

удлинения от 65,3 до 42,2 %. Процесс осаждения DLC покрытия на поверхность мембран не оказал влияния на кристаллическую структуру и было установлено, что покрытия, сформированные при исследованных параметрах, являются аморфными, это подтверждается отсутствием рефлексов на углах 43,2, 44,3° и 50,4°, соответствующих алмазу, углероду и графиту. Сформированные на поверхности мембран покрытия не оказывали влияния на угол контакта с водой. При этом контактный угол дийодметана (CH<sub>2</sub>I<sub>2</sub>) уменьшился от 24,2° до 12,6° в случае покрытий. Уменьшение угла контакта свидетельствует об увеличении поверхностной свободной энергии мембран с DLC-покрытием более чем в 10 раз по сравнению с контрольным образцом, от 5,8 до 73,5 мДж/м<sup>2</sup>.

Исследование взаимодействия полученных мембран с клетками *in vitro* проводили с использованием фибробластов эмбриона мыши 3T3L1. Анализ полученных результатов испытаний с помощью флуоресцентной микроскопии с количественным и качественным анализом адгезировавшихся клеток показал, что сформированные покрытия оказались нетоксичными для фибробластов 3T3L1 и не повлияли на рост клеток.

*Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (проект № 21-73-20262).*

## **ПОЛИМЕРНЫЕ МЕМБРАНЫ С TISIN ПОКРЫТИЯМИ ДЛЯ ПРИЛОЖЕНИЙ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ ХИРУРГИИ**

А.А. Лаушкина, Д.В. Сиделёв, Е.Н. Бильбасов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

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

E-mail: [aal76@tpu.ru](mailto:aal76@tpu.ru)

В работе было выполнено плазменное модифицирование полимерных мембран из поливинилиденфторида (ПВДФ) и его сополимера винилиденфторида с тетрафторэтиленом (ВДФ-ТФЭ) с помощью дуального магнетронного распыления Ti и Si мишеней в атмосфере аргона и азота. Цель работы - исследование влияния длительности плазменной обработки на функциональные свойства полимерных мембран.

Мембраны были получены из 6 масс.% раствора ВДФ-ТФЭ и ПВДФ с соотношением 4 к 1. В качестве растворителя использовалась смесь ацетона и диметилацетамида в соотношении 4 к 1. Модифицирование поверхности мембран осуществляли с помощью дуальной магнетронной распылительной системой с Ti (99,9%) и Si (99,99%) мишенями в атмосфере аргона и азота. Морфологию полимерных мембран исследовали методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). Изображения обрабатывали с помощью программного обеспечения Image J. Элементный состав мембран исследовали методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (ЭДС). Измерения краевого угла смачивания поверхности и расчет свободной поверхностной энергии (СПЭ) образцов модифицирования проводили с помощью метода лежащей капли на приборе DSA 25. Краевые углы смачивания воды и формамида, а также поверхностная энергия, были рассчитаны с использованием метода ОВРК. Исследование биосовместимости проводилось с использованием клеточной культуры.

В работе показано, что при увеличении длительности обработки мембран наблюдалось изменение их морфологии. Наблюдалось оплавление мембран, приводящее к поперечным разрывам волокон. При увеличении времени модификации от 3 до 40 мин происходило увеличение среднего диаметра волокон от 0,48 до 0,69 мкм, что обусловлено конденсацией покрытия на волокнах мембраны. Элементный состав поверхности изменяется по мере увеличения длительности плазменной модификации. Концентрация Ti, Si, N и O практически линейно возрастают, а концентрации C и F наоборот уменьшаются при увеличении длительности обработки от 3 до 40 мин. Плазменная модификация поверхности почти не влияет на угол смачивания водой для всех испытаний с различной по длительности обработки. Однако, по мере дальнейшего увеличения длительности плазменной обработки от 3 до 40

мин наблюдается уменьшение краевого угла формамида от 41 до 6°, увеличение свободной поверхностной энергии до ~2500 мДж/м<sup>2</sup>.

Испытания биосовместимости мембран выполнялось для клеточной структуры из человеческих мультипотентных мезенхимальных стволовых клеток (ММСК). Анализ полученных результатов испытаний с помощью флуоресцентной микроскопии с количественным и качественным анализом адгезировавшихся клеток, а также методом СЭМ, показал нелинейную зависимость приживаемости клеточной структуры от условий модификации мембран.

*Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (проект № 21-73-20262).*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПЛАСТИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ МЕТОДАМИ ТРЕХМЕРНОЙ ПЕЧАТИ, ДЛЯ СОЗДАНИЯ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИХ ФАНТОМОВ**

А.С. Ермакова, А.А. Григорьева, А.А. Булавская

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

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

E-mail: [ase31@tpu.ru](mailto:ase31@tpu.ru)

Ядерная медицина использует методы лучевой терапии для лечения злокачественных новообразований. Она включает в себя лучевую терапию, которая направлена на удаление опухолевых клеток, однако, она также оказывает пагубное влияние и на здоровые клетки организма. Лучевую терапию проводят на клинических ускорителях, которые являются источниками как фотонного, так и электронного излучения [1]. В связи с этим перед началом лечения проводят дозиметрическое планирование, для того чтобы минимизировать лучевую нагрузку на здоровые органы и ткани организма. Для верификации дозиметрических планов и обеспечения гарантии качества лучевой терапии применяют дозиметрические тканезквивалентные фантомы. На сегодняшний день активно исследуются новые методы изготовления данных устройств, которые придут на смену коммерчески доступным фантомам. Авторами было исследовано [2], что создание дозиметрических тканезквивалентных фантомов возможно при помощи аддитивных технологий. В связи с этим существует потребность в исследовании свойств материалов, которые отвечают ряду требований для изготовления фантомов, а также пригодны для методов быстрого прототипирования.

В рамках данной работы проводились исследования свойств PLA-пластика в чистом виде и с различными примесями металла. Для этого были изготовлены тестовые образцы методом послойного наплавления на 3D-принтере Prusa i3 MK3s. Для изготовленных тестовых образцов были проведены томографические испытания на компьютерном томографе GE LightSpeed, по результатам которых были определены значения рентгеновских плотностей образцов. На основе полученных значений рентгеновских плотностей с помощью полуэмпирической формулы были рассчитаны значения электронных плотностей образцов.

На следующем этапе работы были проведены дозиметрические испытания тестовых образцов на линейном клиническом ускорителе Elekta Synregy. Полученные данные поглощенных доз соответствовали значениям в пределах погрешности, рассчитанных в планирующей системе Monaco. На заключительном этапе работы была проведена оценка радиационной стойкости образцов на микротроне МИ-5. Образцы были облучены дозой 60 Гр, что соответствует стандартному курсу лучевой терапии. Было показано, что термопластичный материал тестовых образцов является радиоустойчивым и пригодным для изготовления дозиметрических фантомов.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках соглашения 075-15-2022-620 (проект № МК-26.2022.1.2).*