

КОМПЛЕКСЫ ЕВРОПИЯ С ФТОРИРОВАННЫМИ КАРБАЗОЛСОДЕРЖАЩИМИ ТЕТРАКЕТОНАМИ

© 2025 г. А. Г. Шубина^{1,*}, Т. С. Кострюкова², Д. Е. Пугачев², Д. В. Парамонов²,
С. З. Вацадзе³, Н. В. Васильев^{1,2}

¹ Государственный университет просвещения,
Москва, 105005 Россия

² Государственный научно-исследовательский институт биологического приборостроения,
Москва, 125424 Россия

³ Институт органической химии имени Н. Д. Зелинского,
Москва, 119991 Россия

*e-mail: shubina.anna98@yandex.ru

Поступило в редакцию 10 марта 2025 г.

После доработки 2 апреля 2025 г.

Принято к печати 3 апреля 2025 г.

Осуществлен синтез комплексных соединений фторсодержащих тетракетонов на основе карбазола с ионами европия(III), проведена оценка люминесцентно-спектральных свойств полученных комплексов и установлен точный стехиометрический состав. Положение максимума в спектре возбуждения (≥ 370 нм) комплексов, значительный Stokes сдвиг (>250 нм), а также длительное время жизни возбужденного состояния (400–700 мкс), позволяет рассматривать синтезированные комплексные соединения в качестве потенциальных реагентов для флуоресцентного иммуноанализа с временным разрешением.

Ключевые слова: комплексы европия, фторсодержащие тетракетоны, карбазол, люминесценция, иммунофлуоресцентный анализ, флуоресцентный иммуноанализ

DOI: 10.31857/S00444460X25030061, **EDN:** DDPWCSJ

ВВЕДЕНИЕ

Синтез и свойства тетракетонов на основе таких дибензосодержащих пятичленных соединений как карбазол, дибензофуран, дибензотиофен, флуорен описаны ранее [1–3]. Изучены также процессы комплексообразования и люминесцентно-спектральные свойства полученных лигандов с Eu^{3+} в водных растворах в присутствии солигандов (синергистов). При этом комплексы исследуемых тетракетонов в индивидуальном состоянии не были получены и охарактеризованы. Это связано с тем, что проведение подобных исследований затруднено ввиду чрезвычайно низкой растворимости тетракетонов, что сужает выбор растворителей для изучения процессов получения их комплексов.

Кроме того, увеличенная дентатность лигандов, в сравнении с хелатами ряда 1,3-дикетонов, снижает вероятность стехиометрического взаимодействия при комплексообразовании. Вместе с тем, люминесцентным методом *in situ* показана достаточно высокая устойчивость комплексов тетракетонов с Eu^{3+} в водных растворах [1]. Особый интерес представляют комплексные соединения на основе тетракетонов карбазола, люминесцентно-спектральные свойства которых оптимально подходят для практического применения в флуоресцентном иммуноанализе с временным разрешением [2]. Так, изучены люминесцентно-спектральные свойства водных растворов комплексов европия с N-замещенными фторсодержащими тетракетонами на основе карбазола и определены закономерности эмиссии в

зависимости от природы заместителей [2]. Получены и применены в качестве люминесцентных меток белковых молекул тетракетоны на основе карбазола, содержащие две [4] или одну карбоксигруппу [5, 6]. Получаемые при этом меченные конъюгаты имеют стабильную длительную люминесценцию, времена жизни порядка 500–700 мкс при возбуждении в области 375 нм.

Кроме иммунофлуоресцентного анализа, люминесценция комплексов европия с фторсодержащими 1,3-дикарбонильными соединениями на основе карбазола оказалась весьма успешно используемой для создания светодиодных устройств. Так, смешанный комплекс европия с 9-этилкарбазол-3-ил-4,4,4-трифторбутано-1,3-дионом и 1,10-фенантролином, полученный в работе [7], является «хорошим кандидатом в качестве красного компонента при изготовлении белых светодиодов с высоким индексом цветопередачи». Аналогичное применение предполагается для синтезированного смешанного комплекса европия с 7-*трет*-бутил-9-этилкарбазол-2-ил-4,4,4-трифторбутано-1,3-дионом и 1,10-фенантролином, описанное в работе [8], а также и для тетракетона на основе 9-этилкарбазола [9].

