

**ВЛИЯНИЕ КАЛЬЦИЙ-ФОСФАТНОГО ПОКРЫТИЯ НА СМАЧИВАЕМОСТЬ ГИБРИДНЫХ  
ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СКЭФФОЛДОВ**

А.С. Звягин, Р.В. Чернозем, М.А. Сурменева

Научный руководитель: доцент, к.ф.-м.н. Р.А. Сурменев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: burdawizard01@gmail.com

**INFLUENCE OF CALCIUM-PHOSPHATE COATING ON WETTABILITY OF HYBRID  
PIEZOELECTRIC SCAFFOLDS**

A.S. Zviagin, R.V. Chernozem, M.A. Surmeneva

Scientific Supervisor: Associate Professor, Dr. R.A. Surmenev

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: burdawizard01@gmail.com

***Abstract.** Herein, the results of investigation of the modified hybrid electrospun scaffolds based on piezoelectric polyhydroxybutyrate and conductive polyaniline polymers are presented. Scaffolds were modified with calcium-phosphate coating fabricated by an alternate soaking process. Calcium-phosphate coating allowed to significantly improve wettability of the scaffold surface, imparting superhydrophilic properties.*

**Введение.** Полимерные скэффолды являются наиболее перспективными материалами для тканевой инженерии за счет ряда уникальных свойств, среди которых можно выделить высокую пористость и высокое отношение поверхности к объему. Данные свойства являются ключевыми в тканевой инженерии, т.к. обеспечивают функциональную поддержку поврежденной ткани и способствуют ее регенерации. Существует множество исследований, свидетельствующих о успешном использовании полимерных скэффолдов, изготовленных из биodeградируемых полимеров.

В последнее время в мире активно ведутся исследования пьезоэлектрических полимеров биомедицинского назначения. Пьезоэлектрические полимеры способны генерировать электрический заряд в ответ на механическую деформацию, который положительно влияет на функциональные особенности различных видов клеток [1]. Полигидроксibuтират (PHB) является одновременно биodeградируемым и пьезоэлектрическим полимером, который обладает низкими пьезоэлектрическими константами по сравнению с небiodeградируемыми пьезополимерами. Однако, согласно литературе, добавление в малых количествах проводящих полимеров, таких как полианилин (PANi), позволяет увеличить пьезоэлектрические константы биокомпозита, и тем самым улучшить биоактивность конечного материала [2]. Кроме того, свойства биокомпозитов на основе PHB и PANi являются слабо изученными, что обуславливает актуальность данной работы.

Еще одним важным свойством материалов биомедицинского назначения является их смачиваемость. Полимерные материалы обладают, как правило, гидрофобной поверхностью, что значительно ограничивает их применение в медицине. Для улучшения смачиваемости возможно создание гибридного биокомпозита с кальций-фосфатными соединениями. Кальций-фосфатные (CaP)

соединения являются неорганической фазой костной ткани и покрытия на их основе позволяют значительно улучшить смачиваемость поверхности. Помимо улучшения смачиваемости, CaP покрытия способствуют росту костной ткани, что делает биоматериалы с данным видом покрытия наиболее перспективными в качестве костных имплантатов. Химический метод формирования CaP покрытия из растворов является наиболее привлекательным для осаждения CaP покрытия на скэффолды. Данный метод относительно прост и дешев в реализации и позволяет формировать покрытие по всему объему материала.

Цель данной работы заключается в получении CaP покрытий методом погружения и исследовании их влияния на смачиваемость новых пьезоэлектрических биокomпозитов на основе PNB и PANi полимеров.

**Экспериментальная часть.** Для создания пьезоэлектрических биокomпозитов использовался метод электроформования. Концентрация PANi в растворах электроформования составляла 1, 2 и 3% (рис 2а). Формирование CaP покрытия проводилось методом поочередного погружения образцов в растворы  $\text{CaCl}_2$  0,5 М и  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  0,3 М с 25% содержанием этанола [3]. 3 цикла поочередного погружения образцов в растворы использовались для формирования равномерного покрытия на всей поверхности скэффолдов. После процедуры осаждения образцы сушились при температуре 50 °С в течении 2 часов. Для характеристики химического состава и морфологии образцов использовались инфракрасная (ИК) спектроскопия с преобразованием Фурье и сканирующая электронная микроскопия (СЭМ).

**Результаты.** На ИК-спектрах (рис. 1) исходных скэффолдов присутствуют все основные пики, характерные PNB, при 2975, 2933, 2875 и 1719  $\text{cm}^{-1}$ , которые соответствуют валентным колебаниям C=O в эфире, ассиметричным и симметричным валентным колебаниям C-H. При добавлении PANi зарегистрирован новый пик при 743  $\text{cm}^{-1}$ , соответствующий колебаниям C-H связей в 1 и 2 ароматических кольцах в структуре PANi. После осаждения CaP покрытия на скэффолдах наблюдаются пики характерные фосфатной группе ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) при 559, 959, 1019  $\text{cm}^{-1}$ . Пик при 600  $\text{cm}^{-1}$  соответствует OH<sup>-</sup> группе [3].

