

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ МАГНИТНЫХ НАНОЧАСТИЦ ФЕРРИТА МАРГАНЦА ГИДРОТЕРМАЛЬНЫМ МЕТОДОМ ДЛЯ ТЕРАНОСТИКИ

А. О. Уракова, Р. В. Чернозем, М. А. Сурменева  
Научный руководитель – д.т.н., профессор Р. А. Сурменев

Томский политехнический университет  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30, rsurmenev@mail.ru

**Введение.** В борьбе с онкологией и рядом других заболеваний учёные и врачи всё чаще обращаются к применению различных наноносителей. Одним из классов таких наноносителей являются магнитоэлектрические (МЭ) наночастицы (НЧ). МЭ НЧ состоят из пьезоэлектрической оболочки и магнестрикционного ядра и обладают рядом преимуществ: точное позиционирование с помощью внешнего постоянного магнитного поля, а высвобождением лекарства с помощью переменного магнитного поля. Однако, физические свойства наночастиц и влияние параметров синтеза на морфологию слабо изучены, а в качестве магнестрикционных соединений используют токсичные элементы [1, 2, 3]. Поэтому целью данной работы является исследование закономерностей формирования биосовместимых магнестрикционных НЧ  $MnFe_2O_4$ , синтезированных гидротермальным методом.

**Материалы и методы.** Биосовместимый  $MnFe_2O_4$ , обладающий высокой намагниченностью [4], был получен гидротермальным методом при температуре 180 и 200 °С в течение 3, 6 и 12 ч. Для этого соединения  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ,  $MnCl_2 \cdot 4H_2O$  и  $NaOH$  растворялись в автоклаве в 70 мл деионизованной воды. После синтеза НЧ промывались с помощью магнитной сепарации и подвергались лиофильной сушке в течение 24 ч. Морфология сформированных НЧ была изучена с помощью растровой электронной микроскопии. Для измерения намагниченности НЧ  $MnFe_2O_4$  был использован вибрационный метод.

**Результаты.** Увеличение длительности синтеза с 3 до 12 ч. приводит к изменению морфологии НЧ с квазисферической на стержневидную, а также к образованию агломератов и росту размеров НЧ. Так, диаметр НЧ синтезированных при температуре 200 °С в течение 3 ч. составляет  $77 \pm 14$  нм, а для НЧ, синтезированных в течение 12 часов –  $125 \pm 26$  нм. Увеличение темпе-

ратуры с 180 °С до 200 °С увеличивает скорость образование стержневидных НЧ. Более высокой намагниченностью насыщения обладают образцы, содержащие стержневидные НЧ.

**Заключение.** В результате проведенных исследований установлены закономерности формирования НЧ  $MnFe_2O_4$  гидротермальным методом. В зависимости от биомедицинского применения возможен контроль размеров, геометрии и магнитных свойств НЧ  $MnFe_2O_4$ .

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (соглашение №075-15-2021-588 от 1.06.2021).

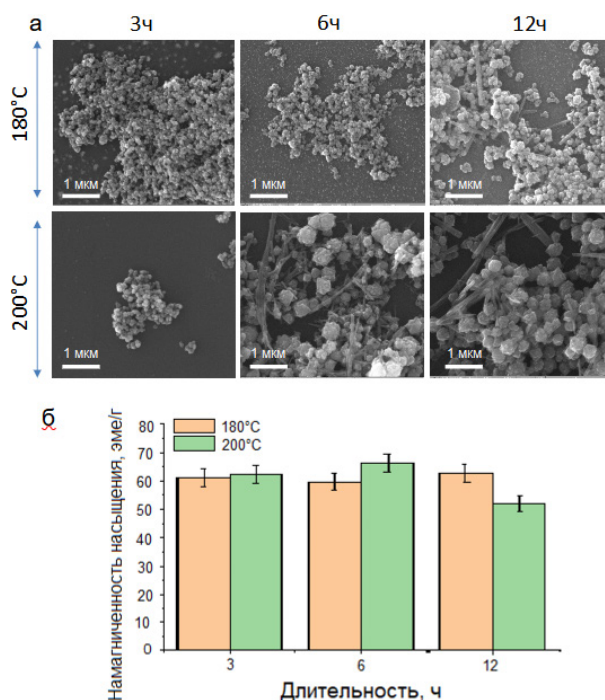


Рис. 1. (а) РЭМ-изображения и (б) намагниченность насыщения полученных НЧ  $MnFe_2O_4$

### Список литературы

1. Soutik Betal et. al // *Scientific reports*, 2018. – Vol. 8. – P. 1–9.
2. Abhignyan Nagesetti et.al // *Scientific reports*, 2017. – Vol. 8. – P. 1–9.
3. Margarida M et. al // *ACS Applied Bio Materials*, 2021. – Vol. 4. – P. 559–570.
4. Neda Akhlaghi et.al//*Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 2021. – Vol. 103. – P. 292–304.