

дукта на 6–14 % по сравнению с оксихлоридом циркония. Кроме того, во всех случаях  $\text{NH}_2$ -UIO-66 образуется с выходом на 9–16 % большим, чем UIO-66, что может быть обусловлено повышенной растворимостью аминотерефталевой кислоты в уксусной кислоте по сравнению с терефталевой.

Использование уксусной кислоты в качестве растворителя позволило получить образцы

с высокой кристалличностью и с высоким выходом (UIO-66 до 85 %, и  $\text{NH}_2$ -UIO-66 до 94 %). При этом производительность была значительно выше, чем в синтезе по классической методике. Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что уксусная кислота в качестве среды реакции является хорошей альтернативой ДМФА при получении материалов MOF на основе  $\text{Zr}^{4+}$ .

### Список литературы

1. Yang L., Zhang Y. // *Catal. Commun.*, 2017. – № 94. – P. 9–12.
2. Ahmed A., Seth S., Purewal J. // *Nature Communications*, 2019. – V. 15. – № 68. – P. 122–128.
3. Manousil N., Giannakoudakis D., Rosenberg E. // *Molecules*, 2019. – V. 16. – № 24. – P. 4605–4632.
4. Cavka J., Jakobsen S. // *J. Am. Chem. Soc.*, 2008. – № 140. – P. 42–61.
5. Taddei M., Bokhoven J., Ronocchiaro M. // *Inorg. Chem.*, 2020. – V. 59. – № 11. – P. 7860–7868.
6. Liu Y., Song L. // *Microporous and Mesoporous*, 2019. – № 282. – P. 11–17.

## КОМПОЗИЦИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ ТИТАНОВЫХ ИМПЛАНТАТОВ С ФУНКЦИЕЙ АДРЕСНОЙ ДОСТАВКИ ФАРМПРЕПАРАТОВ

К. Н. Верзунова, А. И. Козельская, С. И. Горенинский, Е. А. Солдатова, М. А. Булдаков  
Научные руководители – к.ф.-м.н., доцент С. И. Твердохлебов

Томский политехнический университет  
Томск, Россия

НИИ онкологии Томского НИМЦ  
Томск, Россия

**Введение.** Использование в реконструктивной хирургии устаревших материалов и технологий обуславливает то, что за прошедший век не наблюдалось значительного сокращения сроков сращения переломов. В свою очередь, одного только регенеративного потенциала организма пациента недостаточно для восстановления больших костных дефектов. В связи с этим, актуальной задачей является разработка новых материалов и покрытий имплантатов с функцией адресной доставки фармпрепаратов.

**Целью** данной работы являлось разработка и исследование композиционных покрытий на титановых имплантатах на основе фосфатов кальция и слоя биоразлагаемого полимера, содержащего фармпрепараты.

**Материалы и методы.** Композиционные покрытия на поверхности титановых подложек марки BT-6 были сформированы методом микродугового оксидирования (МДО) с последующим нанесением на него полимерного носителя с инкорпорированными противостолепоротиче-

скими препаратами (ловастатин, золендроновая кислота) с использованием режимов, описанных в [1]. В качестве материала полимерной матрицы использовали высокомолекулярный поливинилпирролидон (ПВП К-90, BASF, Германия) и сополимер молочной и гликолевой кислот (ПЛГА 8055, Corbion Нидерланды). Химический состав сформированных покрытий был исследован методом рентгеновской фотоэлектронной микроскопии на спектрометре NEXSA (Thermo Fisher Scientific, Германия). Рентгеноструктурный анализ титановых образцов и кальций-фосфатных покрытий проводили на дифрактометре XRD-6000 (Shimadzu, Япония) в режиме скользящего пучка. Кристаллическую структуру полимерных материалов исследовали методом дифференциальной сканирующей калориметрии с помощью калориметре DSC 204F1 Phoenix (NETZSCH, Германия). В качестве клеточной линии для *in vitro* исследований использовали клетки остеосаркомы (HOS), полученные из Российской коллекции клеточных культур позвоночных

Института цитологии РАН (Санкт-Петербург). Исследования токсического действия образцов, клеточной адгезии и дифференцировке на стадии формирования остеобластов проводили на базе НИИ Онкологии Томского ТНИМЦ.