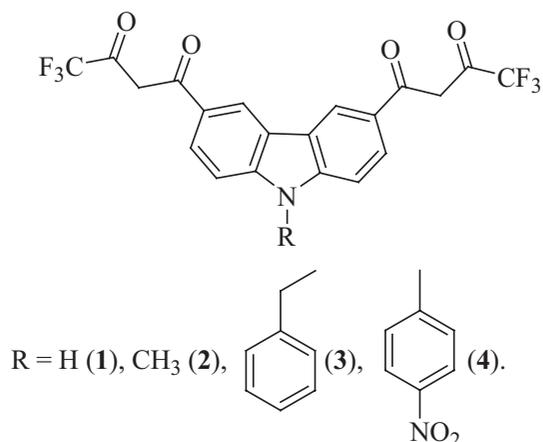
В литературе подробно описаны методы получения фторсодержащих 1,3-дикетонатов европия(III), например, с нафтоилтрифторацетоном, теноилтрифторацетоном и т. д. [10, 11]. При этом, ионы Eu^{3+} , как правило, образуют комплексы с координационными числами 8, реже 9 или 10. В процессе комплексообразования с 1,3-дикетонами выполняется соотношение $\text{Eu}:\text{лиганд} = 1:3$, и в образующихся гексакоординационных комплексах оставшиеся две координации заполняются молекулами воды [11]. В таких гидратированных комплексах наблюдается значительное снижение интенсивности люминесценции и времени жизни возбужденного состояния, поэтому молекулы воды замещают лигандами с донорными свойствами, например, азотсодержащими комплексонами (фенантролин, бипиридин и т. д.) [12]. Во флуоресцентном иммуноанализе в качестве солиганда часто используют фосфорорганические соединения, среди которых наиболее распространен триоктилфосфиноксид, который даже в водных растворах активно вытесняет воду из координационной сферы, что препятствует тушению люминесценции [13].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Настоящая работа посвящена синтезу и выделению комплексов фторированных тетракетонов на основе карбазола с Eu^{3+} , а также изучению люминесцентно-спектральных характеристик с целью определения возможностей использования их в качестве реагентов для флуоресцентного иммуноанализа. Исходные комплексоны **1–4** содержат у атома азота карбазольного фрагмента заместители различной природы, что позволяет проследить влияние электронных эффектов последних на люминесцентно-спектральные свойства комплексов (схема 1). Синтез фторированных тетракетонов **1–4** осуществлен методом, схожим с описанным в работе [2].

Предварительная спектральная оценка комплексообразования в водном растворе проведена люминесцентным методом при комплексообразовании тетракетона **1** с Eu^{3+} в избытке триоктилфосфиноксида в воде. Концентрация лиганда в исследуемых растворах изменялась с шагом 0.25 моль относительно концентрации Eu^{3+} . Полученная зависимость имеет довольно сложный симбатный характер (рис. 1), и можно заметить, что при комплексообразовании гексадентатное связывание Eu^{3+} –лиганд **1** (2:3) должно было бы достигаться при соотношении 1:1.5, однако максимум люминесценции наблюдается при соотношении 1:1.75, что видимо обусловлено влиянием избытка триоктилфосфиноксида.

Схема 1.



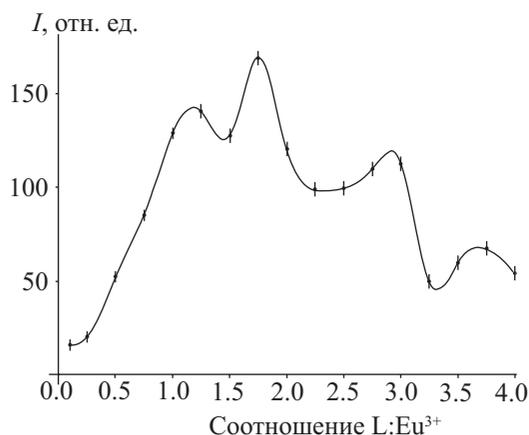


Рис. 1. Зависимость интенсивности люминесценции от соотношения Eu^{3+} -лиганд.

Поскольку в водных растворах интенсивная люминесценция достигается при простом смешении реагентов (комплексонов) с раствором соли Eu^{3+} , то первоначально синтез комплекса осуществляли в отсутствие акцептора протонов в полярном растворителе (тетрагидрофуран) с последующим

высаживанием неполярным растворителем (гептан). Оказалось, что при взаимодействии нитрата европия с комплексом **2** образуется комплекс **5**, имеющий состав $\text{Eu}:2:(\text{NO}_3)_2:3\text{H}_2\text{O}$, т. е. вытеснение нитрат-иона, который также является комплексоном, неполное (схема 2). Строение **5** может рассматриваться в двух вариантах: как внутренний комплекс **5a** и как комплексный полимер, образующийся в результате линейной поликонденсации **5b**, образование которого представляется предпочтительным исходя из его физико-химических свойств (низкая растворимость в большинстве растворителей, температура разложения $>240^\circ\text{C}$).

В присутствии акцептора, синтез комплексов тетракетонов **1–4** проводили в метиловом спирте, который обеспечивал оптимальную растворимость реагентов. При введении европия в комплекс использовались гексагидраты нитрата европия или хлорида европия, что не оказало влияния на конечный результат. В качестве акцептора использовался метилат натрия, приготовленный *in situ*. При проведении реакций были получены комплексы **6–9** с удовлетворительными выходами (схема 3).

Схема 2.

