

и получать высокое качественное покрытие и лучшую относительную адгезию. Следующие условия реакции: скорость напыляемых частиц 300 м/с и температура подложки 300 К. Выбраны заданные металлические частицы: Zn, Al, Cu, Ni, Mo, W и подложка Ст20. изучены и сравнены их степени реакции для разных систем (металл-металл и металл-сталь 20).

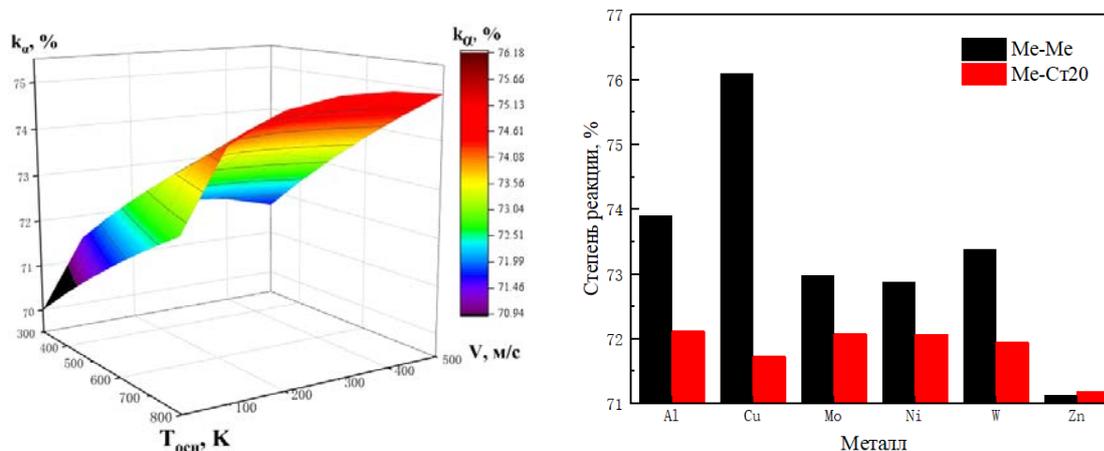


Рисунок 2 – Трехмерное изображение Ni-Ст20 и сравнительная гистограмма степени реакции для разных систем металл-металл и металл-сталь 20

#### Список литературы

1. Коробов, Ю.С., Анализ свойств газотермических покрытий: в двух частях: Часть 2. Оценка параметров покрытий: учебное пособие. – Е.: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, 2016. – 92с.

### ИССЛЕДОВАНИЕ СТЕПЕНИ ГИДРОФИЛЬНОСТИ ПЛЁНОК НА ОСНОВЕ ПОЛИМОЛОЧНОЙ КИСЛОТЫ МОДИФИЦИРОВАННЫХ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМОЙ ПОСЛЕ СТЕРИЛИЗАЦИИ $\gamma$ -ЛУЧАМИ

*Н.М. ИВАНОВА<sup>1</sup>, Е.О. ФИЛИППОВА<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Томский политехнический университет

E-mail: [ivanovanina91@mail.ru](mailto:ivanovanina91@mail.ru)

Разработка материалов, биосовместимых с живой тканью организма на сегодняшний день является уникальным направлением. Благодаря своей способности к деградации в организме человека и высокой биосовместимости полимолочная кислота (ПМК), получила широкое распространение в области медицины и офтальмологии в качестве подложек и скаффолдов для доставки и высвобождения лекарств, предназначенных для регенерации тканей роговицы [1]. На сегодняшний день, ПМК рассматривается в роли кератоимплантата для лечения буллезной кератопатии. В основе заболевания лежит повреждение эндотелиального слоя роговицы, гидратация стромы, и, как следствие, нарушение прозрачности роговой оболочки и снижение зрения [2].

Однако, системы и имплантаты изготовленные на основе ПМК обладают рядом недостатков, таких как гидрофобность и низкая поверхностная энергия, что обуславливает плохую смачиваемость и ограничивает их применение. Наиболее простым решением данной проблемы является модифицирование поверхности полимеров атмосферной низкотемпературной плазмой, которая позволяет безопасно и эффективно изменить

поверхностную энергию и увеличить гидрофильность полимеров без изменения их объемных свойств и применения токсических веществ [3].

