

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Соломахи Ольги Александровны «**Модификация частиц целлюлозы и производных графена полианионами для получения остеопластических материалов на основе биodeградируемых полиэфиров**», представленной на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.7 – Высокомолекулярные соединения

Восстановление костных дефектов остаётся одной из ключевых проблем регенеративной медицины. Существующие подходы (ауто-/ксенотрансплантаты, металлические и керамические имплантаты) имеют серьёзные ограничения: от необходимости дополнительных операций до риска отторжения или несоответствия механических свойств. Разработка биodeградируемых, биосовместимых и osteoconдуктивных полимерных материалов является востребованным направлением. Диссертация О.А. Соломахи, направленная на создание композитов на основе поли( $\epsilon$ -капролактона) (ПКЛ) или поли(L-лактида) (ПЛЛА) с модифицированными наполнителями (нанокристаллическая целлюлоза, оксид и аминированный графен), актуальна и соответствует современным тенденциям в химии высокомолекулярных соединений и биоматериаловедению.

Впервые разработаны методы химической модификации нанокристаллической целлюлозы амфифильными производными поли(глутаминовой кислоты) и гепарина, включая окисление вицинальных диолов с последующим восстановлением оснований Шиффа; предложены подходы к прививке поли(глутаминовой кислоты) на поверхность оксида и аминированного графена; получены и систематически охарактеризованы композиционные материалы на основе поли( $\epsilon$ -капролактона) и поли(L-лактида) с модифицированными наполнителями, показано их положительное влияние на механические свойства, биосовместимость и osteoгенный потенциал; а также продемонстрирована принципиальная возможность использования 3D-печатных матриц на основе ПКЛ и модифицированной НКЦ для регенерации костной ткани *in vivo* с достижением восстановления дефекта до 55% через 3 месяца.

Модифицированные частицы обладают термостабильностью, достаточной для переработки в расплаве ( $T_5 > 200$  °С для НКЦ-производных и для модифицированного АГ), что позволяет использовать их для 3D-печати. Полученные композиты показывают улучшенную адгезию и пролиферацию мезенхимальных стволовых клеток, стимулируют биоминерализацию (увеличение содержания кальция до 0,62 ат% против 0,07 ат% у ПКЛ/ПКЛ+10%НКЦ). В экспериментах *in vivo* композит ПКЛ+10%НКЦ–ПГлу35 с адгезированными МСК обеспечил восстановление костного дефекта до 55% через 3 месяца, что подтверждает высокий потенциал разработанных материалов для остеопластики.

Работа выполнена с использованием современного комплекса физико-химических и биологических методов ( $^1\text{H}$  ЯМР, твердотельная  $^{13}\text{C}$  ЯМР, ИК-спектроскопия, РФЭС, ДРС, ЭФРС, ТГА, механические испытания, МТТ-тест, гистология и др.). Достоверность полученных результатов не вызывает сомнений. Работа прошла широкую апробацию на ряде Международных и Всероссийских конференций. Результаты согласуются с литературными данными и опубликованы в 6 статьях в рецензируемых журналах (в т.ч. *Polymers*, *Emergent Materials*, *Journal of Biomedical Materials Research*).

При общей положительной оценке работы в качестве недостатков можно отметить:

1. Полимеризация N-карбоксиянгидрида с раскрытием цикла, инициируемая аминогруппами, предполагает рост цепи путём последовательного присоединения молекул

мономера к концевому амину. В идеальном случае степень полимеризации (DP) привитых цепей должна соответствовать мольному соотношению загруженного мономера к инициатору. Однако экспериментальный DP (35) более чем на порядок ниже теоретически ожидаемого (~625), а доля мономера, встроившегося в привитые цепи, составляет около 5,6%. Причины столь низкой эффективности и факторы, ограничивающие рост цепей, в автореферате не обсуждаются.

2. В работе показано, что модифицированная НКЦ действительно улучшает механические свойства композитов по сравнению с нативной НКЦ как для ПКЛ, так и для ПЛЛА. Однако тип улучшения принципиально различен. Для ПКЛ (табл. 10) наблюдается армирование пластичной матрицы: модуль возрастает при сохранении пластичности. Для ПЛЛА (табл. 8) даже при использовании модифицированной НКЦ композиты остаются хрупкими ( $\epsilon_r = 3-4\%$ , предел текучести отсутствует), а прочность снижена по сравнению с чистым полимером. В тексте автореферата эти два случая не разделены, и оценка «улучшение механических свойств» используется без учёта потери пластичности, что может вводить в заблуждение относительно практической пригодности композитов на основе ПЛЛА для нагруженных остеопластических применений.

3. В работе приведены значения Mw для полимеров в одной временной точке (табл. 9, 11, 15) и отсутствуют данные о потере массы образцов во времени, что не позволяет отличить поверхностную деградацию от объёмной. Для полиэфиров, деградирующих по объёмному механизму, кинетические кривые падения Mw и потери массы необходимы для определения критической точки (начала резкой потери механической прочности) и оценки пригодности материала для остеопластики. Без этих данных прогнозирование поведения имплантата in vivo затруднено.

Указанные замечания не носят принципиального характера и не снижают общей высокой оценки диссертационной работы. Работа выполнена на высоком научном уровне, является завершённым и оригинальным исследованием и по своей актуальности, научной новизне, достоверности полученных результатов, а также научной и практической значимости полностью соответствует критериям, установленным п. 9 «Положения о присуждении учёных степеней» (утверждено постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 в действующей редакции), предъявляемым к кандидатским диссертациям. В этой связи Соломаха Ольга Александровна заслуживает присуждения учёной степени кандидата химических наук по специальности 1.4.7 – Высокомолекулярные соединения.

Заведующий лабораторией функциональных полимеров  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
«Иркутский институт химии им. А.Е. Фаворского СО РАН»,

кандидат химических наук



Поздняков Александр Сергеевич

Я, Поздняков Александр Сергеевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

664033, г. Иркутск, ул. Фаворского, д. 1, тел. +7 (3952) 51-14-31, e-mail:  
irk\_inst\_chem@irioch.irk.ru

19 мая 2026 года

