

ПОЛУЧЕНИЕ ЛЮМИНЕСЦИРУЮЩИХ СОЕДИНЕНИЙ ЕВРОПИЯ(III) С *para*-МЕТОКСИКОРИЧНОЙ КИСЛОТОЙ

© И. В. Калиновская¹, Л. Д. Попов², А. Н. Задорожная³

¹ Институт химии ДВО РАН,
690022, г. Владивосток, пр. 100-летия Владивостоку, д. 159

² Южный федеральный университет,
344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Зорге, д. 7

³ Тихоокеанский государственный медицинский университет Минздрава России,
690002, г. Владивосток, пр. Острякова, д. 2а
E-mail: kalinovskaya@ich.dvo.ru

Поступила в Редакцию 14 декабр 2021 г.

После доработки 6 июня 2022 г.

Принята к публикации 9 июня 2022 г.

Синтезированы разнолигандные соединения Eu(III) с пара-метоксикоричной кислотой и азотсодержащими лигандами. Полученные соединения охарактеризованы методами элементного анализа и ИК-спектроскопии. Показано, что при термоллизе комплексов отрыв молекулы азотсодержащего лиганда происходит в одну стадию с экзо- и эндотермическим эффектами, соединения являются термически устойчивыми до 250°C. Синтезированные комплексные соединения были введены в полиэтилен высокого давления. Получены люминесцирующие полимерные материалы.

Ключевые слова: *термическая устойчивость; метоксициннаматы Eu(III); пара-метоксикоричная кислота*

DOI: 10.31857/S0044461822040077, EDN: DGZNLK

Для получения полимерных светотрансформирующих материалов, используемых в сельском хозяйстве, оптоэлектронике, медицине, применяют термо-, фотоустойчивые люминесцирующие соединения Eu(III) [1–3]. Наиболее фотоустойчивыми и интенсивно люминесцирующими являются комплексы на основе производных фенилакриловых кислот, которые имеют развитую систему сопряженных связей.

Ранее были получены и изучены термические [4, 5] и люминесцентные свойства разнолигандных циннаматов лантаноидов островного и полимерного строения [6, 7]. Следует отметить, что циннамат Eu(III) полимерного строения обладает высокой фотоустойчивостью, интенсивной люминесценцией. Введение гетероциклического лиганда (1,10-фенантролина, 2,2'-дипиридила) в комплекс европия с коричной кислотой не привело к получению соединения, характеризующегося увеличением интенсивности люминесценции. Люминесценция разнолигандных карбоксилатов редкоземельных элементов

определяется положением триплетных уровней карбоновой кислоты и нейтральных лигандов. Процесс переноса энергии между ними возможен в том случае, если положение триплетного уровня кислоты выше триплетного уровня нейтрального лиганда. В работе [8] показано, что триплетный уровень коричной кислоты ($20\,100\text{ см}^{-1}$) расположен ниже триплетных уровней 1,10-фенантролина ($22\,075\text{ см}^{-1}$) и 2,2'-дипиридила ($22\,900\text{ см}^{-1}$). В разнолигандных циннаматах Eu(III) осуществляется перенос энергии только от азотсодержащих лигандов на ион европия [8]. Триплетный уровень *para*-метоксикоричной кислоты расположен существенно выше ($23\,260\text{ см}^{-1}$), что способствует получению интенсивнолюминесцирующих соединений Eu(III).

Цель работы — получение люминесцирующих соединений Eu(III) с *para*-метоксикоричной кислотой состава $\text{Eu}(\text{MOCin})_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ и азотсодержащими лигандами состава $\text{Eu}(\text{MOCin})_3 \cdot \text{phen} \cdot \text{H}_2\text{O}$ и $\text{Eu}(\text{MOCin})_3 \cdot \text{dipy} \cdot \text{H}_2\text{O}$, где MOCin — анион *para*-ме-

токсикоричной кислоты, phen — 1,10-фенантролин, dipy — 2,2'-дипиридил, и получение люминесцирующих полимерных материалов на основе полиэтилена высокого давления.

