

УДК 621.763

EDN [RSYGBF](#)



## Композиты на основе гидроксиапатита и поликапролактона для 3D печати: краткий обзор рынка

**Е.В. Мараева\***

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет  
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), ул. проф. Попова, 5, Санкт-Петербург,  
197022, Россия

\*E-mail: [evmaraeva@etu.ru](mailto:evmaraeva@etu.ru)

**Аннотация.** В работе рассматриваются основные тенденции в области производства и применения композиционных структур на основе гидроксиапатита и поликапролактона. Обсуждаются основные подходы, которые предлагает семейство аддитивных технологий для биотехнологических применений. Наиболее актуальным направлением в медицине является стоматология и протезирование. Анализируются основные научные группы, занимающиеся печатью из светоотверждаемых полимеров, печатью из керамики и биоматериалов, такие как Carbon3D, Formlabs Envisiontec, Prodways, Planmeca Oy, Shining 3D, Stratasys, Digital Wax System, Roland DGA, Invisalign, Porimy 3D Printing Technology Co, Envision TEC. Лидером в области стоматологии на данный момент является компания Formlabs. Особое внимание уделено вопросам применения аддитивных технологий в тканевой инженерии и созданию композитных скаффолдов на основе полимеров, обогащенных гидроксиапатитом для повышения биоактивности. Обсуждается также распространение 3D-печати в Wellness-индустрии. В России в настоящее время имеет место неуклонное удорожание импортных стоматологических материалов, инструментов и оборудования.

**Ключевые слова:** трехмерная печать, гидроксиапатит, поликапролактон.

## 3D Printing hydroxyapatite-polycaprolactone composites: a brief overview of the market

**E.V. Maraeva\***

Saint Petersburg Electrotechnical University LETI, 5 Prof. Popva st., Saint Petersburg,  
197022, Russia

\*E-mail: [evmaraeva@etu.ru](mailto:evmaraeva@etu.ru)

**Abstract.** The paper discusses the main trends in the production and use of composite structures based on hydroxyapatite and polycaprolactone. The main approaches offered by the family of additive technologies for biotechnological applications are discussed. The most relevant direction in medicine is dentistry and prosthetics. The main scientific groups involved in printing from light-curing polymers, printing from ceramics and biomaterials, such as Carbon3D, Formlabs Envisiontec, Prodways, Planmeca Oy, Shining 3D, Stratasys, Digital Wax System, Roland DGA, Invisalign, Porimy 3D Printing Technology Co, Envision TEC are analyzed. The leader in the field of dentistry at the moment is Formlabs. Particular attention is paid to the application of additive technologies in tissue engineering and the creation of composite scaffolds based on polymers enriched with hydroxyapatite to increase bioactivity. The spread of 3D printing in the Wellness industry is also being discussed. In Russia, there is currently a steady rise in the cost of imported dental materials, instruments and equipment.

**Keywords:** 3D printing, hydroxyapatite, polycaprolactone.

## 1. Введение

Благодаря своим уникальным свойствам, таким как высокая биосовместимость с человеческим организмом и биodeградируемость, гидроксипатит кальция (ГАП) является перспективным материалом для использования во многих областях медицины и косметологии. Одной из таких областей является костная инженерия, в которой гидроксипатит выступает материалом-помощником при восстановлении и регенерации кости, являясь при этом osteoconductive материалом – он может быть использован как пассивный каркас, помогающий прорастанию костной ткани. В области биотехнологий каркасы на основе гидроксипатита могут быть использованы для выращивания и закрепления колоний клеток, культивации клеточных культур, остеосинтеза. В настоящее время необходим поиск решений создания биосовместимого пластика на основе композиций «гидроксипатит-поликапролактон» и методики изготовления каркасов (скаффолдов). Необходимым этапом работы является рассмотрение существующих технологий.

## 2. Постановка задачи (Цель исследования)

Целью работы являлось краткое исследование современного состояния в области производства и применения композиционных структур на основе гидроксипатита и поликапролактона для трехмерной печати.

## 3. Методы и материалы исследования

Краткий обзор составлен на основе анализа работ, проиндексированных на платформе Web of Science в 2021 году, и Интернет-ресурсов.

## 4. Полученные результаты

В настоящее время технология 3D-печати вышла на уровень, где материалы и принтеры способны эффективно обеспечивать сложное и высокоточное производство в различных объемах, согласно требованиям отраслей медицины.

Семейства аддитивных методов для биотехнологических применений предлагает несколько подходов: использование термопластичных полимеров с наполнением, в том числе керамических материалов для послойного наплавления; использование светоотверждаемых материалов (как правило, ультрафиолетовым источником) для

формирования объектов в растворе исходного материала; прямое нанесение биоматериалов (клеток, биообъектов) в соответствующем субстрате.

На данный момент с точки зрения использования новых аддитивных технологий наиболее актуальным направлением в медицине является стоматология и протезирование. Основные компании на рынке производства на 2021 год:

- Печать из светоотверждаемых полимеров: Carbon3D (США), FormLabs (США), Envision TEC (Германия-США), Prodways (Франция), Planmeca Oy (Финляндия), Shining 3D (Китай), Stratasys (США), Digital Wax System (Италия), Roland DGA (США), Invisalign (США);
- печать из керамики: Porimy 3D Printing Technology Co (Китай);
- печать биоматериалов: Envision TEC (Германия-США).

