

## ВКЛЮЧЕНИЕ МАГНИТНЫХ НАНОЧАСТИЦ В МЕЗОПОРИСТЫЕ МАТРИЦЫ КАРБОНАТА КАЛЬЦИЯ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫЕ ДЛЯ БИМЕДИЦИНСКИХ ПРИМЕНЕНИЙ

Михеев А.В.<sup>1</sup>, Паллаева Т.Н.<sup>1</sup>, Бурмистров И.А.<sup>1</sup>, Артемов В.В.<sup>1</sup>,  
Хмеленин Д.Н.<sup>1</sup>, Трушина Д.Б.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>) ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup>) Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова  
Министерства здравоохранения РФ (Сеченовский университет), Москва, Россия  
E-mail: mikheev.av16@physics.msu.ru

## INCORPORATION OF MAGNETIC NANOPARTICLES INTO MESOPOROUS CALCIUM CARBONATE MATRICES FOR BIOMEDICAL APPLICATIONS

Mikheev A.V.<sup>1</sup>, Pallaeva T.N.<sup>1</sup>, Burmistrov I.A.<sup>1</sup>, Artemov V.V.<sup>1</sup>,  
Khmelenin D.N.<sup>1</sup>, Trushina D.B.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>) FSRC "Crystallography and Photonics" RAS, Moscow, Russia

<sup>2</sup>) Institute of Molecular Theranostics, Sechenov University, Moscow, Russia

In this work the formation of magnetically sensitive "core-shell" systems based on pre-synthesized vaterite microparticles and iron oxide nanoparticles was studied by two methods: physical sorption of nanoparticles from a suspension at room temperature, as well as freezing-induced loading.

Большое количество исследований в данный момент направлено на разработку композитных частиц, предназначенных для доставки веществ *in vivo* и применения в диагностике и лечении различных заболеваний. Наноструктурированные системы «ядро-оболочка», сочетающие в себе свойства различных компонентов, представляют особый интерес благодаря их универсальности и возможности применения в области биомедицинских технологий. Использование микрочастиц карбоната кальция в полиморфной модификации ватерита в качестве ядра обусловлено их биосовместимостью, значительной пористостью и возможностью биodeградации в физиологических условиях, что позволяет использовать их как для эффективной загрузки препаратов, так и для контролируемого высвобождения инкапсулированных молекул. Гибридные системы «карбонат кальция - оксид железа», в которых оболочка представлена магнитными наночастицами (МНЧ) оксидов железа, объединяют в себе возможности высокоёмких контейнеров для инкапсулирования терапевтических и диагностических веществ с чувствительностью к магнитному полю [1].

Основными методами формирования оболочки на мезопористых матрицах карбоната кальция являются физическая сорбция из суспензии при комнатной температуре и заморозка растворителя. В первом случае включение происходит

в результате самопроизвольного процесса физической сорбции при увеличении концентрации МНЧ у поверхности частиц. При загрузке, индуцированной заморозкой растворителя, нанообъекты выталкиваются фронтом кристаллизации из дисперсионной среды и концентрируются около поверхности микрочастиц карбоната кальция, после чего фронт «вдавливает» МНЧ в поры  $\text{CaCO}_3$  [2]. Преимуществами загрузки методом заморозки растворителя, является высокая эффективность загрузки МНЧ в поры карбоната кальция по сравнению с физической сорбцией и возможность многократного повторения процесса для последовательного увеличения массового процента включенных частиц.

В рамках данного исследования синтезированы и изучены наночастицы оксида железа  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  и получены системы «ядро-оболочка» на основе микрочастиц карбоната кальция с помощью загрузки МНЧ методами адсорбции и заморозки растворителя. Проведено сравнение эффективности загрузки и показано, что в системе «ядро-оболочка» масса оболочек из МНЧ может достигать значений, сопоставимых с массой частиц  $\text{CaCO}_3$ . С помощью анализа дифракционных данных продемонстрировано, что получение оболочки с помощью циклов заморозки/оттаивания является предпочтительным для формирования систем «ядро-оболочка» с сохранением полиморфной композиции  $\text{CaCO}_3$ .

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 21-74-10058).*

1. Xue J. et al. Magnetic drug-loaded osteoinductive  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{CaCO}_3$  hybrid microspheres system: efficient for sustained release of antibiotics //Journal of Physics D: Applied Physics. – 2020. – Т. 53. – №. 24. – С. 245401.
2. German S. V. et al. High-efficiency freezing-induced loading of inorganic nanoparticles and proteins into micron-and submicron-sized porous particles //Scientific reports. – 2018. – Т. 8. – №. 1. – С. 17763.