Экспериментальная часть

Для синтеза соединений использовали $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (ч., АО «Вектон»), пара-метоксикоричную кислоту (ч., АО «Вектон»), 1,10-фенантролин (98%, Acros Organics), 2,2'-дипиридил (99% (Acros Organics), NaOH (х.ч., АО «Вектон»), 25%-ный водный раствор аммиака (ч.д.а., ООО «Сигма Тек»), этиловый спирт (95%, ООО «Гиппократ»). Для термогравиметрии применяли Al_2O_3 (ч., АО «Вектон»), который прокаливали при $T = 800^\circ\text{C}$ в течение 1 ч.

Дистиллированную воду получали перегонкой водопроводной воды (аквадистиллятор АДЭа-4-СЗМО, АО «Медоборудование»).

Синтез натриевой соли пара-метоксикоричной кислоты. В коническую колбу с обратным холодильником загружали 0.06 г NaOH, растворенного в 10 мл дистиллированной воды, и 0.27 г пара-метоксикоричной кислоты, растворенной в 30 мл 95%-ного этилового спирта. Полученную смесь перемешивали на магнитной мешалке в течение 30 мин ($T = 30^\circ\text{C}$).

Синтез разнолигандных соединений Eu(III). К полученному раствору натриевой соли пара-метоксикоричной кислоты добавляли азотсодержащий лиганд (0.18 г 2,2'-дипиридила или 0.2 г 1,10-фенантролина), растворенный в 10 мл 95%-ного этилового спирта, и 0.22 г $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, растворенного в 5 мл дистиллированной воды. pH реакционной смеси доводили до 6–7 10%-ным раствором аммиака. Реакционную смесь интенсивно перемешивали на магнитной мешалке при $T = 30^\circ\text{C}$ в течение 1 ч. Образовавшийся осадок отфильтровывали, промывали дистиллированной водой и сушили на воздухе. Выход соединений составил 77–82%.

Полученные комплексные соединения представляют собой мелкокристаллические порошки белого цвета. Данные соединения малорастворимы в полярных и неполярных растворителях, устойчивы на воздухе.

Элементный анализ комплексных соединений выполняли на анализаторе Euro EA 3000 (Eurovector Instruments). Содержание воды определяли титрованием по Фишеру. Содержание европия устанавливали весовым методом, прокаливая навеску вещества до постоянной массы Eu_2O_3 . По данным элементного анализа состав синтезированных комплексных соединений Eu(III) с пара-метоксикоричной кис-

лотой отвечает формулам $\text{Eu}(\text{MOCin})_3 \cdot \text{phen} \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\text{Eu}(\text{MOCin})_3 \cdot \text{dipy} \cdot \text{H}_2\text{O}$ и $\text{Eu}(\text{MOCin})_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

Рентгенографическое исследование соединений проводили порошковым методом. Порошкограммы образцов получали на дифрактометре ДРОН-2.0 (НПП «Буревестник») в CuK_α -излучении.

Термогравиметрическое исследование проводилось с использованием дериватографа Q-1000 (Paulik–Paulik) в открытом платиновом тигле на воздухе. Вещество сравнения — прокаленный Al_2O_3 (ч., АО «Вектон»), скорость нагревания $5 \text{ град} \cdot \text{мин}^{-1}$.

ИК-спектры поглощения образцов регистрировали на приборе ФУРЬЕ-ИК-спектрометр TENSOR-27 Bruker (область $4000\text{--}350 \text{ см}^{-1}$, с ошибкой регистрации частот не более 1 см^{-1}). Исследуемые образцы комплексных соединений Eu(III) перетирали в агатовой ступке до мелкодисперсного состояния и запрессовывали в таблетки с KBr.

Полиэтиленовые пленки с добавками люминесцирующих комплексных соединений Eu(III) получали методом прессования. Для этого полученные пара-метоксицицинаматы Eu(III) и порошок полиэтилена высокого давления (размер частиц 500 мкм, Sigma-Aldrich, № 42804-3) тщательно перемешивали в ступке и прессовали на гидравлическом прессе при 140°C . Общее содержание люминофора в пленках составляло 0.3–0.5 мас%, толщина пленки — 100 мкм.