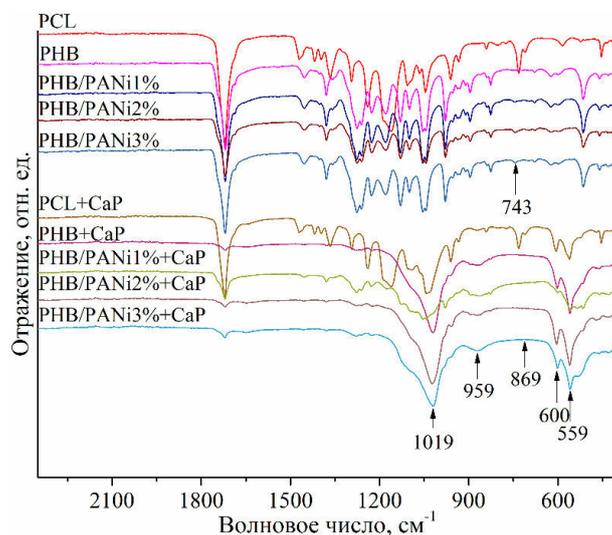


Рис. 1. ИК спектры гибридных полимерных скэффолдов до и после формирования CaP покрытия

Из результатов СЭМ (рис. 2) видно, что после обработки скэффолдов формируется CaP покрытие на поверхности волокон PNB/PANi3% (рис. 2б). На поверхности скэффолдов наблюдалась идентичная картина после обработки.

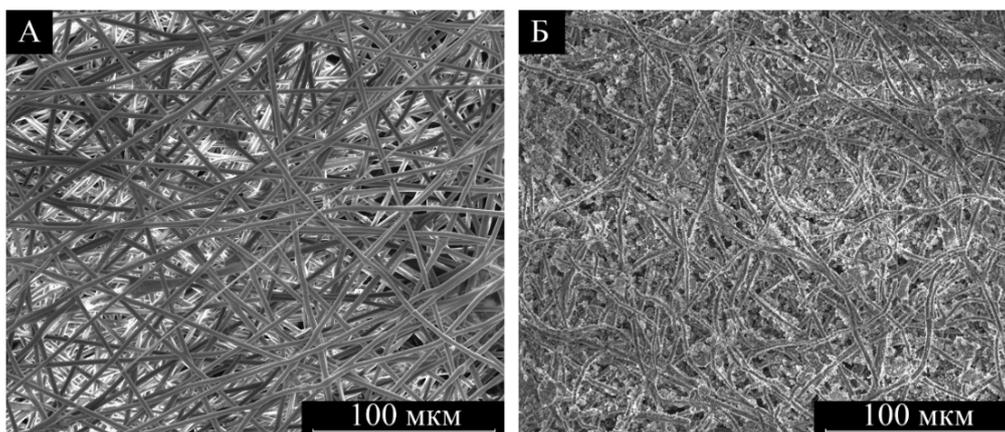


Рис. 2. СЭМ изображения PNB/PANi3% образцов до (А) и после (Б) осаждения CaP покрытия

Результаты измерения КУ смачивания представлены на рис. 3. До осаждения CaP покрытия все скэффолды обладают гидрофобной поверхностью с КУ смачивания более 110°, в то время как, на поверхности всех образцов после осаждения капля воды растекалась по поверхности, т.е. КУ смачивания составил 0°.

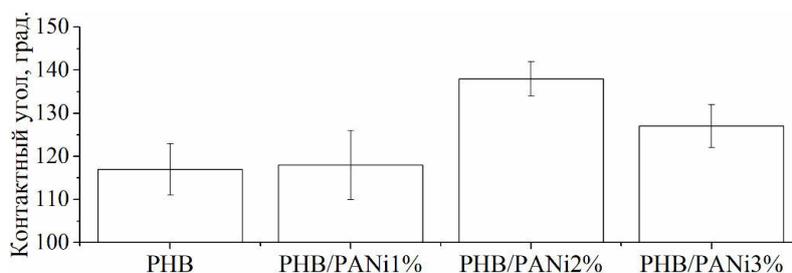


Рис. 3. КУ смачивания полимерных 3-Д скэффолдов до осаждения CaP покрытия

**Заключение.** Сформированное CaP покрытие равномерно распределено на поверхности скэффолдов. Исследование смачиваемости поверхности образцов показало, что модифицирование скэффолдов позволяет существенно изменять смачиваемость поверхности.

Авторы выражают благодарность за помощь в проведении исследований профессору М. Эппле, а также докторам О. Примаку и К. Лозе.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФ (проект 18-73-10050).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ribeiro C., Sencadas V., Correia D. M., Lanceros-Mendez S. Piezoelectric polymers as biomaterials for tissue engineering applications // *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. – 2015. – V. 136. – P. 46-55.
2. Chernozem R. V., Surmeneva M. A., Surmenev R. A. Hybrid biodegradable scaffolds of piezoelectric polyhydroxybutyrate and conductive polyaniline: Piezocharge constants and electric potential study // *Materials Letters*. – 2018. – V. 220. – P. 257-260.
3. Watanabe J., Akashi M. Formation of hydroxyapatite provides a tunable protein reservoir within porous polyester membranes by an improved soaking process // *Biomacromolecules*. – 2007. – V. 8. – P. 2288-2293.