

СИНТЕЗ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НОВЫХ КООРДИНАЦИОННЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТЕРБИЯ(III) И ГАДОЛИНИЯ(III) С 3,5-ДИАЛКОКСИБЕНЗОЙНЫМИ КИСЛОТАМИ

© 2022 г. М. А. Григорян^а, М. А. Назаренко^а, А. И. Офлиди^{а,*},
Ю. С. Береснева^а, А. М. Васильев^а

^а Кубанский государственный университет, ул. Ставропольская 149, Краснодар, 350040 Россия
*e-mail: oflidi@mail.ru

Поступило в редакцию 28 июня 2022 г.
После доработки 16 августа 2022 г.
Принято к печати 18 августа 2022 г.

Проведен электрохимический синтез новых координационных соединений тербия(III) и гадолиния(III) с некоторыми 3,5-диалкоксибензойными кислотами. Методом термогравиметрии установлено, что соединения тербия(III) термостабильны до 300–330°C. Наибольшим квантовым выходом люминесценции обладает соединение тербия(III) с 3,5-диэтоксibenзойной кислотой, а наименьшим временем люминесценции – соединение Tb³⁺ с 4-гидрокси-3,5-диметоксибензойной кислотой.

Ключевые слова: лантаниды, 3,5-диалкоксибензойные кислоты, комплексные соединения, люминесценция

DOI: 10.31857/S0044460X22110154, **EDN:** LPRBNC

Электролюминесцентные материалы на основе соединений лантанидов используются в различных областях науки и техники [1–4]. Для изготовления светоизлучающих диодов (OLEDs) используются полимерные или металлокомплексные соединения, излучающие свет под действием электрического тока. На молекулярном уровне светоизлучающий материал для электролюминесцентных устройств должен обладать эффективной люминесценцией и иметь хорошую электронную и дырочную проводимость [3, 4]. Существенное влияние на полезные свойства комплексов оказывает природа металла, его координационное окружение и стереохимия металлоцентра, это проявляется в особенностях электронного строения ионов лантанидов и в возбуждении их через органическую часть комплексного соединения, в которой вероят-

ность конверсии энергии лиганда из синглетного в триплетное состояние ($S_1 \rightarrow T_1$ переход) весьма высока [4].

Хорошо изученные в настоящее время β -дикетонатные и пиразолилатные комплексы лантанидов обладают высокими выходами люминесценции, они сравнительно легко получаются, однако обладают рядом недостатков, главные из которых – низкая термическая устойчивость и заметная деструкция в воздушной среде. Этих недостатков лишены координационные соединения лантанидов с ароматическими карбоновыми кислотами, обладающими более выраженной термо- и фотостабильностью [4]. Они более устойчивы на воздухе, а также имеют характеристичные узкие и интенсивные полосы люминесценции, что позволяет применять их для производства высококаче-

ственных люминофоров в различных промышленных изделиях.

Введением различных заместителей в бензольное кольцо можно влиять на физико-химические свойства и получать координационные соединения с люминесцентными свойствами, термически стабильные и устойчивые к различным факторам окружающей среды.

Классическими методами синтеза, основанными на реакциях ионного обмена, не всегда удается получить координационные соединения, полностью удовлетворяющие предъявляемым требованиям, из-за загрязнения продуктами побочных реакций гидролиза, гидратации. Присутствие координированной воды в составе комплексного соединения может приводить к уменьшению квантового выхода люминесценции. Этих недостатков лишен метод электрохимического синтеза, позволяющий проводить синтез в одну стадию, получать безводные координационные соединения, не содержащие посторонних ионов, а также варьировать состав продукта и направление синтеза [5–7].

В электрохимическом синтезе происходит образование координационной сферы комплекса за счет окисления металлов в нулевой валентности в присутствии лигандов [8, 9]. Основное его преимущество – возможность синтеза координационных соединений, которые невозможно получить другими классическими методами, а также проведение синтеза в мягких условиях с относительно высокими выходами [10].

Методом электрохимического синтеза нами получены и охарактеризованы различными физико-химическими методами координационные соединения тербия(III) и гадолиния(III) с 3,5-диэтоксibenзойной (3,5-EtOBenzH), 4-гидрокси-3,5-диметоксибензойной (сиреневой) (3,5-MeO-4-HydBenzH), 4-бром-3,5-диметоксибензойной кислотами (3,5-MeO-4-BrBenzH). Изучена люминесценция полученных соединений и влияние на нее различных заместителей в ароматическом кольце. Для сравнения использованы данные исследований безводных координационных соединений тербия(III) и гадолиния(III) с 3,5-диметоксибензойной кислотой (3,5-MeOBenzH) (LnL_3), которые были получены ранее [6].