Для изучения люминесцентных свойств полимерных материалов использовали спектрофлуориметр Shimadzu RF-5000 ($T = 293 \text{ K}$) и флуоресцентный микроскоп AXIOPLANE-2 Imaging (Carl Zeiss).

Обсуждение результатов

Полученные разнолигандные комплексные соединения Eu(III) с пара-метоксикоричной кислотой не разлагаются при длительном хранении. Фазовый анализ показал отсутствие линий исходных веществ в рентгенограммах, что свидетельствует о чистоте комплексных соединений (табл. 1). Согласно данным рентгенографического исследования пара-метоксицицинамат Eu(III) с 1,10-фенантролином является рентгеноаморфным.

Термическая деструкция полученных соединений является многоступенчатым процессом (рис. 1). При термолизе соединений состава $\text{Eu}(\text{MOCin})_3 \cdot \text{phen} \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\text{Eu}(\text{MOCin})_3 \cdot \text{dipy} \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\text{Eu}(\text{MOCin})_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ в интервале температур $87\text{--}152^\circ\text{C}$ наблюдается потеря молекул воды, связанных в комплекс. Процесс дегидратации полученных комплексных соединений европия(III) протекает в одну стадию с эндотермическими эффектами.

Таблица 1
Рентгенометрические данные комплексных соединений Eu(III)

Eu(MOCin) ₃ ·H ₂ O		Eu(MOCin) ₃ ·dipy·H ₂ O	
межплоскостное расстояние, Å	относительная интенсивность рефлексов, %	межплоскостное расстояние, Å	относительная интенсивность рефлексов, %
16.15	43.81	16.22	100.0
12.74	100.0	12.78	89.09
10.03	69.52	10.06	98.18
8.12	21.90	8.14	43.81
6.85	31.43	6.87	61.90
6.40	40.0	6.61	16.36
5.95	32.38	6.40	34.55
5.54	15.23	5.98	37.27
5.41	22.00	5.55	30.91
5.02	23.81	5.43	13.64
4.77	14.29	5.03	32.73
4.61	12.38	4.65	22.73
4.20	21.90	4.17	83.64
4.13	46.67	3.66	33.64
3.78	14.29	3.59	16.36
3.68	19.05	3.54	25.45
3.58	11.43	3.46	40.91
3.47	44.00	3.35	22.73
3.35	16.19	3.31	32.73
3.14	22.86	3.24	15.55
3.03	16.19	3.14	18.21
2.01	11.43	3.05	26.36

Примечание. MOCin — анион *para*-метоксикоричной кислоты, dipy — 2,2'-дипиридил.

При термоллизе Eu(MOCin)₃·H₂O наблюдается деструкция органической части комплексного соединения в интервале температур 290–510°C. Этому процессу на дифференциальной кривой нагревания (ДТА) и на дифференциальной кривой потери массы (ДТГ) отвечают экзотермические эффекты.

При термическом разложении разнолигандных комплексных соединений европия(III) с азотсодержащими нейтральными лигандами процесс отщепления нейтральных лигандов протекает в одну стадию с экзотермическим эффектом в интервале температур 248–405°C. При более высоких температурах 470–530°C осуществляется отрыв молекул *para*-метоксикоричной кислоты. Этому процессу на дифференциальных кривых нагревания и потери массы (ДТА и ДТГ) отвечают экзотермические и эндотермические эффекты.

Безводный комплекс Eu(MOCin)₃ выделить не удалось, так как окончание отщепления азотсодержащего нейтрального лиганда совпадает с разложением органической части молекулы соединения Eu(III). Конечным продуктом термического разложения комплексных соединений является Eu₂O₃ (550–700°C).

Синтезированные комплексы Eu(III) являются более термически устойчивыми, чем изученные нами разнолигандные комплексные трифторацетаты Eu(III) [9], и сопоставимы по термической устойчивости с метилбензоатами Eu(III) [10, 11]. Термическую устойчивость *para*-метоксициннаматов Eu(III) можно объяснить наличием в структуре аниона *para*-метоксикоричной кислоты стирольной группы. Таким образом, полученные термоустойчивые *para*-метоксициннаматы Eu(III) можно успешно использовать для внедрения в полимерные матрицы.