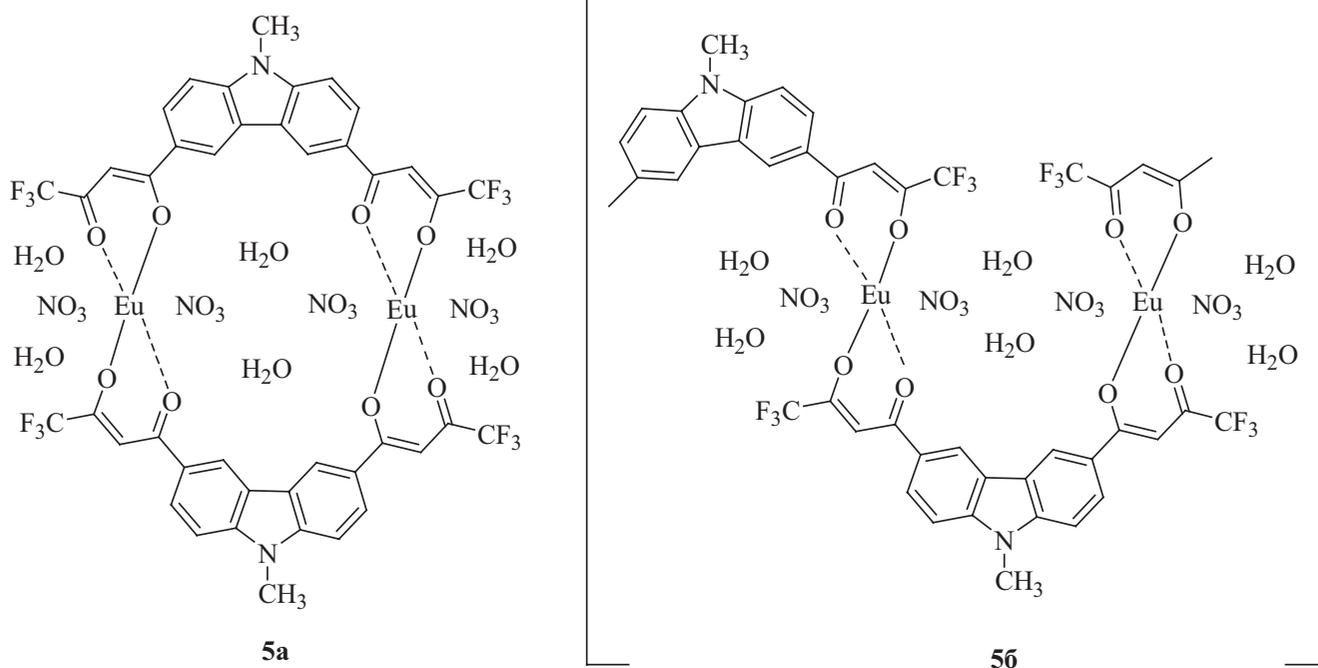


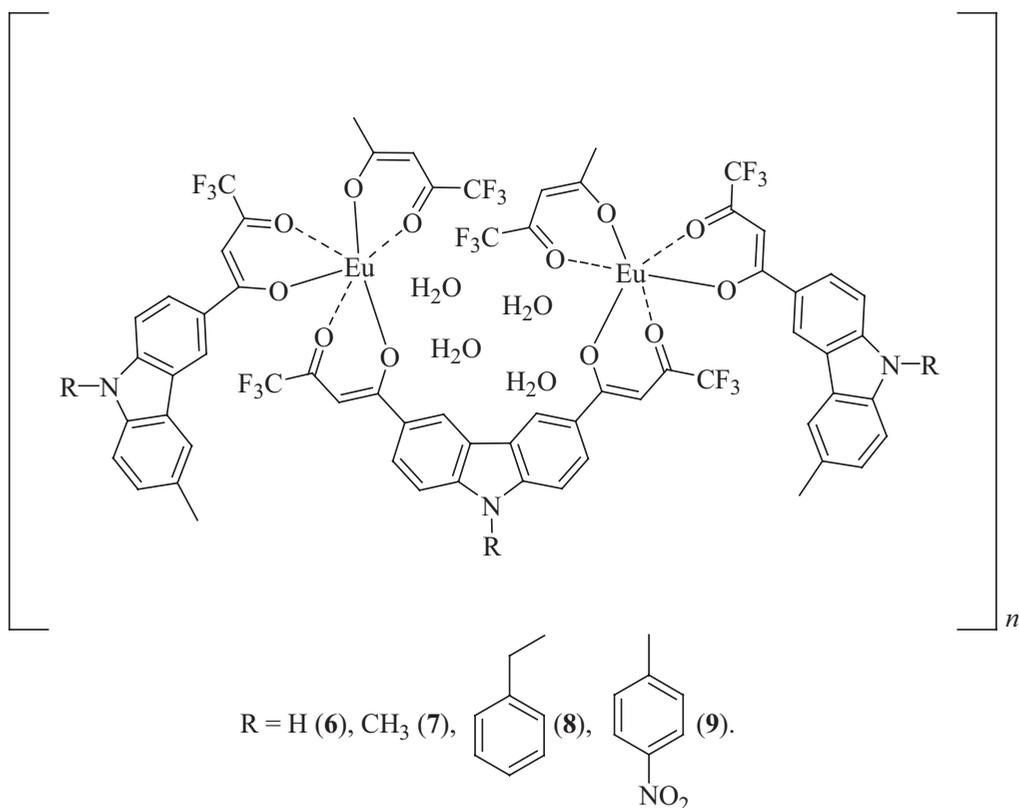
Схема 3.



6–9

X = Cl, NO₃; L = 1–4.

Схема 4.



Комплексы **6–9** по строению соответствуют гексадентатному типу, а координационное число 8 достигается гидратацией свободных вакансий молекулами воды. Процесс комплексообразования, по сути, представляет собой нелинейную поликонденсацию и **6–9** представляют собой трехмерные поликонденсаты комплексного типа (схема 4).

