

действия с ингибиторами коррозии и образованием большого количества соединений более растворимых, чем ПЭО-покрытие.

В результате проделанной работы были получены композиционные покрытия, которые существенно увеличивают антикоррозионные свойства сплава АМгЗ. Анализ данных ЭИС показал, что оптимальная концентрация загру-

жаемых ингибиторов составляет менее 0,1 М. Лучшими показателями обладает образец с композиционным покрытием, полученным импрегнированием ПЭО-слоя 1,2,4-триазолом в концентрации 0,05 М.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 21-73-10148).

Список литературы

1. Gnedenkov A. S., Sinebryukhov S. L., Mashtal'yar D. V., Imshinetskiy I. M., Vyaliiy I. E., Gnedenkov S. V. // *Materials*, 2019. – V. 12. – I. 16. – P. 2615.
2. Gnedenkov A. S., Sinebryukhov S. L., Mashtal'yar D. V., Vyaliiy I. E., Egorkin V. S., Gnedenkov S. V. // *Materials*, 2018. – V. 11. – I. 11. – P. 2177.
3. Gnedenkov A. S., Sinebryukhov S. L., Mashtal'yar D. V., Vyaliiy I. E., Egorkin V. S., Gnedenkov S. V. // *Materials*, 2018. – V. 11. – I. 10. – P. 2053.
4. Nadimi M., Dehghanian C., Etemadmoghadam A. // *Mater. Today Commun.*, 2022. – V. 31. – P. 103587.
5. Farahani M., Yousefnia H., Seyedraoufi Z. S., Shajari Y. // *Ceram. Int.*, 2019. – V. 45. – I. 13. – P. 16584–16590.

IN VITRO ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАНОЧАСТИЦ НА ОСНОВЕ $MnFe_2O_4$ И $Ba_{0,85}Ca_{0,15}Zr_{0,1}Ti_{0,9}O_3$ С КЛЕТКАМИ

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, danilakoptcev@yandex.ru

Введение. Развитие наномедицины в области таргетной доставки лекарств открывает большие возможности и меняет подходы в методах диагностики, лечения и профилактики заболеваний. Наночастицы типа ядро-оболочка, состоящие из магнитного ядра $MnFe_2O_4$ (MFO) и сегнетоэлектрической оболочки $Ba_{0,85}Ca_{0,15}Zr_{0,1}Ti_{0,9}O_3$ (BCZT), вследствие своих магнитоэлектрических (МЭ) свойств [1], могут оказывать воздействие на биологические процессы, проходящие в клетке. Кроме этого, вследствие наличия ферромагнитного ядра они способны осуществлять доставку терапевтических агентов в определенные целевые участки под действием магнитного поля, что является важным параметром для их применения в различных областях медицины [2]. Однако, оказываемое наночастицами (НЧ) токсикологическое влияние на клетки малоизучено. Таким образом, цель работы заключается в *in vitro* исследовании цитотоксического действия МЭ НЧ на основе ядер MFO и оболочки BCZT на клетки.

Материалы и методы. Ядро в виде MFO и затем оболочка BCZT были получены с помощью микроволнового гидротермального синтеза при температуре 175 °С в течение 30 минут и при температуре 225 °С в течение 3 ч. соответственно. Ядро и МЭ НЧ были функционализированы лимонной кислотой. Морфология, структура и намагниченность полученных МЭ НЧ были изучены с помощью сканирующей электронной микроскопии, рентгенофазового анализа и магнитометра. В качестве объекта для биологических исследований были взяты клетки пупочной вены человека. Цитотоксичность НЧ была исследована в течение 1 и 3 суток при концентрациях: 0,7 мг/мл, 2 мг/мл, 4 мг/мл клеток. Жизнеспособность клеток оценивалась при помощи метода флуоресцентной микроскопии и колориметрического теста для оценки метаболической активности клеток (MTS-тест). Кроме того, эффективность интернализации НЧ была изучена методом проточной цитометрии.