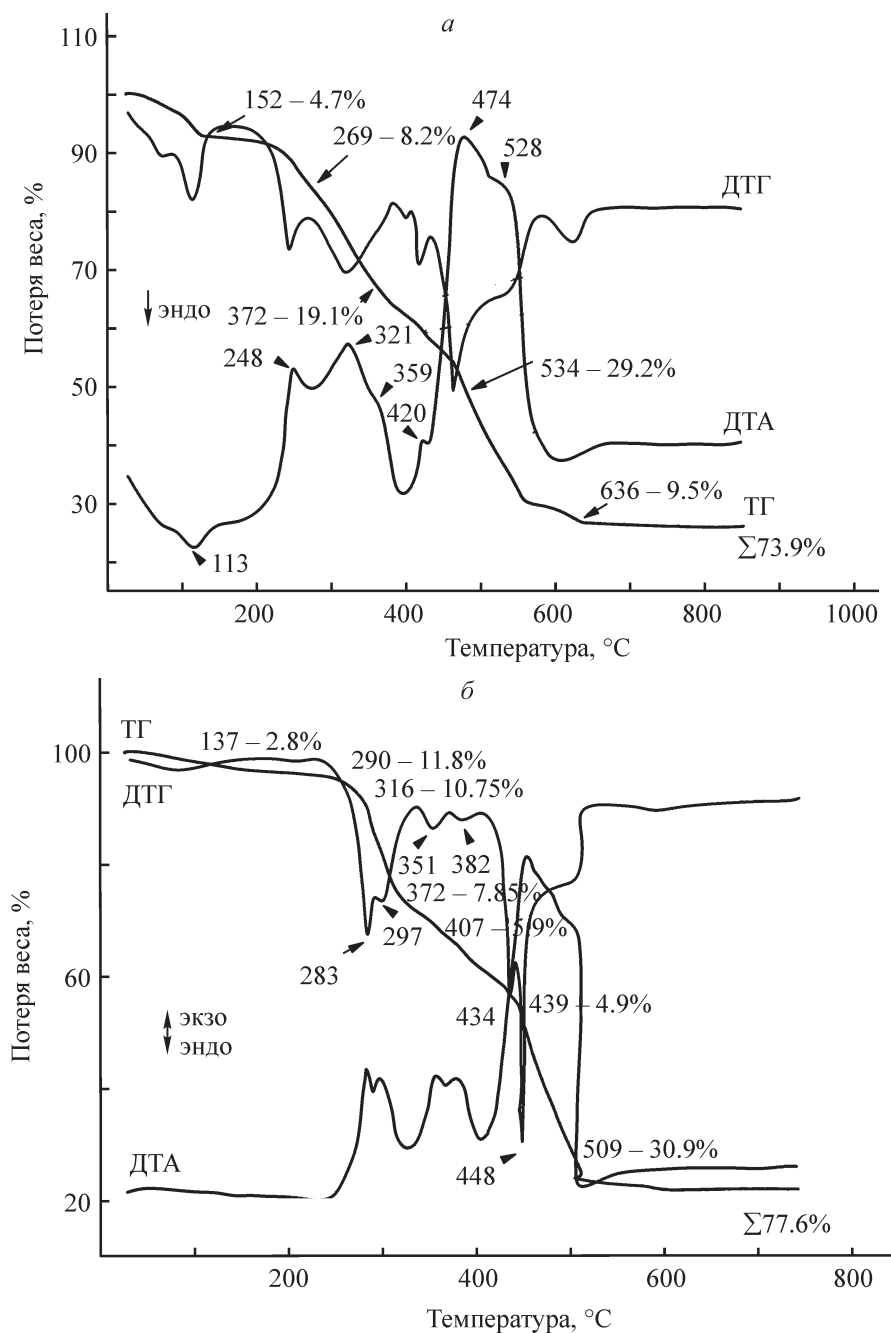


Рис. 1. Термограммы метоксициннаматов европия(III).

a — $\text{Eu}(\text{MOCin})_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, *б* — $\text{Eu}(\text{MOCin})_3 \cdot \text{phen} \cdot \text{H}_2\text{O}$, *в* — $\text{Eu}(\text{MOCin})_3 \cdot \text{dipy} \cdot \text{H}_2\text{O}$.