Однако, существуют опасения потери приобретенных в ходе модификации низкотемпературной плазмой свойств материала после обязательной процедуры стерилизации, требуемой для профилактики передачи возбудителей инфекции. В настоящее время имеется ряд методов стерилизации изделий на основе полимерных материалов, в частности, материалы на основе ПМК согласно ГОСТ Р ИСО 11137–2000 рекомендуется стерилизовать  $\gamma$ -излучением радионуклида  $^{60}\text{Co}$ .

Целью данного исследования являлось изучение совместного воздействия низкотемпературной плазмы и  $\gamma$ -излучения на степень смачивания поверхности пленок на основе ПМК предназначенных для использования их в качестве материала корнеальных имплантатов для лечения буллезной кератопатии.

**Материалы и методы исследования:** Исходные образцы плёнок были получены из 1% -го раствора полимолочной кислоты ( $M_w=121000$  г/моль (PURASORB® PL 10) в трихлорметане ( $\text{CHCl}_3$ ) (Экрос). Готовый раствор в количестве 10г выливался в чашки Петри, которые помещались в вытяжной шкаф до полного испарения растворителя (72 часа), после чего сформированные полимерные плёнки удалялись из чашки с помощью дистиллированной воды и пинцета. Полученные плёнки для удаления остаточного растворителя помещались в вакуумную камеру при давлении  $10^{-3}$  Торр и температуре  $25^\circ\text{C}$  на 24 часа. Толщина плёнок определялась с помощью оптиметра «ИКВ-3» и составила  $(15,0\pm 0,1)$  мкм.

Модифицирование поверхности плёнок производилось с помощью установки низкотемпературной плазмы при атмосферном давлении (ТПУ). Напряжение – 25 кВ, частота – 5 кГц, плотность мощности –  $2 \text{ Вт/см}^2$ . Плотность мощности составляла величину  $2 \text{ Вт/см}^2$ . Время обработки составляло 30, 60 и 90 секунд.

Стерилизация осуществлялась с использованием гамма-установки «Исследователь №52» с источником радионуклида  $^{60}\text{Co}$ . Экспозиционная доза  $\gamma$ -излучения – 1 кГр (Si, кремний).

Величина краевого угла смачивания измерялась методом сидячей капли с помощью прибора «KRÜSS Easy Drop DSA 20» при комнатной температуре ( $25 \pm 2$ ) $^\circ\text{C}$ . В исследовании использовались три жидкости: деионизованная вода ( $\theta_B$ ), глицерин ( $\theta_G$ ) и N-гексан ( $\theta_N$ ). На образец наносилось пять капель жидкости, объемом 3 мкл. Точность измерения контактного угла  $\pm 0,1^\circ$ . Свободную поверхностную энергию (СЭП) ( $\sigma$ ) рассчитывали методом Оуэнса-Вендта-Рабел-Кэлби (ОВРК) [4].

**Результаты.** Анализ данных смачиваемости поверхности плёнок ПМК показал, что после  $\gamma$  – стерилизации излучением радионуклида  $^{60}\text{Co}$  изменений контактного угла практически не наблюдается. Совместное воздействие на поверхность образцов  $\gamma$  – излучением и низкотемпературной плазмой приводит к уменьшению контактного угла для случая воды, на  $13^\circ$ - $15^\circ$  (9-11%) (рисунок 1а). Данные о СЭП демонстрируют её увеличение приблизительно на 28% за счет роста полярной составляющей, что может быть связано с ростом концентрации кислород-и азотсодержащих полярных радикалов (таких как NO, OH) и промежуточных соединений на поверхности в результате протекания химических реакций при обработке плёнки ПМК низкотемпературной плазмой, которые приводят к повышению смачиваемости полимера [5].

