

## ЛЮМИНЕСЦИРУЮЩИЕ СОЕДИНЕНИЯ ЕВРОПИЯ(III) С ХИНАЛЬДИНОВОЙ КИСЛОТОЙ

© И. В. Калиновская

Институт химии Дальневосточного отделения РАН,  
690022, г. Владивосток, пр. 100-летия Владивостоку, д. 159  
E-mail: kalinovskaya@ich.dvo.ru

Поступила в Редакцию 30 марта 2023 г.  
После доработки 27 июня 2023 г.  
Принята к публикации 29 июня 2023 г.

*Синтезированы разнолигандные люминесцирующие комплексы европия(III) с хинальдиновой кислотой и нейтральными лигандами. Полученные соединения охарактеризованы методами химического элементного, рентгенофазового, термогравиметрического анализа и ИК-спектроскопии. Установлен состав комплексных соединений. Показано, что при термоллизе комплексов отрыв молекулы азотсодержащего лиганда происходит в одну стадию с экзо- и эндотермическими эффектами, соединения являются термически устойчивыми до 260°C. Синтезированные комплексные соединения были введены в полиэтилен высокого давления. Получены люминесцирующие полимерные материалы.*

Ключевые слова: *термическая устойчивость; хинальдинаты европия(III); хинальдиновая кислота*  
DOI: 10.31857/S0044461823010048; EDN: HUIBKL

Разработка люминесцентных и фотостабильных функциональных материалов на основе комплексных соединений редкоземельных элементов (РЗЭ) для оптоэлектроники, аналитической химии, сельского хозяйства и медицины является актуальной задачей [1, 2]. Триболоминесцентные, люминесцентные, сенсорные и фотохимические свойства комплексов РЗЭ позволяют применять их в качестве добавок для светопреобразующих материалов.

Наиболее фотоустойчивыми и интенсивнолюминесцирующими являются комплексные соединения лантаноидов на основе ароматических кислот, которые имеют развитую систему сопряженных связей. Наиболее высок квантовый выход люминесценции у комплексов с кислотами, проявляющими высокую дентатность вследствие наличия в качестве заместителя атома азота. Представителями группы соединений, характеризующихся высоким квантовым выходом люминесценции, являются комплексные соединения с хинальдиновой (2-хинолинкарбоновой) кислотой [3]. Наличие двух функциональных групп у хинальдиновой кислоты и возможные различные способы координации карбоксильной группы могут приводить к появлению нескольких рядов

разнолигандных хинальдинатов редкоземельных элементов с перспективными люминесцентными свойствами.

Сведения о координационных соединениях редкоземельных элементов с хинальдиновой кислотой ограничены [4–6]. Попытки получить аддукты хинальдинатов лантаноидов с нейтральными лигандами долгое время были неудачными [3], в качестве конечного продукта образовывался моногидрат европия(III) с хинальдиновой кислотой островного строения. Синтезированы хинальдинаты лантаноидов островного и димерного строения [3, 4]. Получен хинальдинат европия полимерного строения, люминесцирующий ярко-оранжевым цветом [4].

Изучены структуры димера тригидрата хинальдината неодима и соединения европия с хинальдиновой кислотой островного строения [7, 8]. Следует отметить, что разнолигандные хинальдинаты европия(III) с нейтральными лигандами характеризуются интенсивной люминесценцией. Введение гетероциклического лиганда (1,10-фенантролина, 2,2'-дипиридила) в координационную сферу европия приводит к получению комплексных соединений, характеризующихся увеличением интенсивности люминесценции [3].

Цель работы — синтез люминесцирующих соединений европия(III) с хинальдиновой кислотой и нейтральными лигандами состава  $\text{Eu}(\text{Quin})_3\text{D}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , где — Quin (анион хинальдиновой кислоты); D — gu (гуанидин), dmf (диметилформамид), bt (бензтриазол), и получение люминесцирующих полимерных материалов на основе полиэтилена высокого давления.

### Экспериментальная часть

Для синтеза разнолигандных соединений европия(III) использовали  $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (ч., АО «Вектон»), хинальдиновую кислоту (ч., АО «Вектон»), гуанидин (98%, Acros Organics), бензтриазол (99% (Acros Organics), диметилформамид (96%, АО «ЭКОС»), 25%-ный водный раствор аммиака (ч.д.а., ООО «Сигма Тек»), этиловый спирт (95%, ООО «Гиппократ»). Для термогравиметрии применяли  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (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, ОАО «Медоборудование»).

