

УДК 535.3

**ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАЦИИ АКТИВНЫХ ФОРМ КИСЛОРОДА
НАНОКОМПОЗИТАМИ AIS/TiO₂ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ИЗЛУЧЕНИЯ РАЗНЫХ
СПЕКТРАЛЬНЫХ ДИАПАЗОНОВ**

Баранов К.Н. (Университет ИТМО), Орлова А. О. (Университет ИТМО)

**Научный руководитель – к. ф.-м. н. Колесова Е.П.
(Университет ИТМО)**

В данной работе была проанализирована способность нанокomпозитов, состоящих из ядра AgInS₂ квантовых точек и оболочки из наноструктурированного TiO₂ генерировать активные формы кислорода под действием излучения УФ и видимого диапазона. Продемонстрировано, что нанокomпозиты способны эффективно генерировать супероксид и гидроксильный радикал под действием УФ излучения, и супероксид под действием видимого излучения. Эффективная генерация супероксида под действием излучения, лежащего в области прозрачности TiO₂, свидетельствует об эффективном фотоиндуцированном переносе электрона от ядра к оболочке нанокomпозитов, что делает такие системы перспективными для терапии бактериальных инфекций.

Введение. На сегодняшний день не существует эффективного метода терапии бактериальных инфекций. Причиной этого стала проявившаяся устойчивость бактерий к антибиотикам. Ежегодно возникают новые штаммы бактерий устойчивых к одному или нескольким типам антибиотиков. Этот факт остро ставит вопрос о необходимости поиска новых альтернативных методов терапии бактериальных инфекций. Оксидативный стресс бактерий при взаимодействии с активными формами кислорода (АФК) может привести к дальнейшей гибели бактерий. Данный механизм лежит в основе фотодинамической терапии бактериальных инфекций. Эффективным источником генерации АФК являются наноструктурированные материалы, в частности наночастицы диоксида титана (TiO₂). Ранее соавторами данной работы были сформированы многослойные гибридные структуры на основе квантовых точек CdSe и наночастиц TiO₂. Структуры продемонстрировали высокую эффективность генерации АФК под действием излучения УФ и видимого диапазона. Генерация АФК под действием видимого диапазона возможна за счет эффективного фотоиндуцированного переноса электрона из зоны проводимости КТ в зону проводимости TiO₂. Таким образом, сочетание двух компонентов в структурах позволило объединить поглощение КТ и высокую фотокаталитическую активность TiO₂. Многослойные структур продемонстрировали высокую антибактериальную активность на нескольких штаммах бактерий, что делает их перспективными агентами для ФДТ инфекций. Однако такой подход для формирования гибридных структур, обладает рядом недостатков. Морфология гибридных структур, и наличие стабилизатора на поверхности КТ и наночастиц TiO₂ могут значительно снизить их функциональность. Кроме того, формирования многослойных структур на какой-либо поверхности значительно ограничивает возможности применения таких структур для терапии инфекций. Создание гибридных структур на стадии синтеза способно решить эти вопросы и значительно увеличить потенциальную антибактериальную активность системы. Примером такой системы являются нанокomпозитные частицы, состоящие из люминесцирующей КТ, покрытой оболочкой TiO₂. В данной работе в качестве ядра выступили тройные КТ AgInS₂, которые ввиду отсутствия в составе Cd стали достойными конкурентами традиционным КТ для биомедицинских приложений. Целью данной работы стало выявление закономерностей генерации АФК нанокomпозитами AIS/TiO₂ под действием излучения разных спектральных диапазонов, что позволит оценить потенциал данной системы для терапии бактериальных инфекций.

Основная часть. На первом этапе создания системы AIS/TiO₂ был проведен синтез КТ AgInS₂. После чего происходило наращивание оболочки TiO₂, которое происходило с использованием буюксида титана. Предварительная характеристика синтезированных

наноконпозитов показала, что наращивание оболочки происходит сразу на несколько КТ, и суммарный размер наноконпозитов превышает 100 нм. Оценка эффективности генерации АФК была проведена с помощью химических сенсоров р-нитрозодиметиланилин (RNO) и кумарин-3-карбоновая кислота (3-ССА), которые широко используются для исследования структур на основе диоксида титана. Выбранные сенсоры селективны к разным АФК, и их использование позволит сделать выводы о способности наноконпозитов генерировать супероксид и гидроксильный радикал под действием излучения УФ и видимого диапазона. При взаимодействии RNO сенсора с супероксидом происходит окисление хромофорной группы сенсора и его фотообесцвечивание на 440 нм. Продуктом взаимодействия сенсора 3-ССА с гидроксильным радикалом (OH^\cdot) является 7-гидроксикумарин-3-карбоновая кислота (7-ОНССА), которая характеризуется люминесценцией на 447 нм. Образец, состоящий из водного раствора AIS/ TiO_2 и химического сенсора, подвергался длительному облучению, в течение которого периодически регистрировались спектры поглощения и люминесценции образца. В качестве источников излучения были использованы ртутная лампа с выделенной длиной волны излучения 365 нм (мощность 3 мВт) и излучение диода с длиной волны 465 нм (мощность 3 мВт). Исследование генерации гидроксильного радикала наноконпозитами AIS/ TiO_2 показало, что под действием УФ излучения наблюдается увеличение интенсивности люминесценции образца на длине волны 447 нм, что свидетельствует об эффективной генерации OH^\cdot радикала. Под действием видимого излучения не наблюдалось изменения интенсивности люминесценции образца, что говорит об отсутствии генерации гидроксильного радикала при воздействии излучения, лежащего области прозрачности оболочки TiO_2 . В случае использования сенсора RNO для исследования генерации наблюдается принципиально иная картина. Эффективное фотообесцвечивание сенсора происходит под действием и УФ, и видимого излучения. Что в данных условиях является доказательством генерации супероксида TiO_2 как при прямом поглощении внешнего излучения, так и за счет переноса электрона от AIS ядра к оболочке TiO_2 . Следует отметить, что химические сенсоры являются сложно комплексной системой и определение оптимальных условий для проведения эксперимента, при котором не будет ложноотрицательных и ложноположительных откликов сенсора, является нетривиальной задачей.

Выводы. В результате данной работы были определены оптимальные условия для исследования генерации АФК с помощью химических сенсоров. Продемонстрировано, что сформированная оболочка TiO_2 способна генерировать супероксид и гидроксильный радикал под действием УФ излучения. Под действием видимого излучения наблюдается эффективная генерация супероксида за счет переноса электрона от AIS ядра к оболочке TiO_2 композита. Анализ изменения оптических свойств сенсора показал отсутствие генерации гидроксильного радикала под действием видимого излучения. В дальнейшем планируется исследовать антибактериальную активность синтезированных наноконпозитов AIS/ TiO_2 на нескольких штаммах бактерий.

Баранов К.Н. (автор)

Подпись

Колесова Е.П. (научный руководитель)

Подпись