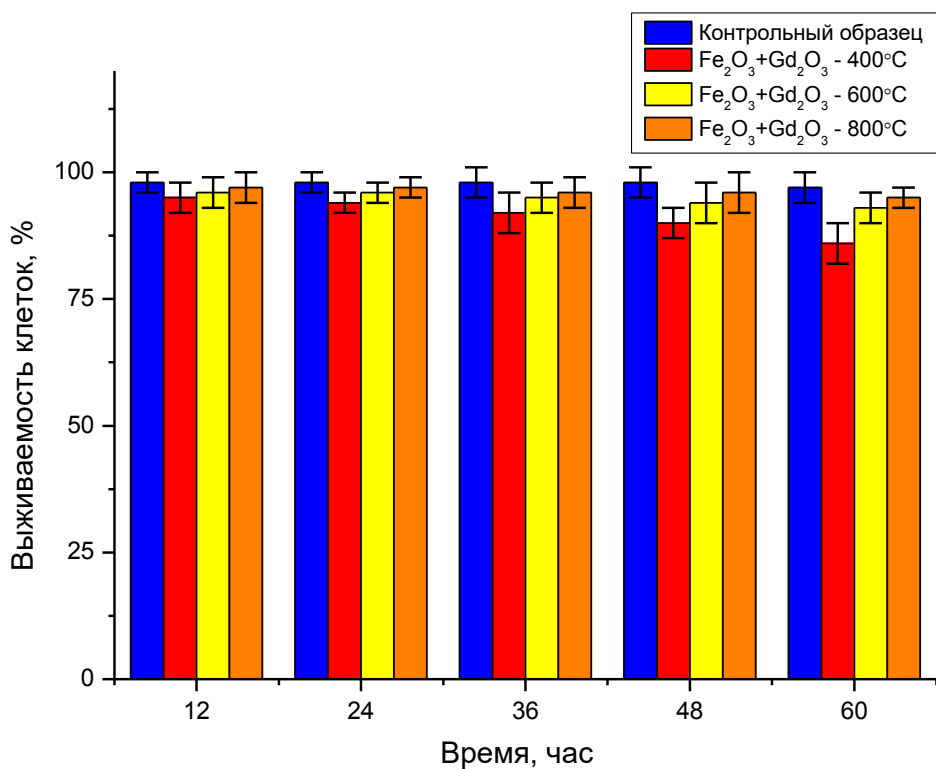


Рисунок 1- Диаграмма цитотоксичности наночастиц на клетки Mia PaCa 2

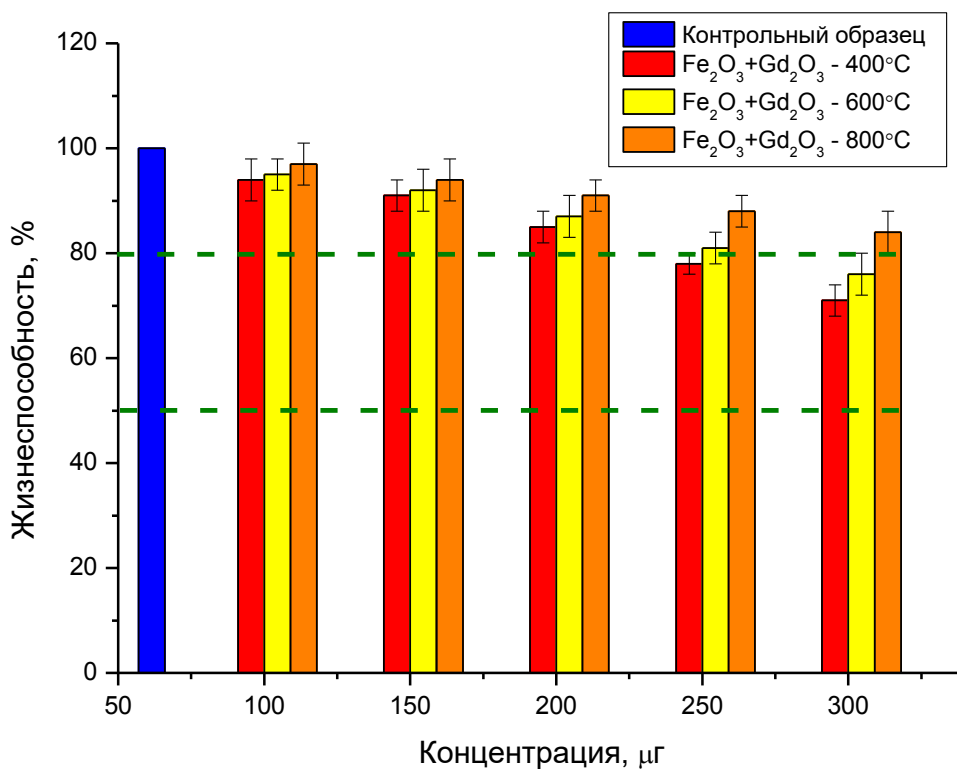


Рисунок 2 - 48 h-МТТ тест на определение токсичности синтезированных наночастиц

На рисунке 2 представлены результаты 48 h-МТТ теста определения токсичности синтезированных наночастиц в зависимости от концентрации в растворе. В целом видно, что при концентрациях наночастиц до 200 мкг наблюдается высокая биосовместимость и выживаемость клеток. При этом для наноструктур с фазой GdFeO₃ выживаемость выше 80 % сохраняется и для концентрации 300 мкг. Увеличение концентрации наночастиц полученных при температуре отжига 400 и 600°C приводит к незначительному снижению выживаемости клеток, величина которой не снижается ниже 75 %, что свидетельствует о низкой токсичности исследуемых наночастиц.

Заключение

В ходе исследования установлена динамика фазовых превращений наночастиц Fe₂O₃ → Fe₂O₃/GdFeO₃ → GdFeO₃ в зависимости от температуры отжига. Определено, что преобладание в структуре наночастиц фазы GdFeO₃ приводит к укрупнению их размеров с 15 до 40 нм. В ходе испытаний на цитотоксичность установлено, что все синтезированные наночастицы обладают низкой токсичностью и не вызывают бурной гибели клеток.

Список использованных источников

1. Peng, Hongxia, Bin Cui, and Yingsai Wang. Bifunctional Fe₃O₄@ Gd₂O₃: Eu³⁺ nanocomposites obtained by the homogeneous precipitation method. // *Materials Research Bulletin*. 2013. – Vol. 48.5. – P. 1767-1771.
2. Kozlovskiy, A. L., et al. Study of phase transformations, structural, corrosion properties and cytotoxicity of magnetite-based nanoparticles. // *Vacuum*. – 2019. – Vol. 163. – P. 236-247.
3. Li, Fenfen, et al. Core/shell Fe₃O₄/Gd₂O₃ nanocubes as T1–T2 dual modal MRI contrast agents. // *Nanoscale*. – 2016. – Vol. 8.25. – P. 12826-12833.
4. Qin, Miao, et al. Uniform Fe₃O₄/Gd₂O₃-DHCA nanocubes for dual-mode MR imaging. // *Beilstein Archives*. – 2020. – Vol. 2020.1. – P. 50.
5. Zhang, Guilong, et al. Oxygen-enriched Fe₃O₄/Gd₂O₃ nanopeanuts for tumor-targeting MRI and ROS-triggered dual-modal cancer therapy through platinum (IV) prodrugs delivery. // *Chemical Engineering Journal*. – 2020. – Vol. 388. – P.124269.