Электрохимический синтез. Для достижения максимальной эффективности синтеза необходимо было определить оптимальные условия и параметры синтеза: состав электролитной системы, подаваемое напряжение, силу тока, плотность тока, температуру, выход по току.

Выбор ацетонитрила в качестве растворителя обусловлен его электрохимической устойчивостью, слабой координирующей способностью, растворимостью в нем исходных ароматических кислот и фонового электролита, доступностью и легкостью осушки, что удовлетворяет требованиям, предъявляемым при электрохимическом синтезе. Для увеличения электропроводности системы в качестве фонового электролита применяли хорошо растворимый в ацетонитриле перхлорат лития, ионы которого имеют низкую координирующую способность.

Для достижения оптимальной силы тока в ходе синтезов координационных соединений лантанидов с ароматическими кислотами (0.012–0.025 А) на электрохимическую ячейку подавали напряжение в пределах 5–12 В. При более низких значениях силы тока синтез идет медленно, а при более высоких происходит нагревание раствора, что может приводить к протеканию побочных реакций. По этой причине синтез проводили при температуре, не превышающей 25°C. Оптимальная анодная плотность тока в ходе синтеза находилась в пределах 0.005–0.01 А/см². При более высоких значениях плотности тока начинается интенсивная деструкция анода, снижается эффективность синтеза и происходит загрязнение продукта синтеза твердыми частицами, содержащими металл. Концентрацию ароматической кислоты (0.01–0.05 моль/л) определяли исходя из ее растворимости, времени синтеза и оптимальной силы тока.

В результате синтеза получались малорастворимые координационные соединения, и на аноде происходила адгезия образовавшегося комплекса, что приводило к пассивации электрода. Вследствие пассивации плотность тока снижалась почти до нулевого значения, и синтез существенно замедлялся. Из-за высокого электрического сопротивления снижалась общая электропроводность системы. Для устранения данных проблем электрохимическую ячейку подвергали в ходе синтезов ультразвуковой обработке.

Таблица 1. Данные элементного анализа координационных соединений Gd³⁺ и Tb³⁺ с 3,5-диалкоксибензойными кислотами

Соединение	Найдено, %			Формула	Вычислено, %		
	C	H	Ln ³⁺		C	H	Ln ³⁺
Tb(3,5-EtOBenz) ₃	50.24	5.33	20.36	C ₃₃ H ₃₉ O ₁₂ Tb	50.39	5.01	20.21
Gd(3,5-EtOBenz) ₃	50.11	5.39	19.89	C ₃₃ H ₃₉ GdO ₁₂	50.49	5.02	20.04
Tb(3,5-MeO-4-HydBenz) ₃	43.58	3.25	21.63	C ₂₇ H ₂₇ O ₁₅ Tb	43.22	3.63	21.18
Gd(3,5-MeO-4-HydBenz) ₃	43.21	3.50	20.79	C ₂₇ H ₂₇ GdO ₁₅	43.31	3.64	21.00
Tb(3,5-MeO-4-BrBenz) ₃	34.74	2.35	17.11	C ₂₇ H ₂₄ Br ₃ O ₁₂ Tb	34.53	2.58	16.92
Gd(3,5-MeO-4-BrBenz) ₃	34.43	2.19	17.23	C ₂₇ H ₂₄ Br ₃ GdO ₂₁	34.59	2.59	16.78

Таблица 2. Характеристичные полосы поглощения (см⁻¹) функциональных групп в ИК спектрах исходных ароматических карбоновых кислот и их координационных соединений с Ln³⁺

Соединение	$\nu(\text{C=O})$	$\nu_{\text{as}}(\text{COO}^-)$	$\nu_{\text{s}}(\text{COO}^-)$	$\Delta\nu(\text{COO}^-)$	$\nu_{\text{as}}(\text{C}_{\text{ar}}-\text{O}-\text{C}_{\text{alk}})$	$\nu(\text{Ln}-\text{O})$	$\nu(\text{C}-\text{Br})$	$\delta(\text{OH})$	$\nu(\text{OH}\cdots\text{O})$
3,5-MeOBenzH	1689	–	–	–	1272	–	–	–	2608, 2569, 2509
Ln(3,5-MeOBenz) ₃	–	1530	1395	135	1251	430	–	–	–
3,5-EtOBenzH	1684	–	–	–	1267	–	–	–	2682, 2570, 2507
Ln(3,5-EtOBenz) ₃	–	1519	1378	140	1247	435	–	–	–
3,5-MeO-4-HydBenzH	1693	–	–	–	1265	–	–	–	–
Ln(3,5-MeO-4-HydBenz) ₃	–	1515	1369	146	1247	484	–	–	–
3,5-MeO-4-BrBenz	1681	–	–	–	1270	–	1035	1456	2645, 2582, 2520
Ln(3,5-MeO-4-BrBenz) ₃	–	1519	1373	146	1228	472	1039	1456	–

