

кроорганизма кристаллы CuI обладают бактериостатическим эффектом, но эффект выражен довольно слабо. ОНГ CuI-PPy обладает заметным бактериостатическим эффектом, в частности, за счет более развитой морфологии, а также большей агрегативной устойчивости в растворе по сравнению с кристаллами чистого CuI, что по-

зволяет сдерживать рост бактерий в течение 50 часов полностью и ограничить их рост на порядок в течение дальнейшего времени.

Работа выполнена в рамках государственного задания (номер государственной регистрации АААА-А19-119061890019-5).

### Список литературы

1. Slavin Y. N. [et al.] // *Journal of nanobiotechnology*, 2017. – V. 15. – № 1. – P. 1–20.
2. Золотухина Е. В. [и др.] // *Сорбционные и хроматографические процессы*, 2010. – Т. 10. – № 1. – С. 78–85.
3. Renné W. G. [et al.] // *Clinical oral investigations*, 2017. – V. 21. – № 1. – P. 369–379.
4. Konakov A. O. [et. al.] // *Chemosensors*, 2021. – V. 9. – P. 56.

## ВЛИЯНИЕ ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ МАГНИТОСТРИКЦИОННЫХ НАНОЧАСТИЦ $MnFe_2O_4$ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАНОЧАСТИЦ, ПОЛУЧЕННЫХ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫМ МЕТОДОМ

Д. А. Копцев, Р. В. Чернозем, М. А. Сурменева, А. Л. Холкин  
Научный руководитель – д.т.н., профессор Р. А. Сурменев

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

**Введение.** Рак является одной из основных причин смертности в мире. Проблема контролируемой адресной доставки противораковых препаратов является вызовом. Вследствие этого учёные всё чаще используют в качестве наночастиц магнитоэлектрические наночастицы (МЭН). МЭН состоят из пьезоэлектрической оболочки и магнитоэлектрического ядра, что позволяет осуществлять адресную доставку противораковых препаратов к клеткам с помощью приложения постоянного магнитного поля, а затем с помощью переменного магнитного поля высвободить лекарство в клетке [1]. Однако, известно, что смачиваемость ядер и их агрегация напрямую влияют на формирование оболочки МЭН, вследствие чего изменяются их физические свойства, а также структура и морфология. Таким образом, цель работы – исследование влияния функционализации поверхности магнитных наночастиц на закономерности формирования сегнетоэлектрической оболочки.

**Материалы и методы.** В качестве ядер был использован биосовместимый магнитный  $MnFe_2O_4$  (MFO), а также в качестве сегнетоэлектрической оболочки был использован биосовме-

стимый  $Ba_{0,9}Ca_{0,1}Ti_{0,9}Zr_{0,1}O_3$  (BCZT) из-за высокого пьезоотклика. Ядро и затем оболочка МЭН были получены с помощью гидротермального метода при температуре 200 °С в течение 3 ч и 24 ч., соответственно. Перед синтезом оболочки, ядра MFO предварительно были функционализированы с помощью гидрофобной олеиновой кислоты (ОК) и гидрофильного поливинилпирролидона (ПВП). Сформированные МЭН подвергались лиофильной сушке в течение 24 ч после синтеза.

Морфология, структура и намагничённость полученных НЧ были изучены с помощью растровой электронной микроскопии, рентгенофазового анализа, просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) и магнитометра.

