

УДК 541.49:548.736:539.19

**КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА СОЕДИНЕНИЯ $\text{Sm}(\text{Phen})(i\text{-Bu}_2\text{PS}_2)_3 \cdot \text{MeCN}$
И ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА $\text{SmL}(i\text{-Bu}_2\text{PS}_2)_3$ ($\text{L} = \text{Phen}, 2,2'\text{-Bipy}$)**© 2010 Т.Е. Кокина^{1,2*}, Р.Ф. Клевцова¹, Е.М. Усков¹, Л.А. Глинская¹, Ю.А. Брылева²,
С.В. Ларионов¹¹Учреждение Российской академии наук Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН,
Новосибирск²Новосибирский государственный университет

Статья поступила 16 октября 2009 г.

Найдено, что комплексы $\text{Sm}(\text{Phen})(i\text{-Bu}_2\text{PS}_2)_3$ (**I**) и $\text{Sm}(2,2'\text{-Bipy})(i\text{-Bu}_2\text{PS}_2)_3$ (**II**) обладают фотолюминесценцией при 300 К, характерной для иона Sm^{3+} . В спектрах наблюдаются три полосы с $\lambda_{\text{max}} = 564, 600$ и 645 нм. Выращены монокристаллы соединения $\text{Sm}(\text{Phen})(i\text{-Bu}_2\text{PS}_2)_3 \cdot \text{MeCN}$ (**III**) и по дифракционным рентгеновским данным (дифрактометр X8 Apex, MoK_α -излучение, $7685 F_{hkl}$, $R = 0,0258$) определена его структура. Кристаллы **III** триклинные, размеры элементарной ячейки: $a = 11,0554(3)$, $b = 15,0446(3)$, $c = 15,4849(4)$ Å; $\alpha = 89,218(1)$, $\beta = 75,555(1)$, $\gamma = 73,484(1)^\circ$, $V = 2386,6(1)$ Å³, $Z = 2$, $\rho_{\text{выч}} = 1,391$ г/см³, пр. гр. $P\bar{1}$. Структура **III** построена из молекул одноядерного комплекса **I** и молекул MeCN. Координационный полиэдр атома Sm — тетрагональная антипризма N_2S_6 . Показано, что в структуре **III** имеются димерные ансамбли из молекул комплекса **I**.

Ключевые слова: разнолигандный комплекс, диизобутилдитиофосфинат, Sm, Phen, 2,2'-Bipy, кристаллическая и молекулярная структура, фотолюминесценция.

Синтез и исследование структуры люминесцирующих комплексов лантаноидов с органическими лигандами — актуальное направление координационной химии [1—3]. По принципу жестких, мягких кислот и оснований ионы лантаноидов относятся к жестким кислотам. Синтезированные люминесцирующие комплексы лантаноидов обычно содержат лиганды — жесткие основания, имеющие донорные атомы азота и кислорода. В связи с этим большой интерес вызывает возможность получения люминесцирующих комплексов лантаноидов с серосодержащими лигандами — мягкими основаниями и исследования их структуры. В обзоре [1] приведены комплексы лантаноидов с моно- и β-дикетоном. В число перспективных серосодержащих лигандов для синтеза люминесцирующих комплексов лантаноидов следует включить органические анионы, имеющие группы CS_2^- и PS_2^- . Так, синтезированы комплексы $\text{Ln}(\text{Phen}) \times (\text{Et}_2\text{NCS}_2)_3$ ($\text{Ln} = \text{La}, \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Sm}—\text{Lu}$) [4—6] и $\text{Ln}(\text{Phen})(\text{C}_4\text{H}_8\text{NCS}_2)_3$ ($\text{Ln} = \text{La}, \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Sm}$) [7]. Получены данные PCA для $\text{Eu}(\text{Phen})(\text{Et}_2\text{NCS}_2)_3$ [8] и $\text{Er}(2,2'\text{-Bipy})(\text{Et}_2\text{NCS}_2)_3$ [9]. Нами синтезированы и структурно охарактеризованы методом PCA разнолигандные соединения $\text{LnL}(\text{Et}_2\text{NCS}_2)_3$ ($\text{Ln} = \text{Eu}, \text{Sm}$; $\text{L} = \text{Phen}, 2,2'\text{-Bipy}$) [10, 11]. Показано, что эти комплексы и аналогичные соединения La, Pr, Gd, Tb и Dy обладают фотолюминесценцией [12]. Определена кристаллическая структура комплекса $\text{Yb}(\text{Phen})(\text{Et}_2\text{NCS}_2)_3$ [13]. Кроме того, синтезированы комплексы $\text{LnL}(i\text{-Bu}_2\text{PS}_2)_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Sm}, \text{Eu}$; $\text{L} = \text{Phen}, 2,2'\text{-Bipy}$), причем структуры соединений европия(III) были определены методом PCA [14]. Позднее исследована структура

* E-mail: kokina@niic.nsc.ru

$\text{Nd}(\text{Phen})(i\text{-Bu}_2\text{PS}_2)_3$ [15]. Найдено, что этот комплекс и новые разнолигандные соединения $\text{LnL}(i\text{-Bu}_2\text{PS}_2)_2\text{NO}_3$ ($\text{Ln} = \text{Nd}, \text{Eu}$; $\text{L} = \text{Phen}, 2,2'\text{-Bipy}$) обладают фотолюминесценцией [15, 16].