Выходы комплексных соединений (по массе 80–90%, по току 70–85%) довольно высоки, что свидетельствует об эффективности электрохимического анодного синтеза в выбранных оптимальных условиях [5–10]. Из данных элементного анализа и термогравиметрии следует, что нами получены безводные индивидуальные ароматические карбоксилаты лантанидов LnL₃ (табл. 1).

ИК спектроскопия. Сравнение ИК спектров полученных координационных соединений и исходных ароматических карбоновых кислот (табл. 2) показало, что последние в комплексных соединениях находятся в ионизированной форме, так как появляются полосы поглощения асимметричных

и симметричных колебаний депротонированной карбоксильной группы в диапазонах 1550–1500 и 1400–1370 см⁻¹ соответственно и исчезают полосы поглощения (1700–1680 см⁻¹), относящиеся к валентным колебаниям связи C=O неионизированной карбоксильной группы. Разница между асимметричными и симметричными валентными колебаниями ионизированной карбоксильной группы $\Delta\nu(\text{COO}^-)$ меньше 220 см⁻¹, что позволяет предположить [11, 12] ее бидентатную координацию с ионом лантанида. Это предположение подтверждается тем, что в диапазоне 920–720 см⁻¹ (деформационные колебания депротонированной карбоксильной группы) в ИК спектрах

Таблица 3. Люминесцентные характеристики координационных соединений тербия(III) и значения триплетных уровней 3,5-диалкоксибензойных кислот

Соединение	T , см^{-1}	$T_1 - ^5D_0$, см^{-1}	$I_{\text{отн}}^a$	τ , мс
3,5-Диэтоксibenзоат тербия(III)	23697	3197	1.5	2.1
3,5-Диметоксibenзоат тербия(III)	22522	2022	1.34	1.8
4-Бром-3,5-диметоксibenзоат тербия(III)	22124	1624	1.1	1.3
4-Гидрокси-3,5-диметоксibenзоат тербия(III)	21978	1478	0.78	0.5

^a Интегральная интенсивность относительно бензоата тербия(III).

исследуемых соединений число полос меньше трех.

Появление полос поглощения, соответствующих валентным колебаниям связи Ln–O (484–430 см^{-1}) [13], подтверждает образование координационных соединений. В области 3300–3600 см^{-1} отсутствует широкая полоса поглощения валентного колебания связи O–H координированных молекул воды, что свидетельствует об отсутствии молекул воды в полученных комплексах.

В спектрах ароматических кислот (за исключением сиреновой кислоты) в области 2650–2500 см^{-1} наблюдаются отсутствующие у координационных соединений полосы поглощения, предположительно принадлежащие димерам, образованным с участием водородных связей карбоксильных групп [11].

В спектрах координационных соединений у всех анионов алкилоксибензойных кислот происходит симметричное смещение полос поглощения эфирных асимметричных валентных колебаний $\nu_{\text{ас}}(\text{C}_{\text{Ar}}-\text{O}-\text{C}_{\text{Alk}})$, что свидетельствует об отсутствии координации кислорода алкоксигруппы с ионом лантанида(III).

В случае 4-гидрокси-3,5-диметоксibenзойной кислоты существует возможность координации с металлом по фенольной гидроксигруппе. Однако интенсивная полоса поглощения при 3363 см^{-1} , соответствующая валентным колебаниям связи O–H, и полоса при 1456 см^{-1} , соответствующая ее деформационным колебаниям, в спектрах координационных соединений практически не смещаются. Следовательно, фенольная группа в координации не участвует.

