

4. Hyun D.H., Dong J. H., Jong S. C., Minsu P., Tae S. S. Dual Role of Blue Luminescent MoS<sub>2</sub> Quantum Dots in Fluorescence Resonance Energy Transfer Phenomenon // Small. – 2014. – Т. 10. – № 19 – С. 3858-3862.
5. Yang X., Li J., Liang T., Ma C., Zhang Y., Chen H., Hanagata N., Su H., Xu M. Yang X. Antibacterial activity of two-dimensional MoS<sub>2</sub> sheets // Nanoscale. – 2014. – Т. 6. – № 17. – С. 10126-10133.
6. Hideo K. Production and physiological effects of hydrogen sulfide // Antioxid Redox Signal. – 2014. – Т. 20. – № 5. – С. 783–793.
7. Fu L.H., Hu K.D., Hu L.Y., Li Y.H., Hu L.B., Yan H.3, Liu Y.S., Zhang H. An antifungal role of hydrogen sulfide on the postharvest pathogens *Aspergillus niger* and *Penicillium italicum* // Pub Med. – Т. 9. – № 8. – С. 104206.
8. Wu G., Wan F, Fu H., Li N., Gao H. A matter of timing: Contrasting effects of hydrogen sulfide on oxidative stress response in *Shewanella oneidensis* // J Bacteriol. – 2015. – Т. 197 – № 22. – С. 3563–3572.

### **КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ 3D ПЕЧАТИ БИОДЕГРАДИРУЕМЫХ ИМПЛАНТАТОВ, СТИМУЛИРУЮЩИХ РОСТ КОСТНОЙ ТКАНИ**

*Г.Е. ДУБИНЕНКО, Е.Н. БОЛЬБАСОВ, С.И. ТВЕРДОХЛЕБОВ*

Томский политехнический университет

E-mail: [dubinenko.gleb@gmail.com](mailto:dubinenko.gleb@gmail.com)

Одним из наиболее перспективных методов создания имплантатов для приложений травматологии и ортопедии являются технологии 3D печати. Для печати имплантатов методом FDM в настоящее время используется филамент изготовленный из линейных биорезорбируемых полиэфиров таких как полимолочная кислота (PLLA), поликапролактон (PCL), полигликолиевая кислота (PGA) и их сополимеры [1]. Существенным фактором, ограничивающим широкое применение метода Fused Deposition Modeling (FDM) для печати имплантатов для травматологии и ортопедии является низкая функциональная активность полимерных имплантатов что затрудняет дифференцировку ММСК в остеобласты, ограничивая продукцию костной ткани уменьшая прочность фиксации имплантата в костном ложе. Перспективной стратегией решения проблемы низкой функциональной активности полимерных имплантатов, сформированных методом FDM является использование для печати филамента изготовленного из композиционных материалов на основе биodeградируемых полиэфиров и минеральных биологически активных дисперсных наполнителей таких как фосфаты кальция различной химической природы (гидроксиапатит (ГАП), трикальций фосфат (ТКФ) и т.п.) [2,3].

В работе были предложены методики получения высоконаполненного (до 50% по весу) композиционного филамента для 3D печати по технологии FDM на основе биорезорбируемых полиэфиров PLLA и PCL. В качестве наполнителя использовался ГАП. Для исследования были выбраны 3 состава композита: 12,5% ГАП/87,5% полимер; 25% ГАП/75% полимер; 50% ГАП/50% полимер. В качестве контроля был изготовлен филамент из чистых PLLA и PCL. Композит получали методом смешения 10%-го раствора PLLA в хлороформе и 15%-го раствора PCL в ацетоне с порошком ГАП в шаровой мельнице. После смешения растворители выпаривались из композита и выполнялось измельчение полученных композитов до размеров, приемлемых для экструзии. Экструзия композиционных филаментов выполнялась с использованием одношнекового горизонтального экструдера при нагреве до температур близких к температуре плавления полимерной матрицы. Полученные филаменты были использованы для 3D печати пористых скаффолдов по технологии FDM.

Результаты сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) продемонстрировали гомогенное распределение частиц ГАП в поверхностном слое скаффолдов. Средний размер частиц имел значение  $314 \pm 69,95$  нм, что свидетельствует об успешном измельчении ГАП в процессе смешения компонентов в шаровой мельнице. На снимке 1.г можно отметить повышенную шероховатость поверхности скаффолда с 50% наполнением ГАП. Присутствие большого количества гидрофильных частиц ГАП в поверхностном слое скаффолдов в совокупности с шероховатостью поверхности является потенциально благоприятным для повышения смачиваемости скаффолда жидкостями организма и адгезии клеток на их поверхности. Для оценки распределения ГАП в PCL матрице необходимы дальнейшие исследования методом СЭМ.

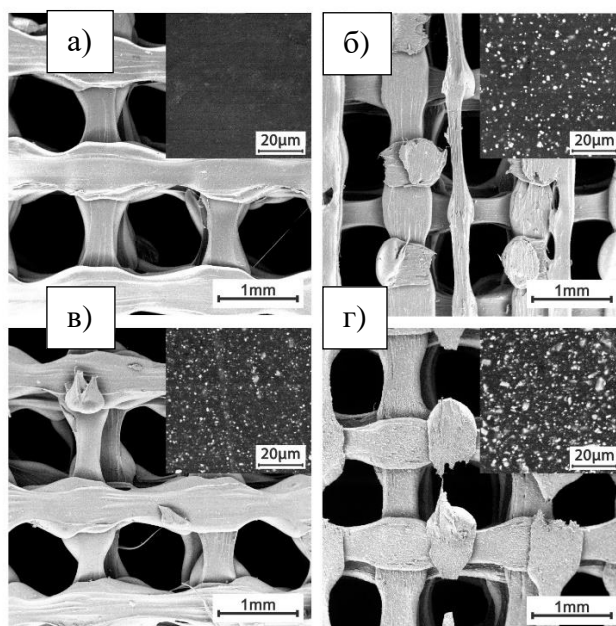


Рисунок 1 – СЭМ-изображения сформированных скаффолдов: а) 100% PLLA; б) 87,5% ГАП/12,5% PLLA; в) 25% ГАП/75% PLLA; г) 50% ГАП/50% PLLA

Для оценки влияния массовой доли наполнителя на физико-химические и механические свойства полученных композитов, необходимо проведение дальнейших исследований, в частности – Рамановской спектроскопии, термогравиметрического анализа и дифференциальной сканирующей калориметрии, рентгенофазового анализа.

#### Список литературы

1. Li X. et al. 3D-printed biopolymers for tissue engineering application // Int. J. Polym. Sci. 2014. Vol. 2014.
2. Neumann M., Epple M. Focus on Biomaterials Composites of Calcium Phosphate and Polymers as Bone Substitution Materials // Eur. J. Trauma. 2006. Vol. 32, № 2. P. 125–156.
3. Rezwan K. et al. Biodegradable and bioactive porous polymer/inorganic composite scaffolds for bone tissue engineering. 2006.