MOCin — анион пара-метоксикоричной кислоты, dipy — 2,2'-дипиридил, phen — 1,10-фенантролин.

Определение координации аниона пара-метокси-коричной кислоты и нейтральных лигандов к иону $\text{Eu}(\text{III})$ осуществлялось методом ИК-спектроскопии (табл. 2). На наличие депротонированной карбоксильной группы в разнолигандных комплексных соединениях указывает исчезновение полосы деформационного колебания OH -группы при 1000 см^{-1} .*

Интенсивные полосы при $1640\text{--}1600$, $1420\text{--}1380 \text{ см}^{-1}$ относятся соответственно к $\nu_{\text{as}}(\text{COO}^-)$, $\nu_{\text{s}}(\text{COO}^-)$ бидентатно связанных карбоксильных групп.** Разность частот $\Delta\nu = \nu_{\text{as}}(\text{COO}^-) - \nu_{\text{s}}(\text{COO}^-)$ составляет 220 см^{-1} , что, согласно [12] ($\Delta\nu > 100 \text{ см}^{-1}$), свидетельствует о бидентатной координации COO^- -группы ионом $\text{Eu}(\text{III})$.

* Накамото К. Инфракрасные спектры неорганических и координационных соединений. М.: Мир, 1991. С. 232.

** Там же.

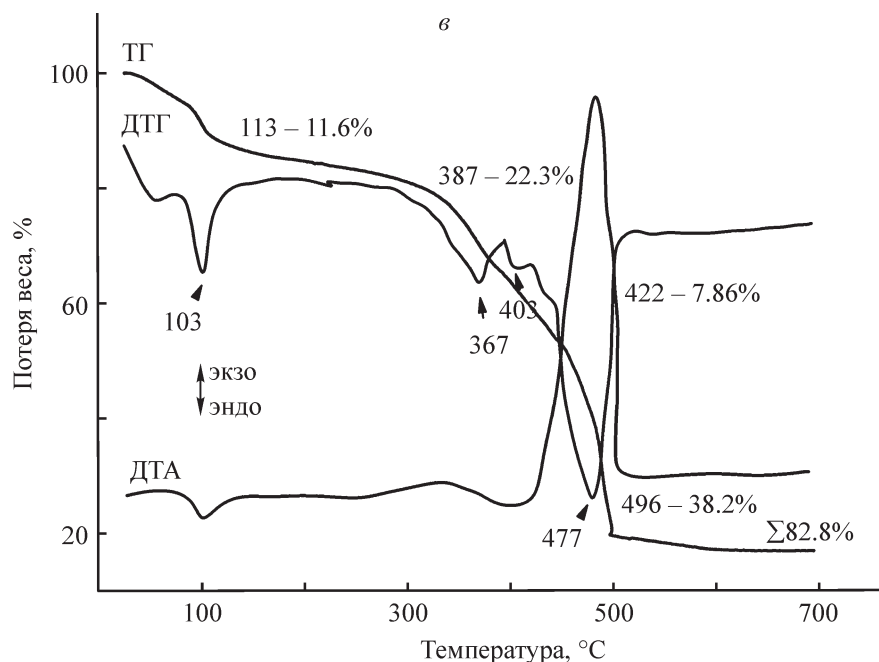


Рис. 1. Продолжение.

Поглощение при $1580\text{--}1500\text{ см}^{-1}$ может быть обусловлено валентными колебаниями связей $\text{C}=\text{C}$ бензольного кольца, а поглощение при 1600 , 1605 см^{-1} в случае соединений $\text{Eu}(\text{MOCin})_3 \cdot \text{phen} \cdot \text{H}_2\text{O}$ и $\text{Eu}(\text{MOCin})_3 \cdot \text{dipy} \cdot \text{H}_2\text{O}$ вызвано колебаниями свя-

зи $\text{C}=\text{N}$. На координацию 1,10-фенантролина и 2,2'-дипиридила редкоземельным ионом в комплексах $\text{Eu}(\text{MOCin})_3 \cdot \text{D} \cdot \text{H}_2\text{O}$ указывает то, что полосы поглощения координированных 1,10-фенантролина (1420 , 1505 , 1618 см^{-1}), 2,2'-дипиридила (1415 , 1560 ,