В ИК спектрах бромзамещенных диалкоксибензойных кислот характеристические полосы связей бром–углерод расположены в областях 1080–

1000 и 700–500 см^{-1} (валентные) и 350–250 см^{-1} (деформационные). В спектре 4-бром-3,5-диметоксibenзойной кислоты наблюдается выраженная полоса поглощения в области 1035 см^{-1} , соответствующая валентным колебаниям связи C–Br. Незначительное смещение данной полосы в спектре координационного соединения до 1039 см^{-1} ($\Delta\nu = 4 \text{ см}^{-1}$), а также наличие полос в области 655–528 см^{-1} в спектре кислоты и 657–639 см^{-1} в спектре координационного соединения свидетельствуют о неучастии атома брома в координации с ионом лантанида. Обобщая вышесказанное, можно сделать вывод о неучастии заместителей ароматического кольца кислоты (за исключением карбоксильной группы) в координации с ионами лантанидов.

Термогравиметрическое исследование. По данным термогравиметрического анализа, синтезированные координационные соединения тербия(III) термостабильны до 300–330°C и начинают плавиться незадолго до разложения. Это доказывает отсутствие координационной воды и открывает возможность нанесения люминесцентных пленок методом вакуумной возгонки.

Остаточная масса соответствует оксиду тербия Tb₄O₇. В интервале температур 300–600°C присутствуют экзоэффекты, сопровождающиеся резкой потерей массы, что связано с термоокислительной деструкцией соединений.

Люминесценция координационных соединений. Для координационных соединений Gb³⁺ были записаны спектры люминесценции при температуре жидкого азота (77 К) (с целью максимального нивелирования теплового тушения люминесценции), по максимумам полос испускания были определены триплетные уровни диалкокси-

бензойных кислот (табл. 3) с целью установления их фотофизических свойств и прогнозирования эффективности люминесценции координационных соединений с ионами других лантанидов [14, 15].

Для того чтобы в координационных соединениях тербия(III) наблюдалась интенсивная люминесценция необходимо, чтобы триплетный уровень кислоты располагался на 1500–4000 см^{-1} выше резонансного уровня иона Tb^{3+} (20500 см^{-1}) [16]. При более высоких значениях перенос энергии становится неэффективным из-за малой вероятности перехода электронов, а при более низких значениях вследствие теплового колебания молекул будет возрастать обратный перенос части энергии на молекулу лиганда.

Взаимное расположение заместителей в бензольном кольце кислоты друг относительно друга, а также относительно карбоксильной группы влияет на структуру координационного узла соединения. Их взаимное расположение может существенным образом изменять геометрию координационного узла, а значит, и эффективность передачи энергии с лиганда на ион лантанида, изменяя интенсивность люминесценции.

Введение в ароматическое кольцо электронодонорных групп способно повышать триплетный уровень лигандов. Положительный мезомерный эффект алкоксигрупп обусловлен смещением неподеленных электронных пар атомов кислорода в сторону кольца, увеличением электронной плотности в кольце и, как следствие, энергии возбужденного триплетного состояния. Удлинение алкильных заместителей без изменения их взаимного расположения приводит к увеличению триплетного уровня (для 3,5-диметоксибензойной кислоты $T = 22522 \text{ см}^{-1}$, для 3,5-диэтоксibenзойной кислоты $T = 23697 \text{ см}^{-1}$). Введение в кольцо электроноакцепторных заместителей (галогенов) дает отрицательный прирост энергии триплетного состояния (для 4-бром-3,5-диметоксибензойной кислоты $T = 22124 \text{ см}^{-1}$, а для 3,5-диметоксибензойной $T = 22522 \text{ см}^{-1}$). В целом, триплетные уровни диалкоксибензойных кислот расположены оптимально по отношению к излучающему уровню иона Tb^{3+} (20500 см^{-1}), поэтому можно прогнозировать проявление люминесцентных свойств у всех полученных координационных соединений тербия(III), что

в итоге было подтверждено экспериментальными данными.

Исследуемые координационные соединения тербия(III) люминесцируют в видимой области (зеленое свечение) при комнатной температуре и имеют полосы испускания, соответствующие энергетическим переходам иона Tb^{3+} : $^5\text{D}_4 \rightarrow ^7\text{F}_6$ (490 нм, 20500 см^{-1}), $^5\text{D}_4 \rightarrow ^7\text{F}_5$ (543 нм, 18400 см^{-1}), $^5\text{D}_4 \rightarrow ^7\text{F}_4$ (585 нм, 17000 см^{-1}), $^5\text{D}_4 \rightarrow ^7\text{F}_3$ (620 нм, 16000 см^{-1}). Фосфоресценция органического лиганда отсутствует, что свидетельствует о хорошем перераспределении энергии на ион Tb^{3+} . Это обусловлено оптимальным расположением возбужденных триплетных уровней лигандов и испускающим уровнем иона Tb^{3+} в полученных соединениях.

