

## КЛЕТОЧНО-МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ВОПРОСЫ ГЕМО- И БИОСОВМЕСТИМОСТИ АЛМАЗОПОДОБНЫХ УГЛЕРОДНЫХ ПЛЕНОК. КРАТКИЙ КРИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

© 2021 г. А. Е. Полухина<sup>1,2</sup>, В. В. Малащенко<sup>1,3</sup>, А. С. Гренадёр<sup>1</sup>, К. А. Юрова<sup>3</sup>, А. А. Соловьёв<sup>1</sup>,  
Л. С. Литвинова<sup>3,\*</sup>, И. А. Хлусов<sup>3,4,5</sup>

<sup>1</sup>Институт сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук, Томск, 634055 Россия

<sup>2</sup>Кафедра биохимии и молекулярной биологии с курсом клинической лабораторной диагностики  
Сибирского государственного медицинского университета, Томск, 634050 Россия

<sup>3</sup>Центр иммунологии и клеточных биотехнологий Балтийского федерального университета им. И. Канта,  
Калининград, 236041 Россия

<sup>4</sup>Кафедра морфологии и общей патологии Сибирского государственного медицинского университета, Томск, 634050 Россия

<sup>5</sup>Исследовательская школа химических и биомедицинских технологий Томского политехнического университета,  
Томск, 634050 Россия

\*E-mail: larisalitvinova@yandex.ru

Поступила в редакцию 03.02.2021 г.

После доработки 16.02.2021 г.

Принята к публикации 16.02.2021 г.

По публикациям последних 20 лет проведен обзор тонких аморфных пленок, состоящих из углерода в состоянии  $sp^3$  (алмаз) и  $sp^2$  (графит) гибридизации атомных орбиталей, и называемых поэтому алмазоподобными (diamond-like carbon, DLC). Основной акцент сосредоточен на связи биомедицинских и физико-химических параметров анализируемых покрытий. Представлены: методы формирования и общие требования к DLC покрытиям для сердечнососудистых имплантатов; *in vitro* реакция белков крови, тромбоцитов, лейкоцитов, фибробластов, эндотелиальных и гладкомышечных клеток; влияние легирования DLC-покрытий кремнием и его оксидами на клеточные и молекулярные параметры их гемо- и биосовместимости. Широкие вариации физико-химических, механических и трибологических свойств DLC-пленок, разброс методов их биомедицинского тестирования *in vitro* не позволяют пока выделить наиболее подходящие покрытия для конкретных приложений в области стентов, сердечных клапанов и перфузионных насосов. Сделано заключение о необходимости смещения разрозненных фундаментальных исследований DLC-покрытий в направлении прикладных разработок, а также изучения поведения конкретных покрытий, исходя из конструкторских, (био)механических, физико-химических и биомедицинских требований для каждого вида медицинских изделий, контактирующих с кровью.

**Ключевые слова:** клетки крови, клетки сосудистой стенки, фибриноген, альбумин, *in vitro* реакция, тонкое углеродное покрытие, легирование кремнием, физико-химические свойства

DOI: 10.31857/S0041377121030093

Сердечнососудистые заболевания (ССЗ) широко распространены во всем мире и являются одной из ведущих причин смертности населения (Чазова и др., 2015). Несмотря на то, что общее число сердечнососудистых операций и манипуляций, проведенных в США, снизилось на 6% в сравнении с 2004 г., в 2014 г. кардиохирургическим манипуляциям были

подвергнуты 8 миллионов пациентов (Benjamin et al., 2019). А согласно прогнозам American Heart Association, к 2030 г. 40.5% жителей США будут страдать одной из форм ССЗ (болезни коронарных сосудов, сердечная недостаточность, заболевания клапанов, кардиомиопатия, гипертензия и инсульт) (Roger et al., 2012). В Российской Федерации в 2016 году смертность от ССЗ более чем в 1.5–9 раз превышала соответствующие показатели в США и европейских странах (Benjamin et al., 2019).

Ведущими инвазивными методами лечения ССЗ остаются стентирование, замена клапанов сердца, ангиопластика, шунтирование сосудов и трансплан-

**Принятые сокращения:** АЧТВ – активированное частичное тромбопластиновое время; ГМК – гладкомышечные клетки; КОЕ-Ф – колониеобразующие единицы фибробластов; МСК – мезенхимные стволовые клетки; ССЗ – сердечнососудистые заболевания; DLC – алмазоподобные углеродные (diamond like carbon) покрытия; МСР-1 – моноцитарный хемотаксический протеин 1; PDGF – тромбоцитарный фактор роста.