Для синтеза разнолигандных соединений европия(III) с хинальдиновой кислотой к водному раствору шестиводного хлорида европия [0.22 г  $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , растворенного в 5 мл дистиллированной воды] прибавляли 80%-ный спиртовой раствор хинальдиновой кислоты и дополнительного нейтрального лиганда (0.15 г гуанидина, или 0.10 г диметилформамида, или 0.15 г бензтриазола в 15 мл 96%-ного этанола) в мольном соотношении 1:3:1.5. pH реакционной смеси доводили до 6 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 желтого 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 комплексного вещества до постоянной массы оксида европия(III). По данным элементного химического анализа состав синтезированных комплексных соединений евро-

пия(III) с хинальдиновой кислотой отвечает формулам  $\text{Eu}(\text{Quin})_3\cdot \text{gu}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Eu}(\text{Quin})_3\cdot \text{dmf}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{Eu}(\text{Quin})_3\cdot \text{bt}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

Рентгенографическое исследование соединений проводили порошковым методом. Порошкограммы образцов получали на дифрактометре ДРОН-2.0 (НПП «Буревестник») в  $\text{CuK}_\alpha$ -излучении.

Термогравиметрическое исследование проводилось с использованием дериватографа Q-1000 (Paulik–Paulik) в открытом платиновом тигле на воздухе. Вещество сравнения — прокаленный  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (ч., порошок белого цвета), скорость нагревания  $5 \text{ град}\cdot\text{мин}^{-1}$ .

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

Полиэтиленовые пленки, активированные люминесцирующими комплексными соединениями европия(III), получали методом прессования. Для этого полученные разнолигандные хинальдинаты европия(III) и порошок полиэтилена высокого давления (белый порошок, размер частиц 500 мкм, Alfa Aesar № A10239) тщательно перемешивали в ступке и прессовали на гидравлическом прессе при  $140^\circ\text{C}$ . 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

Синтезированные разнолигандные комплексные соединения европия(III) с хинальдиновой кислотой не разлагаются при длительном хранении. Дифрактометрическим порошковым методом определены кристаллографические параметры полученных комплексных соединений европия(III). Фазовый анализ показал отсутствие линий исходных веществ в рентгенограммах, что свидетельствует о чистоте комплексных соединений (табл. 1). Согласно данным рентгенографического исследования, хинальдинат европия(III) с диметилформамидом является рентгеноаморфным.

Термическая деструкция полученных соединений является многоступенчатым процессом (рис. 1). При термолизе соединений состава  $\text{Eu}(\text{Quin})_3\cdot \text{gu}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,

Таблица 1

Рентгенометрические данные соединений европия(III) с хинальдиновой кислотой, гуанидином и бензтриазолом

Eu(Quin) <sub>3</sub> ·gu·2H <sub>2</sub> O		Eu(Quin) <sub>3</sub> ·bt·2H <sub>2</sub> O	
межплоскостное расстояние, Å	относительная интенсивность рефлексов, %	межплоскостное расстояние, Å	относительная интенсивность рефлексов, %
12.11	100.00	10.44	44.80
8.56	41.80	10.19	100.0
7.55	32.43	7.87	31.90
6.02	42.00	6.24	16.36
5.05	32.38	6.40	34.55
4.94	25.23	5.72	37.27
4.41	22.00	4.55	20.91
4.02	23.81	3.60	13.64
3.37	44.29	3.48	32.73
3.31	22.38	3.40	22.73
3.14	21.90	3.27	23.64
2.73	46.67	2.90	21.64
2.28	14.29	2.59	16.36
2.08	19.05	2.24	25.45

Примечание. Quin — анион хинальдиновой кислоты, gu — гуанидин, bt — бензтриазол.

Eu(Quin)<sub>3</sub>·bt·2H<sub>2</sub>O, Eu(Quin)<sub>3</sub>·dmf·2H<sub>2</sub>O в интервале температур 85–155°C наблюдается потеря молекул воды, связанных в комплекс. Процесс дегидратации полученных комплексных соединений европия(III) протекает в одну стадию с эндотермическими эффектами.