**Результаты.** На обзорном XPS-спектре кальций-фосфатных покрытий присутствуют линии O1s, Ti2p, Ca2p, C1s, P2p и Mg1s. На спектрах материалов с полимерным слоем наблюдается значительный рост интенсивности пика C1s, что свидетельствует о нанесении полимерного слоя. Пики, соответствующие загруженным препаратам, не удалось идентифицировать, однако наличие полимерного слоя позволяет судить об их присутствии на поверхности, поскольку слой полимера с препаратом был нанесен из истинного раствора. Дифрактограммы композиционных покрытий представлены рефлексами, соответствующими оксиду титана и стронцийзамещенному гидроксипатиту. Рефлексов, соответствующих полимерам, не обнаружено, что позволяет говорить об их аморфной

структуре. Результаты ДСК-анализа указывают на аморфную кристаллическую структуру полимерных покрытий. Методом инверсионной вольтамперометрии показано, что с ростом концентрации препаратов в покрытиях достигается их большая концентрация в растворе в процессе их высвобождения вплоть до  $0,31 \pm 0,08$  мг/л для ловастатина и  $0,38 \pm 0,10$  мг/л для золедроновой кислоты. *In vitro* исследования показали отсутствие токсического действия сформированных покрытий на используемую клеточную линию.

**Заключение.** В результате проделанной работы предложен метод формирования композиционных покрытий, содержащих противоопоротические препараты ловастатин и золедроновую кислоту. Охарактеризован элементный состав сформированных покрытий, их кристаллическая структура, а также токсичность в отношении клеток остеосаркомы человека.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Национального научного фонда Болгарии № 20-53-18003.

### Список литературы

1. *Разработка лекарственных средств – традиции и перспективы. Международная научно-практическая конференция (г. Томск,*

*13–16 сентября 2021 г.): сборник материалов. – Томск: Изд-во СибГМУ, 2021. – 260 с.*

## ЭЛЕКТРОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ВОЛОКОН ИЗ СЕТОК ОДНОСЛОЙНЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК, ДОПИРОВАННЫХ ЗОЛОТОМ

А. И. Вершинина, В. Г. Кривошеина, И. М. Чиркова, Д. М. Руссаков  
Научные руководители – д.ф.-м.н., профессор С. Д. Шандаков; к.х.н., доцент Н. В. Иванова

ФГБОУ ВО Кемеровский государственный университет  
650000, г. Кемерово, ул. Красная, 6, [annaver89@mail.ru](mailto:annaver89@mail.ru)

Однослойные углеродные нанотрубки (ОУНТ) являются отличным кандидатом для применения в качестве электродного материала в сенсорных системах из-за их высокой проводимости, адсорбционных свойств, развитой площади поверхности [1]. Но создание устройств изготовленных из отдельных УНТ остается довольно сложным и трудоемким процессом. Это обуславливает большой интерес к получению более простых в обращении макрообъектов на основе УНТ, таких как волокна [2]. В данной работе показана возможность применения волокон из ОУНТ в качестве электродного материала в вольтамперометрии (ВА), в частности, для определения мышьяка в растворе.

ОУНТ синтезировали аэрозольным CVD-методом [3,4]. Образцы представляют собой сетки из случайно ориентированных ОУНТ, с длиной пучков 20–40 мкм, диаметром нанотрубок ~2 нм. Полученные образцы сеток подвергались нагреву при 280 °С на воздухе и обработке HCl для удаления электроактивных примесей и некоторой доли каталитических частиц железа. Модификация ОУНТ золотом осуществлялась путем нанесения водно-спиртового 10 мМ раствора HAuCl<sub>4</sub> на подготовленные сетки. Из модифицированных сеток ОУНТ формировали углеродные волокна (УВ) методом «мокрого вытягивания» [2, 5].