Таблица 2

Колебательные частоты (см^{-1}) в ИК-спектрах комплексных соединений $\text{Eu}(\text{III})$

Отнесение	$\text{Eu}(\text{MOCin})_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	$\text{Eu}(\text{MOCin})_3 \cdot \text{phen} \cdot \text{H}_2\text{O}$	$\text{Eu}(\text{MOCin})_3 \cdot \text{dipy} \cdot \text{H}_2\text{O}$
$\nu(\text{H}_2\text{O})$	3620	3390	3610
$\nu(\text{CH})$	2980	2992	2990
$\nu_{\text{as}}(\text{COO})$	1640	1630	1640
		1600	1610
$\nu(\text{C}=\text{C})$	1580	1560	1580
	1500	1500	1510
$\nu_{\text{s}}(\text{COO})$	1390	1430	1410
		1390	1380
$\delta(\text{CH})$ плоские	1300	1280	1240
	1245	1250	1160
	1160	1160	
$\nu(\text{C}=\text{C}) + \nu(\text{C}=\text{N})$	—	1600	1605
		1530	1540
$\delta(\text{CH})$ неплоские	790	800	770
	750	740	710
	700	710	

Примечание. MOCin — анион *para*-метоксикоричной кислоты, dipy — 2,2'-дипиридил, phen — 1,10-фенантролин; «—» — неприменимо.

1585 cm^{-1}) смещены в сторону больших частот по сравнению с их положением в ИК-спектрах некоординированных азотсодержащих молекул.* В ИК-спектрах данных комплексов наблюдается расщепление характеристической полосы поглощения, отнесенной к внеплоскостным деформационным колебаниям кольцевых атомов водорода 1,10-фенантролина и 2,2'-дипиридила, на дублет 737 и 731 cm^{-1} . В области 3620–3390 cm^{-1} регистрируется размытая полоса, обусловленная валентными колебаниями молекул воды.**

Полимерные материалы, содержащие пара-метоксициннаматы Eu(III), прозрачны и люминесцируют красным цветом при облучении ультрафиолетовым светом (рис. 2). Спектры люминесценции полученных материалов идентичны спектрам индивидуальных комплексных соединений, что свидетельствует о сохранении структуры диспергированных в полимерной матрице люминесцирующих частиц соединений. В спектрах люминесценции регистрируются отдельные линии магнитнодипольного $^5D_0-^7F_1$ и электродипольных $^5D_0-^7F_2$, $^5D_0-^7F_4$ переходов Eu(III) с максимумами при 595, 615 и 700 нм соответственно (рис. 2). Интенсивность линий полос электродипольного $^5D_0-^7F_0$ перехода незначительна. Наиболее интенсивными являются полосы электродипольного $^5D_0-^7F_2$ перехода. Интенсивность линий магнитнодипольного перехода $^5D_0-^7F_1$ значительно ниже интенсивности линий электродипольного $^5D_0-^7F_2$ перехода. Интенсивным является электродипольный $^5D_0-^7F_4$ переход, его интенсивность сопоставима с интенсивностью магнитнодипольного $^5D_0-^7F_1$ перехода.

Методом флуоресцентной микроскопии проведен анализ дисперсности и распределения частиц люминесцирующих соединений в полиэтилене высокого давления. Наблюдается неравномерное распределение частиц в полимерной матрице (рис. 3). В люминесцирующих полимерных материалах присутствуют как мелкие частицы округлой формы размером 2.5–5 мкм, так и размытые агрегаты мелкодисперсных частиц размером 20–40 мкм. В полимерном материале можно выделить и очень мелкие частицы размером 1.5–2 мкм.

* Беллами Л. Инфракрасные спектры сложных молекул. М.: ИЛ, 2007. С. 397.