Цель данной работы — определение структуры соединения $\text{Sm}(\text{Phen})(i\text{-Bu}_2\text{PS}_2)_3 \cdot \text{MeCN}$ и изучение фотолюминесценции комплексов $\text{SmL}(i\text{-Bu}_2\text{PS}_2)_3$ ($\text{L} = \text{Phen}, 2,2'\text{-Bipy}$).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Комплексы $\text{Sm}(\text{Phen})(i\text{-Bu}_2\text{PS}_2)_3$ (**I**) и $\text{Sm}(2,2'\text{-Bipy})(i\text{-Bu}_2\text{PS}_2)_3$ (**II**) получали по известным методикам [14]. Данные элементного анализа (C, H, N) для **I** и **II** соответствуют вычисленным значениям для соединений указанного состава. Микроанализы выполнены на анализаторе Euro EA 3000.

Монокристаллы соединения $\text{Sm}(\text{Phen})(i\text{-Bu}_2\text{PS}_2)_3 \cdot \text{MeCN}$ (**III**) выращены при медленном испарении раствора комплекса **I** в ацетонитриле.

Для РСА отобрали прозрачный кристалл в форме призмы. Параметры элементарной ячейки и интенсивности рефлексов измеряли при низкой температуре (150 К) на автодифрактометре "Bruker X8 Apex CCD", оснащенном двухкоординатным детектором, по стандартной методике (MoK α -излучение, $\lambda = 0,71073 \text{ \AA}$, графитовый монохроматор). Кристаллографические характеристики, детали рентгеновского дифракционного эксперимента и уточнения структуры приведены в табл. 1.

Структура решена прямым методом и уточнена полноматричным МНК по F^2 в анизотропном для неводородных атомов приближении по комплексу программ SHELXL-97 [17]. Позиции атомов водорода при атоме C(1S) молекулы MeCN выявлены из разностного синтеза электронной плотности и уточнены изотропно. Остальные атомы H рассчитаны геометрически и включены в уточнение в изотропном приближении совместно с неводородными атомами.

Т а б л и ц а 1

Кристаллографические характеристики, детали эксперимента и уточнения структуры соединения **III**

Эмпирическая формула	$\text{C}_{38}\text{H}_{65}\text{N}_3\text{P}_3\text{S}_6\text{Sm}$
Молекулярный вес	999,55
Сингония	Триклинная
Пространственная группа	$P\bar{1}$
$a, b, c, \text{ \AA}$	11,0554(3), 15,0446(3), 15,4849(4)
$\alpha, \beta, \gamma, \text{ град.}$	89,218(1), 75,555(1), 73,484(1)
$V, \text{ \AA}^3$	2386,64(10)
$Z; \rho_{\text{выч}}, \text{ г/см}^3$	2; 1,391
$\mu, \text{ мм}^{-1}$	1,622
Размеры кристалла, мм	0,32×0,28×0,15
Область сканирования, $\theta, \text{ град.}$	1,90—25,50
Число измерен. / независ. отражений, $R(\text{int})$	16358 / 8708, 0,0236
Число отражений с $I > 2\sigma(I)$	7685
Число уточняемых параметров	510
GOOF по F^2	1,044
R -фактор, $I > 2\sigma(I)$	
R_1	0,0258
wR_2	0,0537
R -фактор (по всем I_{hkl})	
R_1	0,0326
wR_2	0,0555
Остаточная электронная плотность (max / min), e/\AA^3	0,707 / -0,331

Основные межатомные расстояния d (Å) и валентные углы ω (град.) в структуре соединения III