Лидером в области стоматологии на данный момент является компания Formlabs, создавшая ведущий в отрасли принтер Form 2. Используют такие полимеры как Temporary CB Resin для 3D-печати временных коронок и мостовидных протезов, Permanent Crown Resin для 3D-печати с керамическим наполнителем и многие другие.

Technavio в своем исследовании оценивает рост этого сегмента рынка на 1,572 млрд долларов в период 2020-2024 с совокупным среднегодовым темпом 13%.

Применение 3D-печать находит также в области тканевой инженерии. На сегодняшний день интерес вызывают композитные скаффолды на основе полимеров. Ожидается, что глобальный рынок керамики будет расти значительными темпами в течение прогнозируемого периода, в период с 2020 по 2025 год. Для повышения биоактивности ГАП комбинируют с поликаролактоном (ПКЛ). Данное сочетание находится на стадии НИОКР. Так, научная группа Университета медицинских наук Ирана в своей работе [1] использовала нановолоконный скаффолд эластин/ПКЛ/ГАП в сочетании с мезенхимальными стволовыми клетками для восстановления костных дефектов. В Синьцзянском медицинском университете (Китай) так же проводятся исследования скаффолдов на основе ГАП [2]. Еще несколько научных групп таких университетов, как Университет принца Сонгкла (Таиланд) [3], Исследовательский институт имени Ралука Рипана (Румыния) [4], Александрийский университет (Египет) [5] занимаются исследованием наночастиц ГАП и ПКЛ и разработкой скаффолдов на их основе.

Распространение 3D-печати дает возможность компаниям повышать уровень персонализации товаров. Wellness-индустрия с годовым оборотом 50 млрд долларов, продолжит внедрять 3D-технологии, производя изделия, изготовленные на основе биомеханического анализа данных клиентов. Согласно исследованию Gartner, в 2016 году мировые расходы на медицинские продукты, полученные при помощи объемной печати, достигли 660 млн долларов. Примерно 34% этой суммы пришлось на зубные имплантаты. По мнению 55% респондентов опроса компании HP [6], в ближайшие пять лет индустрия здравоохранения станет одним из лидеров по числу инноваций в аддитивном производстве.

## 5. Заключение

В России в настоящее время имеет место неуклонное удорожание импортных стоматологических материалов, инструментов и оборудования. На российском рынке в настоящее время существуют научные инновационные компании, которые производят собственные стоматологические материалы и торгуют отечественными и импортными стоматологическими материалами и оборудованием (ООО «ВладМиВа», ЗАО НПО «Полистом», ООО "НКФ Омега-Дент"). Существует также группа совместных предприятий с иностранными производителями (ЗАО «СтомаДент», группа компаний «Русимплант»). Как правило, производители продукции для стоматологии формируют группу компаний, включающую собственно производственную фирму, исследовательский центр, торговый дом, через который идет реализация собственной продукции, а также товаров, произведенных другими отечественными и зарубежными поставщиками.

## Благодарности

Автор благодарит выпускницу Санкт-Петербургского электротехнического университета «ЛЭТИ» 2021 года А.И. Лебедеву за помощь в поиске информации.

## Список литературы

1. Первушкин, В.И. Губернские статистические комитеты и провинциальная историческая наука / В.И. Первушкин. – Пенза: ПГПУ, 2007. – 214 с.

2. Mallakpour, S. Polycaprolactone/Zno-folic acid nanocomposite films: fabrication, characterization, in-vitro bioactivity, and antibacterial assessment / S. Mallakpour, M. Lormahdiabadi // *Materials chemistry and physics*. – 2021. – Vol. 263 – P. 124378.
3. Yang L. Bioactive Sr<sup>2+</sup>/Fe<sup>3+</sup> co-substituted hydroxyapatite in cryogenically 3D printed porous scaffolds for bone tissue engineering / Yang L., Ullah I., Yu K.D. [et al] // *Biofabrication*. – 2021. – Vol.13 (3). – P. 035007.
4. Rittipakorn P. Bioactivity of a novel polycaprolactone-hydroxyapatite scaffold used as a carrier of low dose BMP-2: an in vitro study / Rittipakorn P., Thuaksuban N., Maingam K. [et al] // *Polymers*. – 2021. – Vol. 13 (3) – P. 466.
5. Mirică I.C. Electrospun Membranes Based on Polycaprolactone, Nano-hydroxyapatite and Metronidazole / Mirică I.C., Furtos G., Lucaciu O. [et al] // *Materials*. – 2021. – Vol. 14(4). – P. 931.
6. Hybrid bioactive hydroxyapatite/polycaprolactone nanoparticles for enhanced osteogenesis / El-Habashy S.E., Eltahir H.M., Gaballah A. [et al] // *Materials Science and Engineering: C*. – 2021. – Vol. 119. – P. 111599.
7. Press.hp.com: сайт – 2021. – URL: [https://press.hp.com/content/dam/digital-manufacturing-report/HP\\_digital\\_manufacturing\\_Study.pdf](https://press.hp.com/content/dam/digital-manufacturing-report/HP_digital_manufacturing_Study.pdf) (дата обращения: 01.10.2022).