

**ВЛИЯНИЕ  $\gamma$  – СТЕРИЛИЗАЦИИ НА ПОВЕРХНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ  
ПОЛИМОЛОЧНОЙ КИСЛОТЫ МОДИФИЦИРОВАННЫХ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ  
ПЛАЗМОЙ**

Н.М. Иванова, Е.О. Филиппова

Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. В.Ф. Пичугин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

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

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

**INFLUENCE OF  $\gamma$  - STERILIZATION ON SURFACE PROPERTIES OF THIN FILMS BASED  
ON POLYLACTIC ACID MODIFIED BY LOW-TEMPERATURE PLASMA**

N.M. Ivanova, E.O. Filippova

Scientific Supervisor: Prof., Dr. V.F. Pichugin

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

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

***Abstract.** In this work the effect of  $\gamma$ -sterilization and their combined effect with low-temperature plasma (treatment time was 30, 60, and 90 s) on the surface properties of polylactic acid (PLA) films was investigated. An analysis of the data showed that the starting films possess hydrophobic properties with a contact angle in the range of (80 ÷ 78) °, and treatment with low-temperature plasma together with  $\gamma$ -sterilization increases hydrophilicity and decreasing the contact angle by ( 27-33%).*

**Введение.** Полимолочная кислота (ПМК), ввиду своей способности к деградации в организме человека и высокой биосовместимости, получила широкое распространение в области офтальмологии в качестве микросфер, подложек и скэффолдов для доставки и высвобождения лекарств, предназначенных для регенерации тканей роговицы [1-3]. 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 [4].

Однако, системы на основе ПМК имеют ряд недостатков, таких как гидрофобность и низкая поверхностная энергия, что обуславливает плохую смачиваемость и ограничивает их применение. Модифицирование поверхности полимеров атмосферной низкотемпературной плазмой позволяет быстро и безопасно изменить поверхностную энергию и увеличить гидрофильность полимеров без изменения их объемных свойств и применения токсических веществ [5].

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

Однако, совместное воздействие низкотемпературной плазмы и  $\gamma$ -излучения может повлиять на поверхность материала, и привести к изменению физико-химических и поверхностных характеристик пленок на основе ПМК, что и определило цель настоящей работы.

**Материалы и методы исследования.** Исходные пленки формировались методом полива из раствора [1]. 1% -й раствор полимолочной кислоты с молекулярным весом,  $M_w=121000$  г/моль (PURASORB, Нидерланды) в трихлорметане ( $CHCl_3$ ) (Экрос, Россия) выливали по чашкам Петри в количестве  $(10\pm 1)$ грамм. После полного испарения растворителя (72 часа), пленки помещались в вакуум на 24 часа (давление  $10^{-3}$  Торр, температура  $25^\circ C$ ).

Толщина пленок определялась с помощью оптиметра «ИКВ-3» и составила  $(15,0\pm 0,1)$  мкм.

Модификация поверхности осуществлялась с помощью экспериментальной установки атмосферной низкотемпературной плазмы (ТПУ). Обработка пленок из ПМК производилась в следующем режиме: частота - 5 кГц, напряжения импульса - 25 кВ, плотность мощности - 2 Вт/см<sup>2</sup>. Время обработки: 30,60 и 90 секунд.

Стерилизацию производили с использованием гамма-установки «Исследователь №52» с источником радионуклида <sup>60</sup>Со. Экспозиционная доза  $\gamma$ -излучения – 1 кГр (Si, кремний).

Исследование топографии поверхности пленок проводилось с помощью атомно-силового микроскопа (АСМ) «Solver-HV» (NT-MDT, Россия). Режим работы полуконтактный. Область сканирования 30х30мкм. Обработка полученных изображений проводилась с использованием программы Gwyddion 2.47 согласно ГОСТ 2789–73.

Смачиваемость поверхности полученных образцов измерялась методом сидячей капли с помощью прибора «KRÜSS Easy Drop DSA 20» при комнатной температуре  $(25 \pm 2)^\circ C$ . В исследовании использовались три жидкости: деионизованная вода ( $\theta_w^\circ$ ), глицерин ( $\theta_g^\circ$ ), и N-гексан. На образец наносились 3 капли жидкости, объемом 3 мкл. Расчет поверхностной энергии осуществлялся методом Оуэнса-Вендта-Рабел-Кэлби (ОВРК).

**Результаты.** Исследование поверхности образцов методом АСМ проводили с двух сторон: внутренней (контакт с Чашкой Петри) и внешней (контакт с атмосферой). Согласно полученным данным, представленным в таблице 1, внутренняя сторона поверхности исходных пленок менее шероховатая по сравнению с внешней, что обусловлено методикой получения. Анализ данных, представленных в таблице 1, показывает, что воздействие  $\gamma$ -излучения несколько сглаживает поверхность пленки (табл. 1), однако последовательное воздействие плазмы и  $\gamma$ -излучения увеличивает шероховатость поверхности пленки.