При термическом разложении разнолигандных комплексных соединений европия(III) процесс отщепления нейтральных лигандов протекает в одну стадию в интервале температур 250–405°C для Eu(Quin)<sub>3</sub>·gu·2H<sub>2</sub>O и Eu(Quin)<sub>3</sub>·bt·2H<sub>2</sub>O с эндотермическими эффектами, для соединения Eu(Quin)<sub>3</sub>·dmf·2H<sub>2</sub>O с экзотермическим эффектом. При более высоких температурах 470–530°C, согласно данным термического анализа, осуществляется отрыв молекул хинальдиновой кислоты. Этому процессу на дифференциальных кривых нагревания и потери массы (ДТА и ДТГ) отвечают экзотермические и эндотермические эффекты.

Безводный комплекс Eu(Quin)<sub>3</sub> выделить не удалось, так как окончание отщепления азотсодержащего нейтрального лиганда совпадает с разложением органической части молекулы соединения европия(III). Конечным продуктом термического разложения комплексных соединений является Eu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (550–700°C).

Полученные разнолигандные хинальдинаты европия(III) являются более термически устойчивыми, чем изученные нами разнолигандные комплексные трифторацетаты европия(III) [9], и сопоставимы по термической устойчивости с метилбензоатами европия(III) [10, 11]. Термическую устойчивость разнолигандных хинальдинатов европия можно объяснить наличием в структуре нескольких сопряженных связей. Таким образом, термоустойчивые разнолигандные комплексные хинальдинаты европия(III) можно успешно использовать для внедрения в полимерные матрицы.

Определение координации аниона хинальдиновой кислоты и нейтральных лигандов к иону европия(III) осуществлялось методом ИК-спектроскопии (табл. 2). На наличие депротонированной карбоксильной группы в разнолигандных комплексных соединениях указывает исчезновение полосы деформационного колебания ОН-группы при 990 см<sup>-1</sup>.\*

Поглощение карбонильной группы некоординированной хинальдиновой кислоты при 1705 см<sup>-1</sup> в ИК-спектрах разнолигандных комплексных хинальдинатах европия(III) отсутствует [4]. Интенсивные