В соответствии с этим, комплексы **6–9** не плавятся, а разлагаются при температурах $>240^\circ\text{C}$, не подвергаются хроматографическому и масс-спектральному изучению. Спектры ЯМР ^1H осложнены парамагнитной составляющей, обусловленной электронным

строением европия и неинформативны. Типичный спектр ЯМР ^1H на примере комплекса **7** приведен на рис. 2. Можно видеть, что парамагнитное уширение резонансных линий ограничивает анализ спектра.

Комплексообразование тетракетона **2** с европием было изучено также и в присутствии синергического комплексона – триоктилфосфиноксида, взятого в избытке. В результате из координационной сферы иона замещена только одна молекула воды, и образовывался комплекс **10** состава $3\text{L}:2\text{Eu}$:триоктилфосфиноксид: H_2O , что свидетельствует о невысоком сродстве этого лиганда.

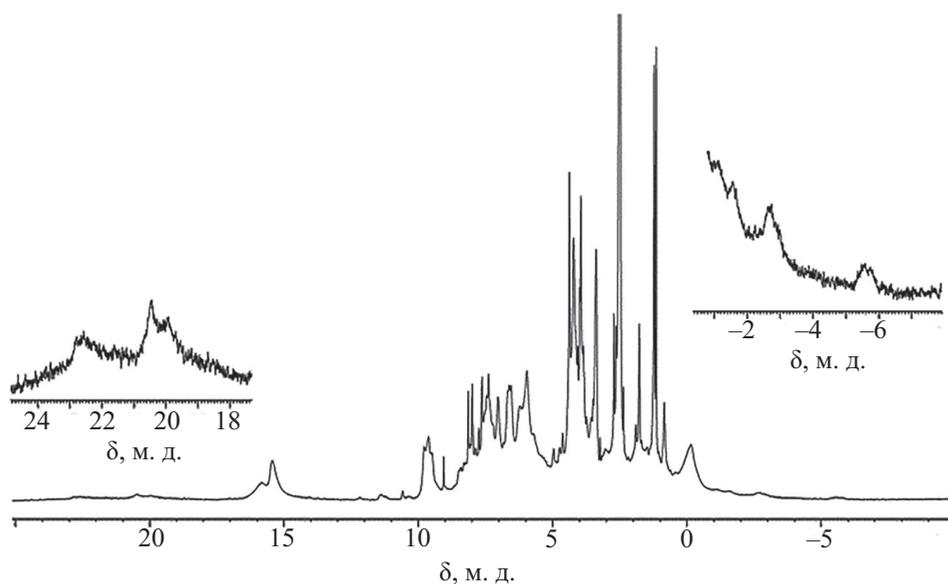


Рис. 2. Типичный спектр ЯМР ^1H на примере комплекса с метилзамещенным лигандом 2.

Комплексы 5–10 представляют собой темно-коричневые твердые аморфные вещества, ИК спектры комплексов 5–9, в сравнении с исходными лигандами 1–4, приведены на рис. 3. Структура спектров комплексов, в сравнении со спектрами лигандов, находится в соответствии с известными данными, полученными для комплексов европия с дикетонами рядом авторов и обобщенными в обзоре [11]. Частоты полос поглощения С–О комплексов 5–9 ($1590\text{--}1610\text{ см}^{-1}$) несколько сдвинуты, в сравнении с частотами поглощения С=О ($1582\text{--}1589\text{ см}^{-1}$) исходных лигандов. Полосы поглощения комплексов 5–9, идентифицируемые как С–С комплексов и С=С-исходных лигандов, также попарно отличаются и находятся в интервале $1524\text{--}1531\text{ см}^{-1}$. В характеристической области фиксируются также дополнительные полосы поглощения $1465\text{--}1498\text{ см}^{-1}$.

Люминесцентно-спектральные свойства полученных комплексов, в целом, не противоречат данным, полученным ранее [2]. Спектры поглощения лигандов и комплексов существенно отличаются (рис. 4, 5).

Интенсивность люминесценции комплексов европия измеряли на длине волны 615 нм, т. е. при максимуме люминесценции, характерном для дикетонатов европия (рис. 6). Длина волны возбуждения в эксперименте составляла 380 нм, временная задержка

относительно возбуждающего импульса – 0.1 мс и время регистрации люминесценции – 1.0 мс.

Комплексы 8 и 7 (рис. 6) имеют более высокие уровни люминесценции вследствие электронных эффектов заместителей у атома азота, а именно донорных свойств, обеспечивающих перенос энергии с гетероциклического лиганда на ион европия. И наоборот, люминесценция комплекса 9, содержащего акцепторный *n*-нитрофенильный заместитель, существенно затухает.

ВЫВОДЫ

Таким образом, выделенные комплексы имеют высокие значения интенсивности люминесценции в водных растворах, длительное время жизни люминесцентного состояния ($\geq 500\text{ мкс}$) при длинноволновом возбуждении ($\geq 370\text{ нм}$), что существенно превышает люминесцентно-спектральные свойства коммерческого реагента – комплекса НТА [12] и, следовательно, определяют возможность применения их в флуоресцентном иммуноанализе с временным разрешением. Использование полученных реагентов позволит применять дешевые светодиодные элементы для возбуждения в дальней УФ и видимой области спектра, что недоступно для реагента на основе НТА [1, 14].

