

УДК 538.958

## СОЗДАНИЕ КОМПЛЕКСОВ НАНОЧАСТИЦ ПОРИСТОГО ДИОКСИДА КРЕМНИЯ С МОЛЕКУЛАМИ Al-СУЛЬФОФТАЛОЦИАНИНА ДЛЯ ФОТОДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕРАПИИ

Тиходеева Е.О. (Университет ИТМО), Колесова Е.П.  
(Университет ИТМО)

Научный руководитель – доктор физ.-мат наук, доцент Орлова А.О.  
(Университет ИТМО)

В работе сформированы комплексы молекул Al-сульфофталоцианина (Al-ФЦ) с наночастицами пористого диоксида кремния и наночастицами диоксида кремния, допированного квантовыми точками AgInS<sub>2</sub>. Проведено исследование оптических и фотофизических свойств сформированных комплексов в воде и питательной среде. Представлены данные, свидетельствующие об агрегации Al-ФЦ на поверхности наночастиц и зависимости степени агрегации молекул от относительной концентрации компонент в растворе. Показано, что при переводе комплексов из водной в питательную среду происходит заметное изменение свойств комплексов.

**Введение.** Смесь молекул Al-сульфофталоцианина (Al-ФЦ) с различной степенью сульфирования, является основой препарата Фотосенс, успешно применяемого для фотодинамической терапии. Согласно данному методу лечения, лекарственное вещество возбуждают локально внешним источником интенсивного света. Однако, есть риск, что активация фотосенсибилизатора будет происходить из-за взаимодействия с солнечным или комнатным освещением, приводя к неконтролируемому повреждению здоровых тканей. Важной особенностью Al-ФЦ является то, что «фотоактивными» свойствами обладает лишь его мономерная форма, в то время как агрегаты Al-ФЦ не люминесцируют и не способны генерировать синглетный кислород, а, следовательно, безопасны. Инициировать агрегацию Al-ФЦ можно за счет нейтрализации сульфогрупп, которые обеспечивают электростатическое отталкивание молекул. Этого можно добиться, присоединяя молекулы к поверхности положительно заряженных наночастиц (НЧ). Создание таких комплексов позволит сконцентрировать молекулы на поверхности НЧ и повысить эффективность их доставки к клеткам (например, за счет присоединяя к НЧ специфических антител). При этом ожидается, что активность фотосенсибилизатора внутри клеток подавлена не будет, так как в ряде работ было показано, что в них происходит мономеризация Al-ФЦ. Основываясь на данных представлениях, была предложена идея создания комплексов Al-ФЦ с положительно заряженными НЧ, на поверхности которых Al-ФЦ будет находиться в состоянии агрегата, и, лишь проникнув в клетку, переходить в мономерную форму.

**Основная часть.** В ходе работы были созданы комплексы Al-ФЦ с двумя типами НЧ: наночастицами пористого диоксида кремния (Si-НЧ) и наночастицами диоксида кремния, допированными квантовыми точками AgInS<sub>2</sub> (AIS) (AIS-Si-НЧ). Размеры НЧ оставляли  $60 \pm 10$  нм, на поверхности НЧ располагались положительно заряженные аминогруппы. Образование комплексов осуществлялось за счет электростатического взаимодействия отрицательно заряженных сульфогрупп Al-ФЦ и положительно заряженных аминогрупп на поверхности НЧ.

Согласно сравнению оптических свойств растворов комплексов и растворенного в воде осадка, полученного путем центрифугирования соответствующих растворов, эффективность комплексообразования в воде достигает 95%. В случае комплексов Al-ФЦ с AIS-Si-НЧ, доказательством эффективного комплексообразования также выступает наличие резонансного переноса энергии по механизму Ферстера (FRET) от НЧ к Al-ФЦ. Анализ

спектральных характеристик водных растворов свидетельствует об агрегации Al-ФЦ в комплексах.

При переводе комплексов в питательную среду было зафиксировано значительное изменение их свойств: наблюдались признаки мономеризации Al-ФЦ. Анализ спектров магнитного кругового дихроизма показал, что перевод комплексов в питательную среду хоть и способствует переходу Al-ФЦ в мономерную форму, не приводит к полному распаду агрегатов Al-ФЦ. Снижение эффективности FRET от AIS-Si-НЧ к Al-ФЦ также свидетельствовало о частичном распаде комплексов в питательной среде. Исследование влияния относительной концентрации компонентов смеси на свойства комплексов показало, что степень агрегации молекул Al-ФЦ в составе комплексов определяется относительной концентрацией компонентов в образцах.

**Выводы.** В ходе работы в водных растворах были сформированы стабильные комплексы Al-ФЦс двумя типами НЧ. Было проведено сравнение оптических свойств растворов комплексов с раствором свободного Al-ФЦ и обнаружены признаки агрегации Al-ФЦ на поверхности наночастиц. Показано, что при переводе комплексов из воды в питательную среду происходит частичный распад комплексов и мономеризации Al-ФЦ. Продемонстрирована выраженная зависимость свойств комплексов от относительной концентрации компонент в растворе. Показано, что, варьируя это соотношение, можно тонко изменять характеристики итоговой системы.