

Спектрально-люминесцентные свойства комплексов индотрикарбоцианинового красителя с наноразмерными алмазами

Н.В. Белько, М.П. Самцов, Г.А. Гусаков, А.П. Луговский,
А.А. Луговский, В.А. Пархоменко

Институт прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко
Белорусского государственного университета, Минск
E-mail: nikita.belko@gmail.com

Ультрадисперсные алмазы (УДА) характеризуются биосовместимостью, инертностью и низкой токсичностью [1]. Данный наноматериал считается перспективным для направленной доставки органических молекул в живом организме и визуализации биологических процессов [2]. Эффективная флуоресцентная диагностика в биомедицине возможна при использовании веществ, полосы поглощения и люминесценции которых расположены в области прозрачности биологических тканей.

Получение люминесцирующих УДА, пригодных для оптической диагностики *in vivo*, является возможным, однако данный процесс сопряжен с технологическими трудностями [2]. Более простыми в синтезе представляются комплексы детонационных УДА с органическими красителями. В такой системе наноалмазы обеспечивают стабильность, химическую инертность и селективность доставки, а молекулы красителя отвечают за спектрально-люминесцентные свойства, наилучшим образом подходящие для конкретного применения.

Целью данной работы является исследование спектрально-люминесцентных свойств индотрикарбоцианинового красителя при связывании с УДА в водной среде. Полосы поглощения и флуоресценции свободного красителя расположены в спектральной области наибольшей прозрачности биологических тканей, а его гидрофобная природа способствует стабильности комплексов красителя с УДА.

В экспериментах использовали образцы УДА детонационного синтеза марки УДА-СП (ЗАО «Синта», Беларусь). Порошок УДА в состоянии поставки был подвергнут вакуумному отжигу в течение 1 часа при температуре 750 °С при давлении 10^{-2} Па. Условия отжига были выбраны на основании того, что такая обработка обеспечивает минимальное количество функциональных групп на поверхности УДА [3]. Более того, в предварительных экспериментах было установлено, что отжиг при 750 °С приводит к наиболее эффективному взаимодействию наноалмазов с красителем. Суспензии УДА изготавливали в деионизованной воде с последующим диспергированием в ультразвуковой ванне. Далее производилось центрифугирование суспензий и отделение супернатанта, который использовался в экспериментах. Исследуемый индотрикарбо-

цианиновый краситель практически не растворяется в воде. Приготовление комплексов красителя с УДА осуществлялось путем введения 5 % стокового этанольного раствора красителя в водную суспензию УДА.

В отсутствие УДА водные растворы красителя содержат мономеры, димеры и H^* -агрегаты с максимумами поглощения при 706, 658 и 514 нм соответственно (Рис. 1). Значительная часть молекул находится в агрегированном состоянии, что объясняется гидрофобной природой красителя. При смешивании водного раствора красителя с суспензией УДА происходит распад H^* -агрегатов с одновременным повышением концентрации мономеров и димеров (Рис. 1). Дезагрегация красителя в присутствии наноалмазов свидетельствует об образовании комплексов.

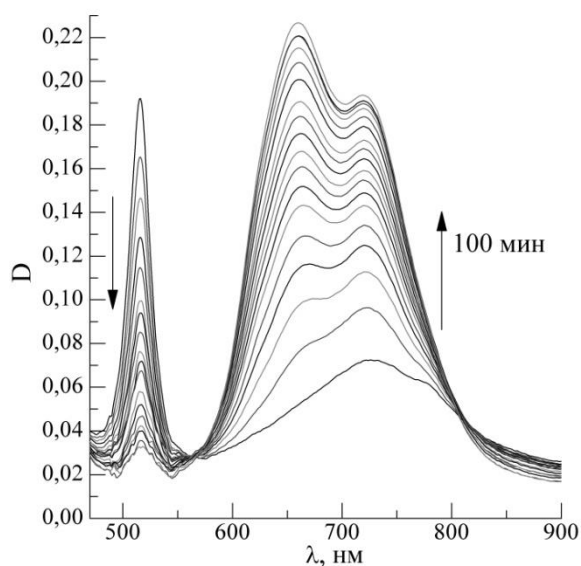


Рис. 1. Кинетика изменения спектра поглощения после смешивания водного раствора красителя с суспензией УДА в соотношении 1:1