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

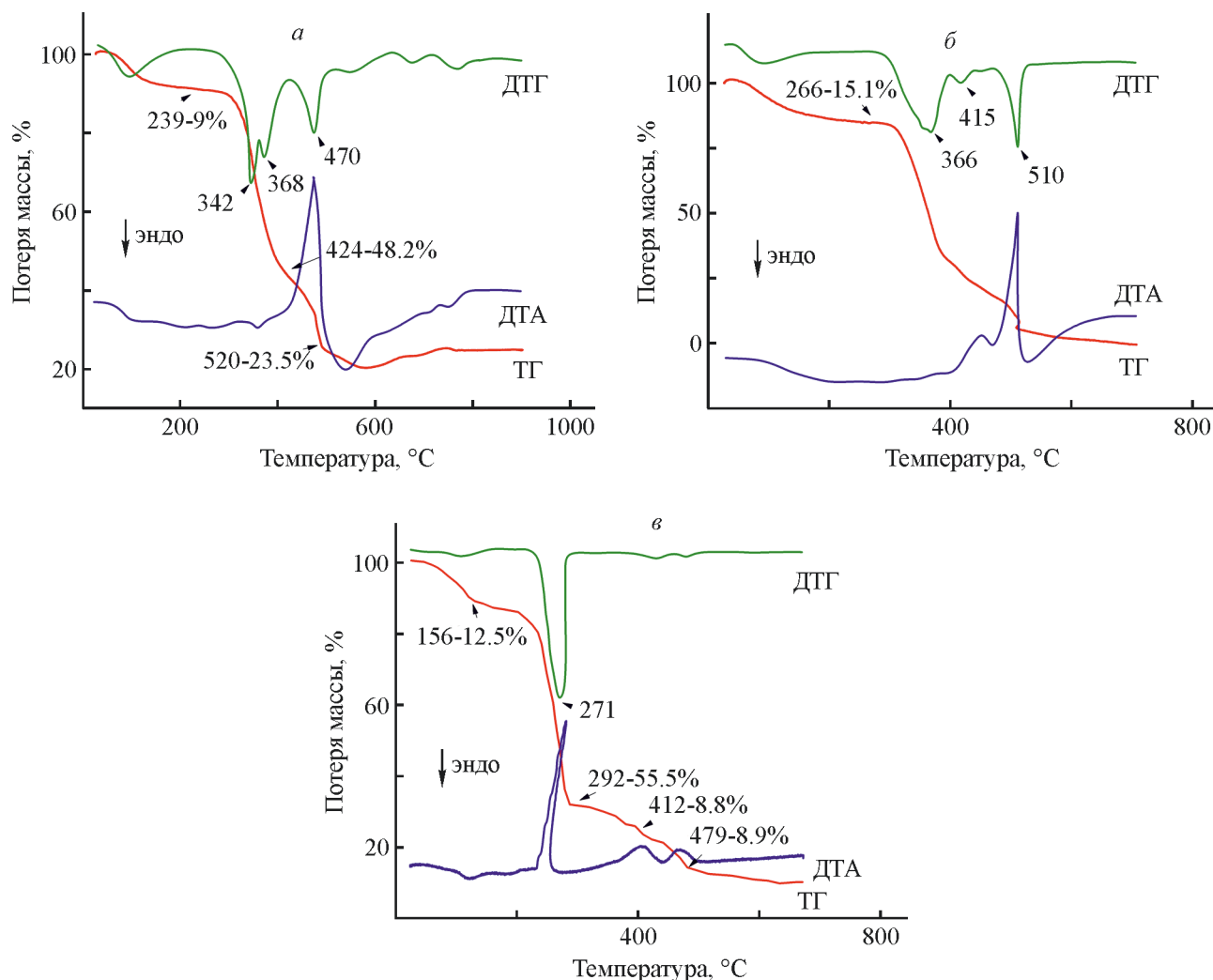


Рис. 1. Термограммы хинальдинатов европия(III): *a* —  $\text{Eu}(\text{Quin})_3 \cdot \text{bt} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , *б* —  $\text{Eu}(\text{Quin})_3 \cdot \text{gu} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , *в* —  $\text{Eu}(\text{Quin})_3 \cdot \text{dmf} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

Quin — анион хинальдиновой кислоты, dmf — диметилформамид, gu — гуанидин, bt — бензтриазол.

полосы при 1630–1610, 1415–1385  $\text{cm}^{-1}$  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 215–225  $\text{cm}^{-1}$ , что, согласно [12] ( $\Delta\nu > 100 \text{ cm}^{-1}$ ), свидетельствует о бидентатной координации  $\text{COO}^-$ -группы ионом европия.

Поглощение при 1560–1580  $\text{cm}^{-1}$  может быть обусловлено валентными колебаниями связей  $\text{C}=\text{C}$  бензольного кольца, а поглощение при 1600, 1605  $\text{cm}^{-1}$  в случае соединений  $\text{Eu}(\text{Quin})_3 \cdot \text{gu} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{Eu}(\text{Quin})_3 \cdot \text{bt} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  вызвано колебаниями связи  $\text{C}=\text{N}$ . О координации бензтриазола ионом европия в полученном разнолигандном комплексе  $\text{Eu}(\text{Quin})_3 \times$

$\times \text{bt} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  свидетельствуют полосы поглощения в области 2090 и 1410  $\text{cm}^{-1}$ , относящиеся к валентным колебаниям  $-\text{N}=\text{N}-$ .\*\* В разнолигандном комплексном соединении  $\text{Eu}(\text{Quin})_3 \cdot \text{dmf} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  о координации диметилформамида свидетельствует полоса при 1650  $\text{cm}^{-1}$ . О присоединении гуанидина свидетельствует полоса с максимумом при 1667  $\text{cm}^{-1}$ , относящаяся к деформационным колебаниям  $\text{NH}$ -группы. Присутствие молекул воды в синтезированных соединениях обуславливает появление широкой полосы в ИК-спектрах в области 3400–3600  $\text{cm}^{-1}$ .\*\*\*

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

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

\* Накамото К. Инфракрасные спектры неорганических и координационных соединений. М.: Мир, 1991. С. 256.

Таблица 2

Колебательные частоты ( $\text{см}^{-1}$ ) в ИК-спектрах разнолигандных соединений Eu(III) с хинальдиновой кислотой и нейтральными лигандами