Анализ данных смачиваемости поверхности показал, что в пленках ПМК для случая воды, краевой угол смачивания для внутренней и внешней сторон различается незначительно, и до обработки плазмой и/или  $\gamma$ -излучением составляет порядка  $78-80^\circ$  (рис.1).  $\gamma$  – стерилизация приводит к уменьшению контактного угла на 11%. Воздействие плазмы и  $\gamma$ -излучения вызывает дальнейшее снижение краевого угла смачивания и увеличение поверхностной энергии приблизительно на 44% (табл.1), что связано с увеличением полярности поверхности, что может быть связано с ростом концентрации полярных радикалов на поверхности.

**Заключение.** В работе показано, что степень шероховатости поверхности ( $R_a$ ) пленки ПМК несущественно сказывается на величине краевого угла смачивания, а процесс гидрофилизации протекает за счет воздействия плазмой и/или  $\gamma$ -излучением.

Таблица 1

Средняя шероховатость и свободная поверхностная энергия поверхности пленок ПМК

Параметры	Обозначение / размерность	Исходные		γ-стерилизация			γ-стерилизация + плазма					
		Внутренняя сторона	Внешняя сторона	Внутренняя сторона	Внешняя сторона	30 секунд		60 секунд		90 секунд		
						Внутренняя сторона	Внешняя сторона	Внутренняя сторона	Внешняя сторона	Внутренняя сторона	Внешняя сторона	
Средняя шероховатость	( $R_a$ ): нм	5,0 ± 2,0	7,0 ± 2,0	4,0 ± 1,0	4,5 ± 1,0	5,0 ± 2,0	9,0 ± 3,0	8,0 ± 2,0	11,0 ± 2,0	12,0 ± 2,0	14,0 ± 3,0	
Свободная поверхностная энергия	( $\gamma$ ) мДж/м <sup>2</sup>	26,5 ± 0,8	29,2 ± 0,5	29,8 ± 0,8	28,6 ± 0,9	31,6 ± 0,8	32,4 ± 0,8	42,9 ± 0,7	43,4 ± 0,6	42,7 ± 0,7	43,0 ± 0,7	

Примечание: Все приведенные значения в таблице – средние величины.

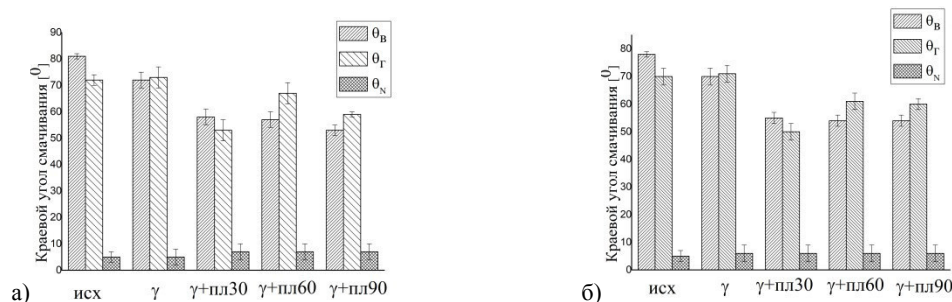


Рис. 1. Краевой угол смачивания ( $\theta_w$  – вода,  $\theta_g$  – глицерин,  $\theta_n$  – N-гексан) для внутренней и внешней стороны пленок ПМК после модифицирования низкотемпературной плазмой в течение 30 сек, 60 сек и 90 сек и их совместного воздействия с γ-излучением

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №19-415-703005.

### 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. – V. 177. – P. 121-129.
2. Iesavand H. et al. Investigation on absorption and release of mercaptopurine anticancer drug from modified polylactic acid as polymer carrier by molecular dynamic simulation // Materials Science and Engineering: C. – 2019. – V. 105. – P. 110010.
3. Sharma A. K. et al. Overview of biopolymers as carriers of antiphlogistic agents for treatment of diverse ocular inflammations // Materials Science and Engineering: C. – 2016. – V. 67. – P. 779-791.
4. Каспарова Е. А. и др. Клиническая эффективность персонализированной клеточной терапии заболеваний эндотелия роговицы // Катарактальная и рефракционная хирургия. – 2011. – Т. 11. – №. 2. – С. 45-49.
5. Chu P. K. et al. Plasma-surface modification of biomaterials // Materials Science and Engineering: R: Reports. – 2002. – V. 36. – №. 5. – P. 143-206.