Оценку эффективности люминесценции полученных координационных соединений тербия(III) проводили по известной методике [15] относительно стандарта – безводного бензоата тербия(III) [5], интегральная интенсивность которого была принята за 1. В качестве стандарта он был выбран по причине достаточной интенсивности люминесценции.

При исследовании люминесцентных свойств полученных соединений обнаружено, что увеличение длины углеводородного радикала алкоксигруппы лиганда повышает интегральную интенсивность люминесценции. Введение в ароматическое кольцо алкоксигрупп в *мета*-положения относительно карбоксильной группы повышает эффективность люминесценции соответствующих координационных соединений тербия (III) по сравнению со стандартом. Среди всех синтезированных соединений наибольшей квантовой эффективностью обладает 3,5-диэтоксibenзоат тербия(III) (квантовый выход 1.5).

Зависимость интенсивности люминесценции координационных соединений тербия(III) от времени носит экспоненциальный характер, малые времена люминесценции (от 0.5 до 2.1 мс) свидетельствуют о том, что лимитирующей стадией переноса энергии является ее перенос с триплетного уровня лиганда на излучающий уровень лантанида. Наименьшее время люминесценции у 4-гидрокси-3,5-диметоксибензоата тербия(III) (0.5 мс).

Для впервые синтезированных безводных координационных соединений тербия(III) и гадолиния(III) с 3,5-диэтоксibenзойной, 4-гидрокси-3,5-диметоксибензойной и 4-бром-3,5-диметоксибензойной кислотами методом ИК спектроскопии установлен бидентатный способ координации группы COO^- с ионом металла. Термическая устойчивость координационных соединений (по данным термогравиметрии, до 300–330°C) позволяет рекомендовать их для термического вакуумного напыления с целью получения тонкопленочных материалов. Полученные координационные соединения тербия(III) люминесцируют в видимой области и имеют малые времена люминесценции.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Прямой электрохимический синтез координационных соединений лантанидов осуществляли методом растворимого анода [10]. Установка для проведения синтеза включает электрохимическую ячейку для анодного синтеза безводных комплексных соединений [5], источник ультразвука, источник постоянного тока, кулонометр, амперметр, вольтметр. В качестве неводного растворителя использовали безводный ацетонитрил. Время синтеза комплексов определяли исходя из начальной концентрации диалкоксибензойных кислот (0.01–0.05 моль/л) по закону Фарадея (от 2 до 3 ч). Синтез проводили в инертной атмосфере в герметичной системе. После окончания синтеза белый осадок отфильтровывали, промывали ацетонитрилом и сушили в вакуумной печи при 30–50°C. Количество тербия(III) и гадолиния(III) в полученных координационных соединениях определяли методом комплексонометрического титрования. Углерод и водород определяли методом элементного микроанализа на C,H,N,S-анализаторе VARIO MICRO CUBE в токе кислорода при температуре печи 1200°C.

Термический анализ выполняли на синхронном термическом анализаторе NETSCH STA 409 PC/PG в атмосфере воздуха в диапазоне температур от 25 до 1000°C со скоростью нагрева 10 град/мин. ИК спектры координационных соединений и исходных кислот записывали на ИК Фурье-спектрометре VERTEX 70 (Bruker) в области

4000–400 cm^{-1} . Для получения спектров твердых образцов использовали приставку нарушенного полного внутреннего отражения с алмазным кристаллом.

Спектры люминесценции регистрировали на спектрофлюориметре Флюорат–02 Панорама (Люмэкс) с использованием оптоволоконной приставки для измерения спектров твердых образцов при параметрах прибора: задержка 20 мкс, длительность 7500 мкс. Для измерения спектров флуоресценции при 77 К образец с оптоволоконным помещали в жидкий азот.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Григорян Милана Александровна, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7629-6205>

Назаренко Максим Андреевич, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3397-2434>

Офлиди Алексей Иванович, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6206-8057>

Береснева Юлия Сергеевна, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5778-7121>