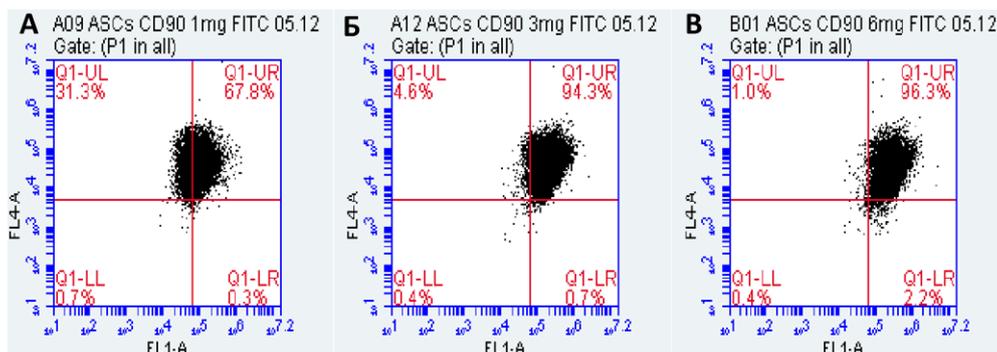


Рис. 1. Результаты проточной цитометрии при концентрации МЭ НЧ (А) 0,7 мг/мл, (Б) 2 мг/мл, (В) 4 мг/мл

Результаты. Анализ результатов флуоресцентной микроскопии и MTS-теста показал, что жизнеспособность клеток, инкубированных с 0,7 мг/мл НЧ в течение суток, составила ($93 \pm 3,7$) % для МФО и ($93 \pm 4,9$) % для МЭ НЧ. При этом, увеличение концентрации НЧ от 0,7 мг/мл до 4 мг/мл привело к снижению жизнеспособности клеток до ($61 \pm 3,2$) % для ядер и (85 ± 21) % для МЭ НЧ. Однако, в случае 3 дней инкубации, жизнеспособность в среднем составила ($95 \pm 5,4$) % для всех концентраций ядер МФО. При увеличении концентрации МЭ НЧ наблюдалось понижение процента выживаемости клеток с ($99 \pm 6,1$) % до ($88 \pm 3,8$) %.

Кроме этого, результаты проточной цитометрии показали что интернализация МЭ НЧ составила ($67,8 \pm 8,13$) % для концентрации наночастиц 0,7 мг/мл, ($94,3 \pm 11,3$) % для концентрации 2 мг/мл и ($96,3 \pm 11,5$) % для 4 мг/мл (рис. 1).

Заключение. В результате проведенных исследований установлено снижение жизнеспособности клеток и увеличение интернализации НЧ при увеличении их концентрации.

Благодарности. Мы выражаем отдельную благодарность Марии Мендес и профессору Джоа Мано за сотрудничество в биологических исследованиях МЭ НЧ.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (соглашение № 075-15-2021-588 от 1.06.2021), а также гранта РНФ № 23-23-00511.

Список литературы

1. Neda Akhlaghi et.al / *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 2021. – Vol. 103. – P. 292–304.
2. Jinhyeong Jang, Chan Beum Park / *Science Advances*, 2022. – Vol. 8. – Issue 19.
3. Ana S. Silva et al. / *Biomaterials*, 2020. – Vol. 231. – P. 119–664.

КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НОВОЙ ДВУМЕРНОЙ НАНОПОРИСТОЙ СТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ МОЛЕКУЛ F4-TCNQ

А. В. Коровина^{1,2}

Научный руководитель – д.ф.-м.н., доцент Д. Г. Квашнин²

¹Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет) 141701, Московская область, г. Долгопрудный, Институтский переулок, д. 9, info@phystech.edu

²ФГБУН институт биохимической физики им. Н. М. Эмануэля РАН 119334, г. Москва, ул. Косыгина, д. 4, ibcp@sky.chph.ras.ru

Микропористые органические материалы, используемые в таких областях, как разделение и хранение газов, гетерогенный катализ и др., приобрели большое распространение. Среди таких материалов можно выделить следующие:

металлоорганические каркасы (MOF), полимерные материалы и т. д. На ряду с другими решениями в 2008-ом году было сообщено о синтезе первого органического каркаса на основе триазина [1].