

**Влияние углеродных нанотрубок на структурно-механические свойства  
желатин- $\kappa$ -каррагинановых гидрогелей**

**Научный руководитель – Зуев Юрий Федорович**

**Макарова Анастасия Олеговна**

*Аспирант*

Казанский институт биохимии и биофизики Казанского научного центра РАН, Казань,  
Россия

*E-mail: tat355@mail.ru*

Гидрогели на основе природных биополимеров (белков и полисахаридов) доказали свою незаменимость в тканевой инженерии, 3D-биопечати и в других активно разрабатываемых биотехнологических и биомедицинских областях. Наличие трёхмерного полимерного каркаса (сетки) и водной дисперсионной среды обеспечивает гидрогелям определенные механические свойства и хорошую проницаемость для высоко- и низкомолекулярных веществ [1]. Применение гидрогелей во многом определяется ограниченностью их механических свойств. Одним из способов расширения диапазона этих свойств является применение различных армирующих добавок. В последнее время внимание исследователей в этом направлении привлекли наноматериалы, которые могут улучшить механические свойства гидрогелей [2].

Целью данной работы являлось изучение структурно-морфологических и механических свойств композиционных белок-полисахаридных гидрогелей и изменений указанных свойств при добавлении многостенных углеродных нанотрубок. Исследованы гидрогели на основе катионного белка желатина и анионного полисахарида  $\kappa$ -каррагинан. Структурная организация сконструированных систем исследовалась с помощью автоэмиссионного сканирующего электронного микроскопа Merlin (Carl Zeiss, Германия) и атомно-силового микроскопа Titanium (NT-MDT, Россия). Механические свойства исследовались с помощью реометра Physica MCR102 (Anton Paar, США) с использованием измерительной системы «плита-плита».

Установлено, что добавление наноматериала привело к изменению морфологии и свойств гидрогелей. Методами атомно-силовой и электронной микроскопии подтверждено отсутствие признаков агломерации наночастиц. Методом атомной силовой микроскопии было обнаружено, что структурная сетка гидрогеля образуется за счет присоединения белка к полисахариду. Слабая зависимость модулей упругости и потерь от частоты осцилляции подтверждает наличие структурированной гидрогелевой сетки в исследуемых в биоматериалах. Добавление в систему углеродных нанотрубок приводит к повышению упругости гидрогеля, представляющего собой псевдопластичную жидкость.

Таким образом, методами сканирующей электронной и атомно-силовой микроскопии были определены структурные параметры гидрогелей и их трансформации, связанные с присутствием наночастиц. Результаты реологических исследований свидетельствуют об упрочнении структуры гидрогеля за счет его модификации добавлением углеродных нанотрубок.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-38-90085 и Стипендии Президента РФ СП-1165.2019.1. Изучение образцов с помощью электронной микроскопии выполняли в Междисциплинарном центре «Аналитическая микроскопия» Казанского (Приволжского) федерального университета.

**Источники и литература**

- 1) Chirani N., Yahia L.H., Gritsch L., Motta F.L., Chirani S., Fare S. History and Applications of Hydrogels // Journal of Biomedical Science. 2015, №4(2). p.1–13.
- 2) Kugler S, Kowalczyk K, Spsychaj T. Progress in organic coatings hybrid carbon nanotubes/graphene modified acrylic coats // Progress in Organic Coatings. 2015, № 85. p. 1-7.