Отнесение	Eu(Quin) <sub>3</sub> ·gu·2H <sub>2</sub> O	Eu(Quin) <sub>3</sub> ·bt·2H <sub>2</sub> O	Eu(Quin) <sub>3</sub> ·dmf·2H <sub>2</sub> O
$\nu(\text{H}_2\text{O})$	3620	3390	3610
$\nu(\text{CH})$	2980	2992	2990
$\nu(\text{—N=N—})$	—	2090 1414	—
$\nu(\text{C=O})$	—	—	1650
$\nu_{\text{as}}(\text{COO})$	1630	1620 1600	1610 1610
$\nu(\text{C=C})$	1580 1500	1560 1500	1580 1510
$\nu_{\text{s}}(\text{COO})$	1385	1410 1390	1415 1380
$\nu(\text{C=C})$	1580 1500	1560 1500	1580 1510
$\nu_{\text{s}}(\text{COO})$	1390	1430 1390	1410 1380
$\delta(\text{CH})$ плоские	1300 1245 1160	1280 1250 1160	1240 1160
$\nu(\text{C=C}) + \nu(\text{C=N})$	1605 1530	1600 1530	—
$\delta(\text{CH})$ неплоские	790 750 700	800 740 710	770 710

Примечание. Quin — анион хинальдиновой кислоты, dmf — диметилформамид, gu — гуанидин, bt — бензтриазол; «—» — неприменимо.

Полимерные материалы, содержащие люминесцирующие разнолигандные хинальдинаты европия(III), прозрачны и люминесцируют красным цветом при облучении ультрафиолетовым светом. Полиэтиленовый материал, активированный изученным ранее полимерным хинальдинатом европия(III) состава  $[\text{Eu}(\text{Quin})_3\text{H}_2\text{O}]_n$  [6], люминесцирует оранжевым цветом. Спектры люминесценции полученных материалов идентичны спектрам индивидуальных комплексных соединений, что свидетельствует о сохранении структуры диспергированных в полимерной матрице люминесцирующих частиц соединений европия. В спектрах люминесценции регистрируются отдельные линии магнитнодипольного  ${}^5\text{D}_0\text{—}{}^7\text{F}_1$  и электродипольных  ${}^5\text{D}_0\text{—}{}^7\text{F}_2$ ,  ${}^5\text{D}_0\text{—}{}^7\text{F}_4$  переходов Eu(III) с максимумами при 595, 615 и 700 нм соответственно (рис. 2). Интенсивность линий полос электродипольного  ${}^5\text{D}_0\text{—}{}^7\text{F}_0$  перехода незначительна. Наиболее

интенсивными являются полосы электродипольного  ${}^5\text{D}_0\text{—}{}^7\text{F}_2$  перехода. Интенсивность линий магнитнодипольного перехода  ${}^5\text{D}_0\text{—}{}^7\text{F}_1$  значительно ниже интенсивности линий электродипольного  ${}^5\text{D}_0\text{—}{}^7\text{F}_2$  перехода. Интенсивным является электродипольный  ${}^5\text{D}_0\text{—}{}^7\text{F}_4$  переход, его интенсивность сопоставима с интенсивностью магнитнодипольного  ${}^5\text{D}_0\text{—}{}^7\text{F}_1$  перехода. Для сопоставления люминесцентных характеристик использовали гидрат полимерного строения  $[\text{Eu}(\text{Quin})_3\text{H}_2\text{O}]_n$ , люминесцирующий оранжевым цветом.

Методом флуоресцентной микроскопии проведен анализ дисперсности и распределения частиц люминесцирующих соединений в полиэтилене высокого давления. Наблюдается неравномерное распределение частиц в полимерной матрице. Значительную часть объема материалов занимают как мелкие частицы округлой формы размером 2–5 мкм, так и раз-

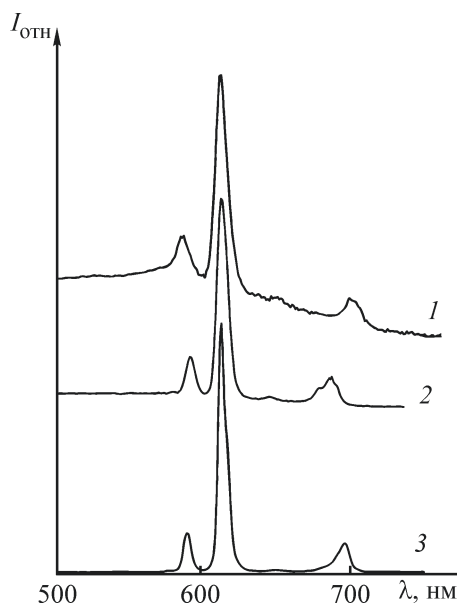


Рис. 2. Спектры люминесценции полиэтилена высокого давления с добавками соединений: 1 —  $\text{Eu}(\text{Quin})_3 \cdot \text{gu} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , 2 —  $\text{Eu}(\text{Quin})_3 \cdot \text{dmf} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , 3 —  $\text{Eu}(\text{Quin})_3 \cdot \text{bt} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

Quin — анион хинальдиновой кислоты, gu — гуанидин, dmf — диметилформамид, bt — бензтриазол.