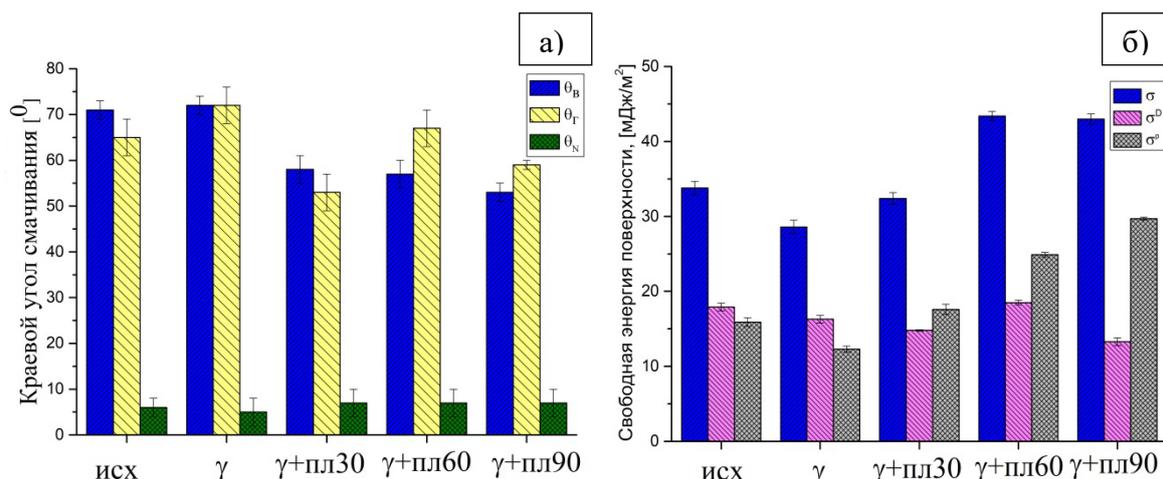


Рисунок 1 - (а) Значения краевого угла смачивания и (б) свободная поверхностная энергия ( $\sigma$ ) внутренней стороны поверхности исходных пленок ПМК, а также после  $\gamma$ -стерилизации и совместного её воздействия на модифицированную поверхность низкотемпературной плазмой в течение 30 сек, 60 сек и 90 сек, где ( $\sigma^D$ ) - дисперсионная и ( $\sigma^P$ ) - полярная составляющие поверхностной энергии

**Заключение.** Комбинированное воздействие  $\gamma$  – излучения и низкотемпературной плазмы атмосферного давления на поверхность плёнок ПМК приводит гидрофилизации поверхности, за счет образования полярных функциональных групп.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №20-08-00648.

#### Список литературы

1. de la Mata A. et al. Poly-l/dl-lactic acid films functionalized with collagen IV as carrier substrata for corneal epithelial stem cells // Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. – 2019. – Т. 177. – С. 121-129.
2. Ivanova N. M. et al. Polylactic Acid Thin Films Properties after Steam Sterilization // Inorganic Materials: Applied Research. – 2020. – Т. 11. – С. 377-384.
3. Chu P. K. et al. Plasma-surface modification of biomaterials // Materials Science and Engineering: R: Reports. – 2002. – Т. 36. – №. 5. – С. 143-206.
4. Wu S. Polymer interface and adhesion. – New York: M. Dekker, 1982. – 621 с.
5. Khorasani M.T., Mirzadeh H., Irani S. Plasma surface modification of poly (L-lactic acid) and poly (lactic-co-glycolic acid) films for improvement of nerve cells adhesion // Radiation Physics and Chemistry. – 2008. – Т.77. – №.3. – С.280-287.

#### ФОРМИРОВАНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА В МИКРОДУГОВЫХ Zn-Si-СОДЕРЖАЩИХ КАЛЬЦИЙФОСФАТНЫХ БИОПОКРЫТИЯХ

*Е.А. КАЗАНЦЕВА<sup>1,2</sup>, Е.Г. КОМАРОВА<sup>1</sup>, М.А. ХИМИЧ<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Томский государственный университет

<sup>2</sup>Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

E-mail: [kati10\\_95@mail.ru](mailto:kati10_95@mail.ru)

Влияние микроэлементов на биологическую роль биоматериалов в последнее время стало важной темой в области исследований формирования костной ткани и эссенциальных элементов организма. Исследования *in vitro* [1] показали, что цинк (Zn) и кремний (Si) являются важными микроэлементами, стимулирующими адгезию, пролиферацию и