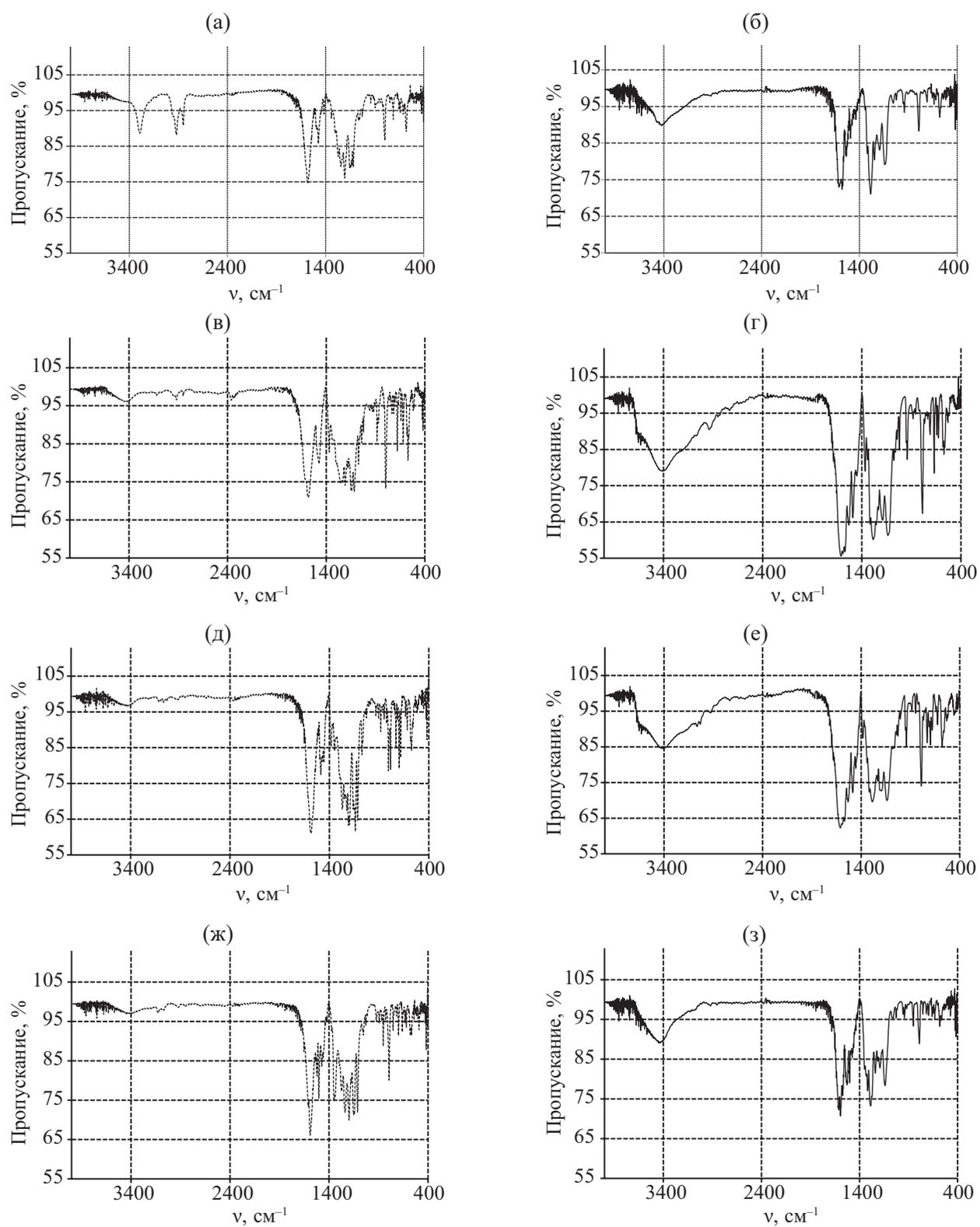


Рис. 3. Фрагменты ИК спектров лигандов 1–4 (а, в, д, ж) и их комплексов 6–9 (б, г, е, з).

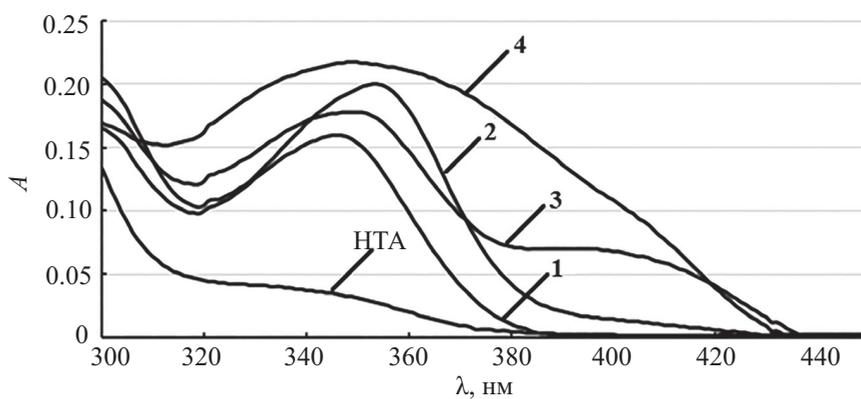


Рис. 4. Спектры поглощения исходных лигандов 1–4 и широко используемого в иммунофлуоресцентном анализе нафтоил-трифторацетона (НТА) [2].

