

с экзо, экзо-N,N'-этилен-ди(норборнен-5,6-дикарбокси-имидом) проводили в растворе толуола при мольном соотношении мономера к сомономеру 19:1. Сополимеризацию проводили аналогично выше приведенной методики полимеризации мономера. После окончания реакции

сополимер высаживали в избыток гексана и сушили от растворителя.

Далее очищенные полимер и сополимер был исследованы с использованием методов термического анализа и ИК-спектроскопии.

### Список литературы

1. Michael A., Tallon Y., Rogan B., Marie R. Clark, Osama M. Musa, E. Khosravi // *Polymer Chemistry*, 2014.– №52.– P.2477–2501.
2. J. Rule, and J. Moore // *Macromolecules*, 2002.– 35(21).– P.7878–7882.
3. M. Lanier, D. Schade, E. Willems, M. Tsuda, S. Spiering, J. Kalisiak, M. Mercola, J.R. Cashman, // *J. Med. Chem.*, 2011.– V.55.– №2.– P.697–708.

## КОМПОЗИТ НА ОСНОВЕ ПОЛИКАПРОЛАКТОНА И ГИДРОКСИАПАТИТА КАК МАТЕРИАЛ ДЛЯ 3D ПЕЧАТИ ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННЫХ КОСТНЫХ ИМПЛАНТАТОВ

И.О. Акимченко, Г.Е. Дубиненко, А.Л. Зиновьев

Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент, С.И. Твердохлебов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30, akimchenko.igor@gmail.com

По данным исследования, среди ключевых факторов приобретения инвалидности в мире, заболевания опорно-двигательного аппарата занимают второе место [1]. Заболевания опорно-двигательного аппарата поражают лиц всех возрастных групп во всех регионах мира. Ортопедия традиционно связана с разделом клинической медицины, изучающим повреждения опорно-двигательного аппарата (костей, суставов и т.д.), – с травматологией. Имманентно в состав ортопедии и травматологии входит протезирование. Хирургическая реконструкция, трансплантация и медикаментозная терапия являются текущими вариантами клинического лечения различных нарушений, связанных с тканями, включая разрушение и потерю костной ткани. Однако эти методы лечения имеют серьезные недостатки, такие как сильная боль, риск инфекций, воспаление оперируемого участка, иммунное отторжение, передача вирусных и прионных белков [2]. В последние годы важным направлением развития травматологии стало создание новых биорезорбируемых материалов, способных замещать поврежденные ткани и способствовать их регенерации. Основная цель создания таких материалов заключается в развитии технологий создания трехмерных структур, форма которых в точности повторяет строение поврежденных тканей.

Технологии 3D-печати широко используются благодаря их способности создавать сложные трехмерные структуры с высокой воспроизводимостью и точностью. Метод FDM печати, заключающийся в нанесении последовательных слоев расплава полимера на подложку согласно цифровой модели, стал одним из наиболее популярных в качестве экономически эффективного способа изготовления деталей с контролируемой пористостью и размерами пор. На сегодняшний день, для печати медицинских изделий методом FDM используется филамент, изготовленный из биорезорбируемых полиэфиров таких как полимолочная кислота (PLA), поликапролактон (PCL), полигликолевая кислота (PGA) и их сополимеры [3]. Существенным фактором, ограничивающим широкое применение метода FDM для печати имплантатов для травматологии и ортопедии, является низкая функциональная активность полимерных имплантатов что затрудняет дифференцировку мезенхимальных стромальных клеток в остеобласты, ограничивая продукцию костной ткани уменьшая прочность фиксации имплантата в костном ложе. Перспективной стратегией решения этой проблемы является использование для печати филамента изготовленного из композиционных материалов на основе биodeградируемых полиэфиров и био-

логически активных наполнителей, таких как фосфаты кальция.

В данной работе была предложена новая методика получения высоконаполненного (до 60 масс. %) композиционного материала на основе PCL и гидроксиапатита смешением раствора PCL в органическом растворителе с высокодисперсным порошком гидроксиапатита в низкоскоростной шаровой мельнице. Из полученного композита был изготовлен филамент для FDM 3D печати и напечатаны опытные образцы. По результатам Рамановской спектроскопии было показано отсутствие остаточных органических растворителей в композицион-

ном материале. Термическая стабильность и кинетика кристаллизации полимерной матрицы оценивалась после каждого этапа термической обработки методами термогравиметрического анализа и дифференциальной сканирующей калориметрии. Изменение молекулярно-массового распределения в полимерной матрице оценивали методом гель-проникающей хроматографии. По результатам исследований были предложены оптимальные параметры экструзии филамента и 3D печати, позволяющие обеспечить высокую точность печати, термическую стабильность PCL-матрицы и сохранение её молекулярной структуры.

### Список литературы

1. Cooper C. *Global, regional, and national incidence, prevalence, and years lived with disability for 354 diseases and injuries for 195 countries and territories, 1990–2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017* // *The Lancet.*, 2018.– V.392.– №10159.– P.1789–1858.
2. Wang H. et al. *Biocompatibility and osteogenesis of biomimetic nano-hydroxyapatite/polyamide composite scaffolds for bone tissue engineering* // *Biomaterials*, 2007.– V.28.– №22.– P.3338–3348.
3. Li X. et al. *3D-printed biopolymers for tissue engineering application* // *International Journal of Polymer Science*, 2014.– V.2014.

## ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ СИНТЕЗА НА МОРФОЛОГИЮ НОВОГО ПРОИЗВОДНОГО ПОЛИАНИЛИНА

А.Н. Андриянова, Л.Р. Латыпова, А.А. Мубаряков  
Научный руководитель – д.х.н., профессор А.Г. Мустафин

Уфимский Институт химии РАН  
450054, Россия, г. Уфа, пр. Октября 71

Башкирский государственный университет  
4500074, Россия, г. Уфа, ул. Заки Валиди 32, anastasia.shishkina1993@mail.ru

Наиболее широко изучаемым представителем класса сопряженных полимеров является полианилин (ПАНИ) за счет его многочисленных свойств и возможных областей применения. Для улучшения свойств ПАНИ было получено о-замещенное производное полианилина – поли[2-(2-хлор-1-метилбут-2-ен-1-ил)анилин] путем окислительной полимеризации мономера в водных растворах разных кислот. Для полученного ряда соединений было установлено влияние допирующего агента на формирование надмолекулярной структуры.

Модификация ПАНИ приводит к образованию неограниченного количества микро- и наноструктур. Такая структурная гибкость и зависимость от изменяемых условий позволяет установить взаимосвязь структура-свойство

наноразмерных материалов и разрабатывать потенциально возможные приложения, адаптированные для различных типов морфологий, в зависимости от необходимых свойств. Следует отметить, что наиболее важное свойство ПАНИ – электропроводность значительным образом зависит от типа образованной надмолекулярной структуры.

Морфология полученных образцов значительно отличается от структуры ПАНИ и ранее изученного поли-2-(1-метилбут-2-ен-1-ил)анилина (РРА). ПАНИ в классическом представлении обладает фибриллярной структурой, подобно сети. Для производных ПАНИ с алкильными заместителями характерно образование глобулярной надмолекулярной структуры с четко разделенными друг от друга сферами, что было