** Накамото К. Инфракрасные спектры неорганических и координационных соединений. М.: Мир, 1991. С. 252.

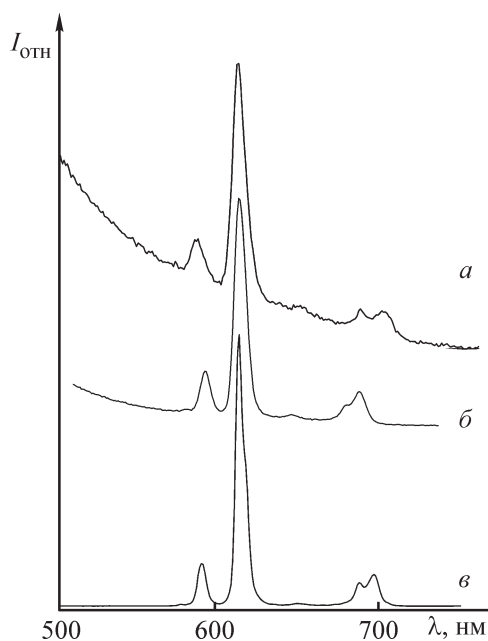


Рис. 2. Спектры люминесценции полиэтилена высокого давления с добавками соединений $\text{Eu}(\text{MOCin})_3 \cdot \text{dipy} \cdot \text{H}_2\text{O}$ (а), $\text{Eu}(\text{MOCin})_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (б), $\text{Eu}(\text{MOCin})_3 \cdot \text{phen} \cdot \text{H}_2\text{O}$ (в). MOCin — анион пара-метоксикоричной кислоты, dipy — 2,2'-дипиридил, phen — 1,10-фенантролин.

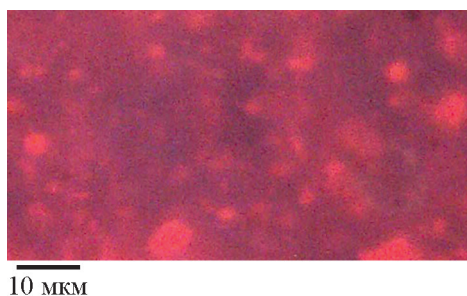


Рис. 3. Люминесцирующая полиэтиленовая пленка с $\text{Eu}(\text{MOCin})_3 \cdot \text{phen} \cdot \text{H}_2\text{O}$. MOCin — анион пара-метоксикоричной кислоты, phen — 1,10-фенантролин.

Выводы

Синтезированы интенсивно люминесцирующие, термоустойчивые пара-метоксициннаматы Eu(III) с 1,10-фенантролином и 2,2'-дипиридилом. В полученных комплексах реализуется бидентатная координация COO^- -группы пара-метоксикоричной кислоты ионом Eu(III). Данные соединения могут быть использованы в качестве добавок для получения светотрансформирующих полимерных материалов, характеризующихся интенсивной люминесценцией в спектральном диапазоне 575–700 нм.

Финансирование работы

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки, номер темы государственного задания 0265-2014-0001.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Информация об авторах

Задорожная Анна Николаевна, к.х.н., доцент
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1494-3769>
Калиновская Ирина Васильевна, д.х.н., доцент,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6858-6595>
Попов Леонид Дмитриевич, к.х.н.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9565-8005>