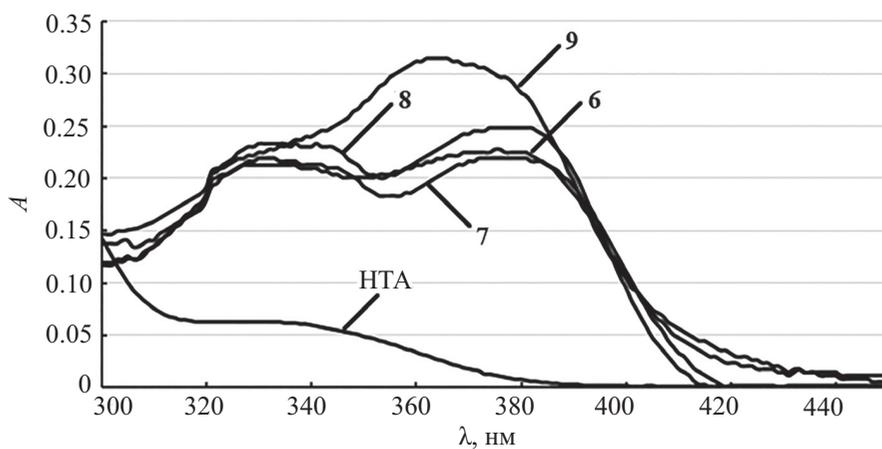


Рис. 5. Спектры поглощения комплексов 6–9 в сравнении с комплексом на основе НТА.

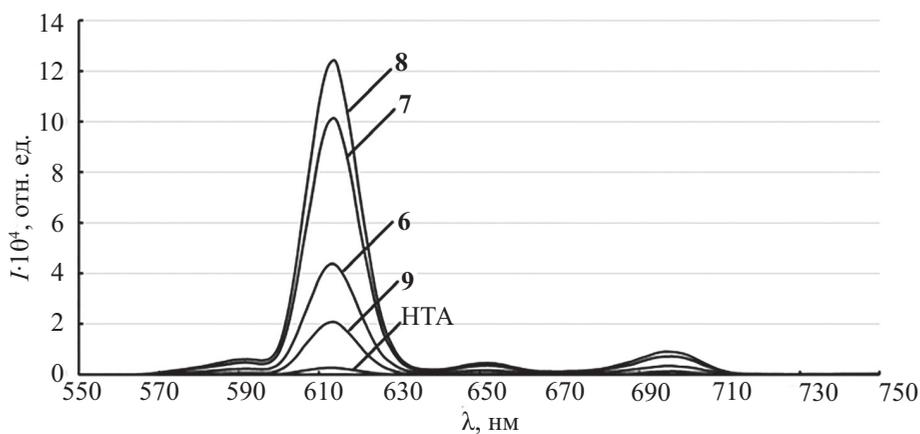


Рис. 6. Сравнение спектров люминесценции комплексов 6–9 с комплексом на основе НТА.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Спектры ЯМР ^1H растворов веществ в ДМСО- d_6 сняты на спектрометре Bruker AC-300 с рабочей частотой 300.13 МГц. Спектры ЯМР ^{19}F сняты на спектрометре Bruker WP-200 SY с рабочей частотой 188.31 МГц. Химические сдвиги приведены относительно внешних эталонов: ТМС (^1H) или CFCl_3 (^{19}F). ИК спектры получены на спектрометре Shimadzu IRPrestige 21 в таблетках KBr (400–4000 cm^{-1} , 8 сканов).

Карбазолсодержащие тетракетоны синтезировали в соответствии с методикой [2]. В работе использовались коммерческие реагенты и растворители, приготовленные в соответствии с известными рекомендациями [15].

[1,1'-(9-Метилкарбазол-3,6-диил)бис(4,4,4-трифторбутан-1,3-дионато)]европия(III)динитрат тригидрат (5). Навески 20.0 мг (0.045 ммоль) нитрата европия шестиводного и 30.8 мг (0.067 ммоль) 1,1'-(9-метилкарбазол-3,6-диил)бис(4,4,4-трифторбутан-1,3-диона) растворяли в 2 мл ТГФ. Через 4 ч к смеси медленно прибавляли 5 мл гексана и оставляли на 2 ч, после чего отфильтровывали осадок, промывали гексаном (2×3 мл) и сушили на воздухе, получая порошок желтого цвета. Выход 30 мг (59%), т. пл. $\geq 240^\circ\text{C}$ (разл.). Найдено, %: С 31.97; Н 2.54; N 5.06. $\text{C}_{21}\text{H}_{17}\text{EuF}_6\text{N}_3\text{O}_{12}$. Вычислено, %: С 32.10; Н 2.10; N 5.35. $I_{\text{макс.люм.}}$ $5.66 \cdot 10^4$ отн. ед.