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zolin V.F., Puntus L.N., Tsaryuk V.I., Kudryashova V.A., Legendziewicz J., Gawryszewska P., Szostak R. // *Z. Alloys Comp.* 2004. Vol. 380. N 1–2. P. 279. doi 10.1016/j.jallcom.2004.03.055
2. Wang Z.-M., Van de Burgt L.J., Choppin G.R. // *Inorg. Chim. Acta.* 1999. Vol. 293. N 2. P. 167.
3. Zolin V.F. // *Z. Alloys Compd.* 2004. Vol. 380. N 1–2. P. 101. doi 10.1016/j.jallcom.2004.03.006
4. Каткова М.А., Витухновский А.Г., Бочкарев М.Н. // *Усп. хим.* 2005. Т. 74. №12. С. 1193; Katkova M.A., Vitukhnovsky A. G., Bochkarev M. N. // *Russ. Chem. Rev.* 2005. Vol. 74. N 12. P. 1089. doi 10.1070/RC2005v074n12ABEN002481
5. Назаренко М.А., Офлиди А.И., Колоколов Ф.А., Панюшкин В.Т. // *ЖОХ.* 2017. Т. 87. № 5. С. 833; Nazarenko M.A., Offidi A.I., Kolokolov F.A., Panyushkin V.T. // *Russ. J. Gen. Chem.* 2017. Vol. 87. N 5. P. 1022. doi 10.1134/S1070363217050218

6. Panyushkin V.T., Kolokolov F.A., Ofliidi A.I., Nazarenko M.A. // Handbook of Ecomaterials. 2019. Vol. 3. P. 1615. doi 10.1007/978-3-319-68255-6_42
7. Назаренко М.А., Офлиди А.И., Панюшкин В.Т. // ЖОХ. 2019. Т.89. Вып. 3. С. 405; Nazarenko M.A., Ofliidi A.I., Panyushkin V.T. // Russ. J. Gen. Chem. 2019. Vol. 89. N 3. P. 434. doi 10.1134/S1070363219030113
8. Rodriguez A., García-Vázquez J.A. // Coord. Chem. Rev. 2015. Vol. 303. P. 42. doi 10.1016/j.ccr.2015.05.006
9. Direct Synthesis of Metal Complexes / Ed. B. Kharisov. Mexico: Elsevier, 2018. 468 p.
10. Фролов В.Ю., Офлиди А.И., Болотин С.Н., Шестакин А.И., Панюшкин В.Т. // ЖПХ. 2008. Т. 81. № 4. С. 602; Frolov V.Yu., Ofliidi A.I., Bolotin S.N., Shestakin A.I., Panyushkin V.T. // Russ. J. Appl. Chem. 2008. Vol. 81. N 4. P. 639. doi 10.1134/S1070427208040137
11. Накамото К. Инфракрасные спектры неорганических и координационных соединений. М.: Мир, 1991. 536 с.
12. Deacon G.B., Phillips R.J. // Coord. Chem. Rev. 1980. Vol. 33. N 3. P. 227. doi 10.1016/S0010-8545(00)80455-5
13. Rao G.V.S., Rao C.N.R., Ferraro J.R. // Appl. Spectrosc. 1970. Vol. 24. N 4. P. 436. doi 10.1366/000370270774371426
14. Meshkova S.B. // J. Fluoresc. 2000. Vol. 10. N 4. P. 333. doi 10.1023/A:1009418227641
15. Hilder M., Junk P.C., Kynast U.H., Lezhnina M.M. // J. Photochem. Photobiol. (A). 2009. Vol. 202. P. 10. doi 10.1016/j.jphotochem.2008.10.026
16. Latva M., Takalo H., Mukkala V.-M., Matachescu C., Rodriguez-Ubiz J.C., Kankare J. // J. Lumin. 1997. Vol. 75. N 149. P. 149. doi 10.1016/S0022-2313(97)00113-0

Synthesis and Physicochemical Properties of New Terbium(III) and Gadolinium(III) Coordination Compounds with 3,5-Dialkoxybenzoic Acids

M. A. Grigoryan^a, M. A. Nazarenko^a, A. I. Ofliidi^{a,*}, Yu. S. Beresneva^a, and A. M. Vasiliev^a

^a Kuban State University, Krasnodar, 350040 Russia

*e-mail: ofliidi@mail.ru

Received June 28, 2022; revised August 16, 2022; accepted August 18, 2022

Electrochemical synthesis of new coordination compounds of terbium(III) and gadolinium(III) with some 3,5-dialkoxybenzoic acids was carried out. It was found by thermogravimetry that terbium(III) compounds are thermally stable up to 300–330°C. The terbium(III) compound with 3,5-diethoxybenzoic acid has the highest luminescence quantum yield, and the Tb³⁺ compound with 4-hydroxy-3,5-dimethoxybenzoic acid has the shortest luminescence time.

Keywords: lanthanides, 3,5-dialkoxybenzoic acids, complex compounds, luminescence