**Результаты.** Результаты данного исследования показали, что функционализация поверхности ядер не оказывает значительного влияния на их намагничённость и их морфологию (рис. 1), однако, приводит к увеличению содержания фазы  $Fe_2O_3$  и росту толщины оболочки BCZT на поверхности ядер и, как следствие, значительно снижению намагничённости ядер MFO в сравнении с исходными ядрами. В случае на-

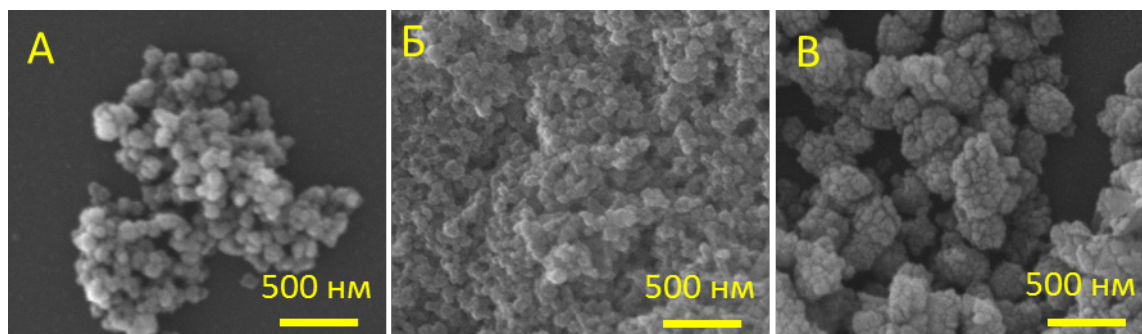


Рис. 1. СЭМ-изображения: (А) НЧ  $MnFe_2O_4$ ; (Б) НЧ  $MnFe_2O_4$  функционализированные ОК; (В) МЭ НЧ на основе ОК-функционализированных ядер

несения ПВП на поверхность  $MnFe_2O_4$ , анализ ПЭМ-изображений позволил выявить формирование отдельных НЧ BCZT на поверхности МЭ НЧ по сравнению с ядрами, стабилизированными ОК.

**Заключение.** Исследование показало влияние функционализации ядер  $MnFe_2O_4$  на закономерности формирования оболочки BCZT.

### Список литературы

1. Neda Akhlaghi et al. / *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 2021. – Vol. 103. – P. 292–304.
2. Kun. Yang et al. / *Applied Surface Science*, 2010. – Vol. 256. – P. 3093–3097.
3. Jouyandeh M. / *Progress in Organic Coatings*, 2019. – 136. – P. 105227.

## НАНОЧАСТИЦЫ В КОНСТРУИРОВАНИИ ТЕСТ-СИСТЕМ

М. Д. Кропанева, П. В. Храмцов, М. Б. Раев

ФГАОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»  
614068, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15, kropanemasha@gmail.com

В нашей работе для создания колориметрических тест-систем мы использовали наночастицы (нанозимы) берлинской лазури, синтезированные методом восстановления солей трехвалентного железа перекисью водорода и проявляющих большую каталитическую активность, чем частицы, полученные традиционным способом. Нанозимы берлинской лазури в данном случае выступали в качестве более дешевой, стабильной и простой в получении альтернативы ферментной метке – пероксидазе хрена.

**Цель работы** – разработка колориметрических тест-систем для иммунодиагностики на основе нанозимов берлинской лазури.

Нанозимы берлинской лазури различных размеров синтезировали согласно методу, описанному в статье [1], с добавлением хелатирующих агентов (лимонная кислота, щавелевая кислота). Оценку каталитической активности

Полученные данные позволят контролировать размер и структуру, а, следовательно, и свойства МЭ НЧ.

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

полученных нанозимов проводили согласно протоколу, разработанному Jiang с соавт. [2]. Диагностические реагенты для колориметрических анализов на основе наночастиц берлинской лазури, функционализированных распознающими элементами, получали ковалентным присоединением при помощи глутарового альдегида. Функциональную активность полученных диагностикомов проводили методом колориметрического иммуноанализа в полистирольном 96-луночном планшете.

Нами было синтезированы три партии диагностических реагентов на основе высокоактивных наночастиц берлинской лазури (НЧБЛ), функционализированных моноклональными антителами против ПСА (1A6), G-белком и бычьим сывороточным альбумином (БСА, негативный контроль). Было показано, что наночастицы берлинской лазури в составе полученных диа-