

УДК 535.37; 539.19

DOI: 10.17223/00213411/63/8/70

Ю.В. АКСЕНОВА<sup>1</sup>, Р.Т. КУЗНЕЦОВА<sup>1</sup>, А.А. ПРОКОПЕНКО<sup>1</sup>, В.А. ПОМОГАЕВ<sup>1,4</sup>,  
Е.В. АНТИНА<sup>2</sup>, М.Б. БЕРЕЗИН<sup>2</sup>, А.С. СЕМЕЙКИН<sup>2</sup>

## ОСОБЕННОСТИ ФОТОНИКИ ГАЛОГЕН-ДИПИРРОМЕТАНАТОВ С p- И d-ЭЛЕМЕНТАМИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СТРУКТУРЫ ЛИГАНДОВ И ТИПА КОМПЛЕКСООБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ \*

Приведен анализ и интерпретация экспериментальных и теоретических данных по спектрально-люминесцентным, фотофизическим и фотохимическим свойствам дипиррометанатов в зависимости от структуры лиганда, типа комплексообразователя, растворителя и его фазового состояния (температуры). Обсуждаются особенности фотоники, связанные с нарушением физико-химических свойств в ряду замещенных дипиррометанатов по гетероатомам и «тяжелым» атомам: природе, месту и числу таких заместителей.

**Ключевые слова:** дипиррометены, BODIPY, координационные соединения, фотоника, квантовые выходы фото-процессов.

### Введение

В последние годы возрос интерес к ковалентным комплексам дипиррометанов (dpm) с p- и d-элементами (дипиррометанатами). В конце прошлого столетия они были синтезированы как лазерные красители с повышенной фотостабильностью и интенсивно изучались именно с этой точки зрения [1–3]. Известно, что в зависимости от структуры лиганда, типа комплексообразователя и среды, в которую они помещаются, значительно изменяются их спектрально-люминесцентные свойства [4–6]. Это формирует различные пути применения соединений данного класса в оптических устройствах. На основе дипиррометанатов возможно создание активных сред перестраиваемых лазеров, флуоресцентных зондов, люминесцентных сенсоров, фотосенсибилизаторов для генерации синглетного кислорода, используемого в фотодинамической терапии (ФДТ) [7, 8]. В связи с этим изучение взаимосвязи фотофизических и фотохимических характеристик со строением дипиррометановых комплексов является актуальным и способствует не только углублению фундаментальных знаний о фотонике сложных органических соединений, но и расширению способов их применения, созданию более эффективных и менее дорогостоящих активных сред для видимой и ближней ИК-области.

Следует отметить, что изучение констант скоростей дезактивации энергии возбуждения в сложных органических молекулах (излучательной, внутренней и интеркомбинационной конверсий) в зависимости от структуры и введенных гетерозаместителей активно проводилось в теоретических работах В.Г. Плотникова, еще в 70 годах прошлого столетия [9]. Именно В.Г. Плотниковым было показано, что интеркомбинационная конверсия возрастает не только при наличии «тяжелых» атомов в структуре, действуя на матричный оператор спин-орбитального взаимодействия, но и при наличии гетероатомов, когда наряду с  $\pi\pi^*$ -энегетическими состояниями существуют  $n\pi^*$ -состояния, в результате взаимодействия которых интеркомбинационная конверсия возрастает на 2–3 порядка по сравнению с соединениями, где гетероатомы (а значит,  $n\pi^*$ -состояния) отсутствуют. В связи с этим развитие и применение этой методологии для изучения фотоники дипиррометанатов и объяснение ее особенностей на данном этапе весьма актуальны.

### Объекты и методы исследования

В качестве объектов исследования был выбран ряд производных борфторидных (BODIPY) и цинковых  $[Zn(dpm)_2]$  комплексов дипиррометанов. Структурные формулы комплексов и их обозначения приведены на рис. 1. Синтез данных соединений проведен в Институте химии растворов им. Г.А. Крестова РАН и ИГХТУ (г. Иваново) [10, 11]. Состав и структура комплексов подтверждены данными ИК-спектроскопии, ПМР и элементного анализа. Выбранные для исследования

\* Результаты были получены в рамках выполнения госзадания Минобрнауки России, проект № 0721-2020-0033.

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала  
**«Известия высших учебных заведений. Физика»**  
осуществляется на платформе  
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU  
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>