мытые агрегаты мелкодисперсных частиц размером 20–40 мкм. В полимерном материале можно выделить и очень мелкие частицы размером 1.5–2 мкм.

### Выводы

Синтезированы интенсивнолюминесцирующие, термоустойчивые разнолигандные хинальдинаты европия(III) с нейтральными лигандами островного строения. В полученных комплексах реализуется бидентатная координация СОО-группы хинальдиновой кислоты ионом европия. 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 FWF N(0205)-2023-0003.

### Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

### Информация об авторах

Калиновская Ирина Васильевна, д.х.н., доцент  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6858-6595>

### Список литературы

- [1] Bunzli J.-C. G., Eliseeva S. V. Intriguing aspects of lanthanide luminescence // *Chem. Sci.* 2013. V. 4. P. 1939–1949. <https://doi.org/10.1039/C3SC22126A>
- [2] 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>
- [3] Seminara A., Musumeci A. J. Lanthanide chelates of some quinolinecarboxylic acids // *J. Inorg. Nucl. Chem.* 1977. V. 39. P. 599–605.
- [4] Калиновская И. В. Люминесцентные свойства соединений европия(III) с хинальдиновой кислотой и серосодержащим нейтральными лигандами // *ЖОХ.* 2019. Т. 89. № 12. С. 1909–1914. <https://doi.org/10.1134/S0044460X19120151> [Kalinovskaya I. V. Luminescent properties of europium(III) complexes with quinaldic acid and sulfur-containing neutral ligands // *Russ. J. Gen. Chem.* 2019. V. 89. N 12. P 2420–2423. <https://doi.org/10.1134/S1070363219120156>].
- [5] Калиновская И. В., Мирочник А. Г., Карасев В. Е. Фотодеструкция и фотостабилизация соединений европия в поливинилхлориде // *ЖПХ.* 2008. Т. 81. С. 2073–2075. EDN:KFSRFT [Kalinovskaya I. V., Mirochnik A. G., Karasev V. E. Photodestructive and photostabilization compounds of europium in polyvinyl chloride // *Russ. J. Appl. Chem.* 2008. V. 81. P. 2183–2186. <https://doi.org/10.1134/S1070427208120306>].
- [6] Калиновская И. В., Букветский Б. В. Кристаллическая структура, люминесценция и триболоминесценция комплекса  $[\text{Eu}_2(\text{Quin})_4\text{H}_2\text{O}_2\text{Dipy}]_2(\text{NO}_3)_2\text{H}_2\text{O}$  // *Опт. и спектр.* 2019. Т. 127. № 9. С. 412–419. <https://doi.org/10.21883/OS.2019.09.48193.245-18> [Kalinovskaya I. V., Bukvetskii B. V. Crystal structure, luminescence and triboluminescence of the complex  $\text{Eu}_2(\text{Quin})_4\text{H}_2\text{O}_2\text{Dipy}]_2(\text{NO}_3)_2\text{H}_2\text{O}$  // *Optics and Spectroscopy.* 2019. V. 127. N 3. P. 446–453. <https://doi.org/10.1134/S0030400X19090054>].
- [7] Starynowicz P. Structure of bis-*m*-(2-quinolinecarboxylato-O,O,O')bis[triaqua-(2-quinolinecarboxylato-N,O)(2-quinolinecarboxylato-O) neodymium(III)] trihydrate // *Acta Cryst.* 1990. V. 46. P. 2068–2070.
- [8] Bukvetskii B. V., Kalinovskaya I. V. Crystal structure, luminescence and triboluminescence of the complex  $[\text{Eu}(\text{NO}_3)_2\text{3hmpa}] \text{NO}_3 \cdot \text{HQuin}$  // *J. Fluorescence.* 2017. V. 27. N 3. P. 773–779. <https://doi.org/10.1007/s10895-016-2009-7>

- [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: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 *o*-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  $[\text{Sm}(\text{CF}_3\text{COO})_3(\text{AZA})_2(\text{H}_2\text{O})]_2 \cdot 2\text{AZA}$  // *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)
-