Список литературы

- [1] *Kalinovskaya I. V., Zadorozhnaya A. N.* Luminescent properties of Europium(III) nitrate with 1,10-phenantroline and cinnamic acid in light — Transforming polymer materials // *J. Mol. Struct.* 2017. V. 1157. P. 14–18.
<https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2017.11.035>
- [2] *Kataoka H., Kitano T., Takizawa T., Hirai Y., Nakanishi T., Hasegawa Y.* Photo- and thermo-stable luminescent beads composed of Eu(III) complexes and PMMA for enhancement of silicon solar cell efficiency // *J. Alloys Compd.* 2014. V. 601. P. 293–297.
<https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2014.01.165>
- [3] *Hasegawa Y., Nakanishi T.* Luminescent lanthanide coordination polymers for photonic applications // *RSC. Adv.* 2015. V. 5. P. 338–353.
<https://doi.org/10.1039/C4RA09255D>
- [4] *Carvalho Filho M. A. S., Fernandes N. S., Fertoni F. L., Ionashiro M.* A thermal behaviour study of solid-state cinnamates of the latter trivalent lanthanides and yttrium (III) // *J. Therm. Acta.* 2003. V. 398. P. 93–99.
[https://doi.org/10.1016/S0040-6031\(02\)00325-8](https://doi.org/10.1016/S0040-6031(02)00325-8)
- [5] *Carvalho Filho M. A. S., Fernandes N. S., Leles M. I. G., Mendes R., Ionashiro M.* Preparation and thermal decomposition of solid-state cinnamates of lighter trivalent lanthanides // *J. Therm. Anal. Calorim.* 2000. V. 59. P. 669–674.
<https://doi.org/10.1023/A:1010181032172>
- [6] *Emelina T., Zadorozhnaya A., Kalinovskaya I., Mirochnik A.* Unexpected luminescent and photochemical properties of europium(III) cinnamates — Theoretical and experimental study // *Spectrochim. Acta. Part A.* 2020. V. 225. ID 117481.
<https://doi.org/10.1016/j.saa.2019.117481>
- [7] *Deacon G. B., Forsyth C. M., Junk P. C., Leary S. G.* Synthesis and structural properties of anhydrous rare earth cinnamates, [Re(cinn)₃] // *Z. anorg. allgem. Chem.* 2008. V. 634. N 1. P. 91–97.
<https://doi.org/10.1002/zaac.200700359>
- [8] *Калиновская И. В., Задорожная А. Н., Николенко Ю. М., Карасев В. Е.* Флуоресцентные свойства разнолигандных карбоксилатов европия // *ЖНХ.* 2006. Т. 51. № 3. С. 505–509 [*Kalinovskaya I. V., Nikolenko Yu. M., Karasev V. E., Zadorozhnaya A. N.* Fluorescence properties of mixed-ligand europium carboxylates // *Russ. J. Inorg. Chem.* 2006. V. 51. N 3. P. 457–461.
<https://doi.org/10.1134/S0036023606030181>].
- [9] *Oliveira V. S., Araújo Melo D. M., Rocha da Silva Z., Zinner L. B., Zinner K.* Preparation and properties of complexes between rare earth trifluoroacetates and hexamethylphosphoramide (HMPA) // *J. Alloys Compd.* 2000. V. 303–304. P. 157–161.
[https://doi.org/10.1016/S0925-8388\(00\)00658-7](https://doi.org/10.1016/S0925-8388(00)00658-7)
- [10] *Калиновская И. В., Задорожная А. Н., Савченко Н. Н.* Разнолигандные комплексные соединения европия(III) с 4-метилбензойной кислотой // *ЖОХ.* 2019. Т. 89. № 11. С. 1780–1785.
<https://doi.org/10.1134/S0044460X19110192>
[*Kalinovskaya I. V., Zadorozhnaya A. N., Savchenko N. N.* Mixed-ligand complex compounds of europium(III) with 4-methylbenzoic acid // *J. Gen. Chem.* 2019. V. 89. N 11. P. 2285–2289.
<https://doi.org/10.1134/S1070363219110197>].
- [11] *Калиновская И. В., Задорожная А. Н., Привар Ю. О.* Синтез и строение о-метилбензоатов европия // *ЖОХ.* 2021. Т. 91. № 2. С. 238–244.
<https://doi.org/10.31857/S0044460X21020074>
[*Kalinovskaya I. V., Zadorozhnaya A. N., Privar Yu. O.* Synthesis and structure of europium(III) o-methylbenzoates // *J. Gen. Chem.* 2021. V. 91. N 2. P. 196–201.
<https://doi.org/10.1134/S1070363221020079>].
- [12] *Pimentel P. M., Oliveira V. S., Silva Z. R., Melo D. M. A., Zinner L. B., Vicentini G., Bombieri G.* Synthesis, properties of lanthanide trifluoroacetate complexes with 2-azacyclononanone and X-ray crystal structure of [Sm(CF₃COO)₃(AZA)₂(H₂O)]₂·2AZA // *Polyhedron.* 2000. V. 19. P. 2651–2657.
[https://doi.org/10.1016/S0277-5387\(01\)00868-3](https://doi.org/10.1016/S0277-5387(01)00868-3)