Дополнительные сведения о взаимодействии красителя с УДА можно получить с помощью флуоресцентной спектроскопии. На Рис. 2 показан спектр поглощения красителя в водной суспензии УДА (кривая 1) в сравнении со спектром поглощения мономеров в водном растворе в отсутствие УДА (кривая 2). В первом спектре присутствует два максимума поглощения при 668 и 722 нм, а во втором – единственная полоса при 706 нм. Таким образом, при введении красителя в суспензию УДА в спектре не проявляется полоса поглощения свободных мономеров при 706 нм. По всей видимости, полоса при 722 нм соответствует мономерам красителя, связанным с поверхностью УДА. Максимум поглощения при 668 нм принадлежит димерам красителя. Спектры возбуждения и испускания флуоресценции близки для свободных мономеров и для

красителя в суспензии УДА (Рис. 2). Спектры возбуждения по форме и положению соответствуют спектру поглощения свободных мономеров красителя. Следовательно, эти центры ответственны за флуоресценцию в обоих случаях. Это означает, что в суспензии УДА также присутствуют свободные момеры красителя, однако их концентрация настолько мала, что максимум поглощения при 706 нм неразличим на фоне полосы при 722 нм. Отсутствие максимума свободных мономеров в спектре поглощения красителя при взаимодействии с УДА подтверждает вывод о том, что значительная доля молекул связывается с поверхностью нанодiamondов.

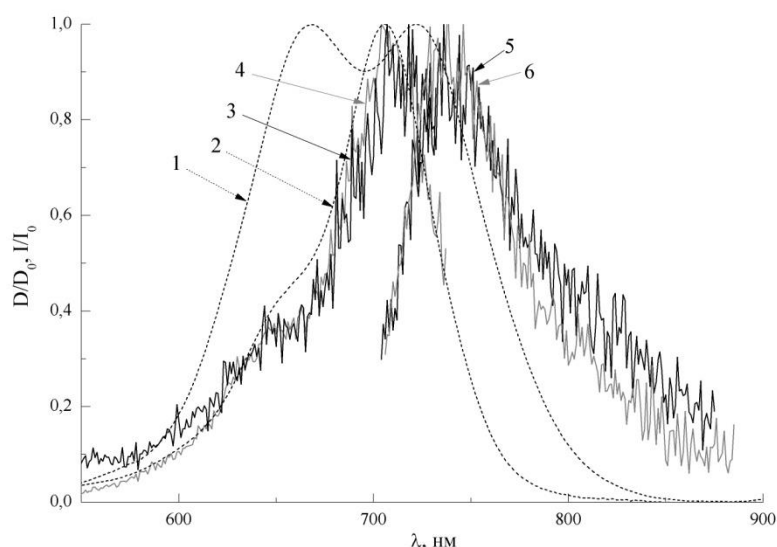


Рис. 2. Нормированные спектры поглощения – 1, 2, возбуждения флуоресценции – 3, 4, испускания флуоресценции – 5, 6 красителя в водной суспензии УДА – 1, 3, 5, свободных мономеров красителя в водном растворе – 2, 4, 6

Таким образом, комплексы индотрикарбоцианинового красителя с УДА в водной среде характеризуются полосой поглощения, батохромно смещенной относительно спектра свободных мономеров. За флуоресценцию в суспензии УДА ответственны свободные момеры.

1. Mochalin V.N., Pentecost A., Li X.M. et al. // Molecular pharmaceutics. 2013. V. 10, No. 10. P. 3728–3735.
2. Say J.M., van Vreden C., Reilly D.J. et al. // Biophys. Rev. 2013. V. 3, No. 4. P. 171–184.
3. Гусаков Г.А., Самцов М.П., Луговский А.А., Луговский А.П. // Прикладные проблемы оптики, радиофизики и физики конденсированного состояния: Матер. 4-й Междунар. научн.-практ. конф. Мн.: НИУ «Институт прикладных проблем имени А.Н. Севченко» БГУ, 2017. С. 237–239.