Трис[1,1'-(9H-карбазол-3,6-диил)бис(4,4,4-трифторбутан-1,3-дионато)]диевропия(III) тетрагидрат (6). К суспензии 48.2 мг (0.109 ммоль) 1,1'-(9H-карбазол-3,6-диил)бис(4,4,4-трифторбутан-1,3-диона) в 5 мл метанола при комнатной температуре и перемешивании добавляли раствор 5.0 мг (0.217 ммоль) Na в 1 мл метанола. Через ~30 мин добавляли раствор 26.6 мг (0.071 ммоль) хлорида европия(III) шестиводного в метаноле. Через 4 ч к смеси медленно прибавляли при перемешивании 12 мл бидистиллированной воды и оставляли на 2 ч, затем отфильтровывали осадок, промывали водой (2×3 мл) и сушили на воздухе, получая порошок желтого цвета. Выход 30 мг (49%), т. пл. $\geq 242^\circ\text{C}$ (разл.). Найдено, %: С 41.84; Н 2.20; N 2.38. $\text{C}_{60}\text{H}_{41}\text{Eu}_2\text{F}_{18}\text{N}_3\text{O}_{16}$. Вычислено, %: С 42.23; Н 2.40; N 2.46. $I_{\text{макс.люм.}}$ $4.34 \cdot 10^4$ отн. ед.

Трис[1,1'-(9-метилкарбазол-3,6-диил)бис(4,4,4-трифторбутан-1,3-дионато)]диевропия(III) тетрагидрат (7) получали аналогично комплексу **6** из 49.0 мг (0.107 ммоль) 1,1'-(9-метилкарбазол-3,6-диил)бис(4,4,4-трифторбутан-1,3-диона), 4.9 мг Na (0.213 ммоль) и 34.8 мг нитрата европия(III) шестиводного (0.078 ммоль). Выход 55 мг (81%), т. пл. $\geq 242^\circ\text{C}$ (разл.). Найдено, %: С 43.03; Н 2.57; N 2.39. $\text{C}_{63}\text{H}_{47}\text{Eu}_2\text{F}_{18}\text{N}_3\text{O}_{16}$. Вычислено, %: С 43.27; Н 2.69; N 2.40. $I_{\text{макс.люм.}}$ $10.11 \cdot 10^4$ отн. ед.

Трис[1,1'-(9-бензилкарбазол-3,6-диил)бис(4,4,4-трифторбутан-1,3-дионато)]диевропия(III) тетрагидрат (8) получали аналогично комплексу **6** из 57.9 мг (0.109 ммоль) 1,1'-(9-бензилкарбазол-3,6-диил)бис(4,4,4-трифторбутан-1,3-диона), 5.0 мг (0.217 ммоль) Na и 26.6 мг (0.071 ммоль) $\text{EuCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Выход 32.1 мг (46%), т. пл. $\geq 243^\circ\text{C}$ (разл.). Найдено, %: С 48.88; Н 2.76; N 2.60. $\text{C}_{81}\text{H}_{59}\text{Eu}_2\text{F}_{18}\text{N}_3\text{O}_{16}$. Вычислено, %: С 49.22; Н 2.99; N 2.13. $I_{\text{макс.люм.}}$ $12.40 \cdot 10^4$ отн. ед.

Трис[1,1'-(9-пара-нитрофенилкарбазол-3,6-диил)бис(4,4,4-трифторбутан-1,3-дионато)]диевропия(III) тетрагидрат (9) получали аналогично комплексу **6** из 61.3 мг (0.109 ммоль) 1,1'-(9-пара-нитрофенилкарбазол-3,6-диил)бис(4,4,4-трифторбутан-1,3-диона), 5.0 мг (0.217 ммоль) Na и 26.6 мг (0.071 ммоль) $\text{EuCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Выход 45 мг (62%), т. пл. $\geq 245^\circ\text{C}$ (разл.). Найдено, %: С 45.09; Н 2.22; N 3.92. $\text{C}_{78}\text{H}_{50}\text{Eu}_2\text{F}_{18}\text{N}_6\text{O}_{22}$. Вычислено, %: С 45.26; Н 2.42; N 4.06. $I_{\text{макс.люм.}}$ $2.07 \cdot 10^4$ отн. ед.

Трис[4,4,4-трифтор-1-(2-нафтил)-1,3-бутандионато]европия(III) дигидрат получали аналогично комплексу **6** из 57.8 мг (0.217 ммоль) 4,4,4-трифтор-1-нафт-2-илбутан-1,3-диона, 5.0 мг (0.217 ммоль) Na и 26.6 мг (0.071 ммоль) $\text{EuCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Выход 37 мг (52%). Найдено, %: С 50.77; Н 3.05. $\text{C}_{42}\text{H}_{31}\text{EuF}_9\text{O}_6$. Вычислено, %: С 51.12; Н 3.14. $I_{\text{макс.люм.}}$ $0.27 \cdot 10^4$ отн. ед.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Шубина Анна Геннадьевна, ORCID: <https://orcid.org/0000-0004-7466-5037>

Пугачев Дмитрий Евгеньевич, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2042-3911>

Парамонов Дмитрий Викторович, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-8005-8504>

Вацадзе Сергей Зурабович, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7884-8579>

Васильев Николай Валентинович, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4146-3979>

БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы выражают благодарность Гуцул Е.И. (Институт элементоорганических соединений им. А. Н. Несмеянова РАН) и Затонскому Г.В. (Научно-исследовательский институт по изысканию новых антибиотиков им. Г. Ф. Гаузе) за помощь при снятии спектров ИК и ЯМР.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 2296756 (2007) // ГосНИИ БП. 2007. RU2296756 С2.
2. Pugachov D.E., Kostryukova T.S., Zatonsky G.V., Vatsadze S.Z., Vasil'ev N.V. // *Chem. Heterocycl. Compd.* 2018. Vol. 54. N 5. P. 528. doi 10.1007/s10593-018-2300-4
3. Пугачев Д.Е., Кострюкова Т.С., Ивановская Н.П., Лямин А.И., Романов Д.В., Моисеев С.В., Затонский Г.В., Осин Н.С., Васильев Н.В. // *ЖОХ.* 2019. Т. 89. № 5. С. 779; Pugachov D.E., Kostryukova T.S., Ivanovskaya N.P., Lyamin A.I., Romanov D.V., Moiseyev S.V., Zatonskii G.V., Osin N.S., Vasilyev N.V. // *Russ. J. Gen. Chem.* 2019. Vol. 89. P. 965. doi 10.1134/S1070363219050165
4. Кострюкова Т.С., Ивановская Н.П., Затонский Г.В., Осин Н.С., Васильев Н.В. // *Биорг. хим.* 2015. Т. 41. № 2. С. 212; Kostryukova T.S., Ivanovskaya N.P., Zatonskii G.V., Osin N.S., Vasil'ev N.V. // *Russ. J. Bioorg. Chem.* 2015. Vol. 41. N 2. P. 186. doi 10.1134/S1068162015010094
5. Pugachev D.E., Zatonsky G.V., Kostryukova T.S., Shubina A.G., Vasiliev N.V. // *Int. J. Org. Chem.* 2024. Vol. 14. N 1. P. 20. doi 10.4236/ijoc.2024.141002
6. Пат. 2709194 (2019) // ГосНИИ БП. 2019. RU2709194 С1.
7. He P., Wang H., Liu S., Hu W., Shi J., Wang G., Gong M. // *J. Electrochem. Sci.* 2009. Vol. 156. N 2. P. E46. doi 10.1149/1.3042206
8. Liu S.G., Su W.Y., Pan R.K., Zhou X.P. // *Chin. J. Chem. Phys.* 2012. Vol. 25. N 6. P. 697. doi 10.1088/1674-0068/25/06/697-702
9. He P., Wang H.H., Yan H.G., Hu W., Shi J.X., Gong M.L. // *Dalton Trans.* 2010. Vol. 39. P. 8919. doi 10.1039/c0dt00424c
10. White J.G. // *Inorg. Chim. Acta.* 1976. Vol. 16. P. 159. doi 10.1016/S0020-1693(00)91705-5
11. Binnemans K. // *Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earth.* 2005. Vol. 35. P. 107. doi 10.1016/S0168-1273(05)35003-3
12. Тайдаков И.В., Зайцев Б.Е., Лобанов А.Н., Витухновский А.Г., Дацкевич Н.П., Селюков А.С. // *ЖНХ.* 2013. Т. 58. № 4. С. 473; Taidakov I.V., Zaitsev B.E., Lobanov A.N., Vitukhnovskii A.G., Datskevich N.P., Selyukov A.S. // *Russ. J. Inorg. Chem.* Vol. 58. P. 411. doi 10.1134/S0036023613040190
13. Кострюкова Т.С., Логинова О.Д., Васильев Н.В. // *Вестн. Моск. гос. обл. унив.* 2014. Т. 5. С. 80.
14. Valta T., Puputti E.M., Hyppänen I., Kankare J., Takalo H., Soukka T. // *Anal. Chem.* 2012. Vol. 84. N 18. P. 7708. doi 10.1021/ac3008913
15. Gordon A.J., Ford R.A. *The Chemist's companion.* New York; London; Sydney; Toronto: Wiley-Interscience Publication, 1972. 537 p.

Europium Complexes with Fluorinated Carbazole-Containing Tetraketones

A. G. Shubina^{1,*}, T. S. Kostryukova², D. E. Pugachev², D. V. Paramonov²,
S. Z. Vatsadze³, and N. V. Vasiliev^{1,2}

¹ State University of Education, Moscow, 105005 Russia

² State Research Institute of Biological Instrumentation, Moscow, 125424 Russia

³ Zelinsky Institute of Organic Chemistry, Moscow, 119991 Russia

*e-mail: shubina.anna98@yandex.ru

Received March 10, 2025; revised April 2, 2025; accepted April 3, 2025

Complex compounds of fluorine-containing tetraketones on the basis of carbazole with europium(III) ions were synthesized, the luminescence-spectral properties of the obtained complexes were evaluated and the exact stoichiometric composition was established. The position of the maximum in the excitation spectrum (≥ 370 nm) of the complexes, a significant Stokes shift (>250 nm), and a long lifetime of the excited state (400–700 μ s) allow us to consider the synthesized complexes as potential reagents for time-resolved fluorescence immunoassay.

Keywords: europium complexes, fluorine-containing tetraketones, carbazole, luminescence, immunofluorescence analysis, fluorescence immunoanalysis