Связь	d	Связь	d	Связь	d
Sm(1)—N(1f)	2,611(2)	P(2)—C(21)	1,821(3)	C(9f)—C(10f)	1,398(4)
Sm(1)—N(2f)	2,640(2)	P(2)—C(25)	1,822(3)	C(11f)—C(12f)	1,349(4)
Sm(1)—S(3)	2,8620(7)	S(5)—P(3)	2,0034(9)	C(1f)—C(2f)	1,397(4)
Sm(1)—S(6)	2,8876(7)	S(6)—P(3)	2,012(1)	C(2f)—C(3f)	1,364(4)
Sm(1)—S(2)	2,8896(7)	P(3)—C(35)	1,811(3)	C(3f)—C(4f)	1,406(4)
Sm(1)—S(5)	2,9059(7)	P(3)—C(31)	1,821(3)	C(4f)—C(5f)	1,411(4)
Sm(1)—S(1)	2,9094(7)	N(1f)—C(1f)	1,333(3)	C(4f)—C(11f)	1,431(4)
Sm(1)—S(4)	2,9377(7)	N(1f)—C(5f)	1,359(3)	C(5f)—C(6f)	1,450(4)
S(1)—P(1)	2,0129(9)	N(2f)—C(10f)	1,327(3)	N(1S)—C(2S)	1,131(5)
S(2)—P(1)	2,0092(9)	N(2f)—C(6f)	1,367(3)	C(1S)—C(2S)	1,442(7)
P(1)—C(11)	1,822(2)	C(6f)—C(7f)	1,404(4)	C(1S)—H(1S)	0,96(5)
P(1)—C(15)	1,825(3)	C(7f)—C(8f)	1,407(4)	C(1S)—H(2S)	1,04(4)
S(3)—P(2)	2,015(1)	C(7f)—C(12f)	1,432(4)	C(1S)—H(3S)	0,94(5)
S(4)—P(2)	2,012(1)	C(8f)—C(9f)	1,361(4)		
Угол	ω	Угол	ω	Угол	ω
N(1F)—Sm(1)—N(2F)	62,80(6)	C(35)—P(3)—C(31)	105,9(1)	C(3f)—C(4f)—C(11f)	122,8(3)
S(6)—Sm(1)—S(5)	69,42(2)	C(35)—P(3)—S(5)	109,53(9)	C(5f)—C(4f)—C(11f)	120,0(2)
S(2)—Sm(1)—S(1)	69,77(2)	C(31)—P(3)—S(5)	113,5(1)	N(1f)—C(5f)—C(4f)	122,8(2)
S(3)—Sm(1)—S(4)	70,31(2)	C(35)—P(3)—S(6)	111,3(1)	N(1f)—C(5f)—C(6f)	118,2(2)
C(11)—P(1)—C(15)	100,8(1)	C(31)—P(3)—S(6)	106,0(1)	C(4f)—C(5f)—C(6f)	119,0(2)
C(11)—P(1)—S(2)	112,55(9)	S(5)—P(3)—S(6)	110,49(4)	N(2f)—C(6f)—C(7f)	122,8(2)
C(15)—P(1)—S(2)	110,48(9)	C(1f)—N(1f)—C(5f)	117,7(2)	N(2f)—C(6f)—C(5f)	118,1(2)
C(11)—P(1)—S(1)	108,78(9)	C(1f)—N(1f)—Sm(1)	121,4(2)	C(7f)—C(6f)—C(5f)	119,0(2)
C(15)—P(1)—S(1)	112,7(1)	C(5f)—N(1f)—Sm(1)	120,42(16)	C(6f)—C(7f)—C(8f)	117,8(2)
S(2)—P(1)—S(1)	111,10(4)	C(10f)—N(2f)—C(6f)	117,2(2)	C(6f)—C(7f)—C(12f)	120,4(2)
C(21)—P(2)—C(25)	106,5(1)	C(10f)—N(2f)—Sm(1)	123,1(2)	C(8f)—C(7f)—C(12f)	121,9(3)
C(21)—P(2)—S(4)	109,9(1)	C(6f)—N(2f)—Sm(1)	119,1(2)	C(9f)—C(8f)—C(7f)	119,1(3)
C(25)—P(2)—S(4)	110,7(1)	N(1f)—C(1f)—C(2f)	123,4(3)	C(8f)—C(9f)—C(10f)	119,5(2)
C(21)—P(2)—S(3)	109,5(1)	C(3f)—C(2f)—C(1f)	119,0(3)	N(2f)—C(10f)—C(9f)	123,5(2)
C(25)—P(2)—S(3)	107,9(1)	C(2f)—C(3f)—C(4f)	119,9(3)	C(12f)—C(11f)—C(4f)	121,0(3)
S(4)—P(2)—S(3)	112,10(4)	C(3f)—C(4f)—C(5f)	117,2(3)	C(11f)—C(12f)—C(7f)	120,6(3)

Примечание: Длины связей C—C в i -Bu₂PS₂⁻-ионах изменяются в интервале 1,501(4)—1,548(4) Å, f—атомы Phen.

Окончательные значения основных межатомных расстояний и валентных углов приведены в табл. 2. Полные таблицы координат атомов, длин связей и валентных углов депонированы в Кембриджской базе структурных данных (CCDC 748114) и могут быть получены у авторов.

Спектры фотолюминесценции (ФЛМ) снимали на спектрометре СДЛ-1. Для возбуждения ФЛМ применяли ртутную лампу типа ДРШ-250 с фильтром на 365 нм. Возбуждение осуществляли под углом 35—40° к площади образца. Спектры записывали с помощью фотоэлектронного умножителя ФЭУ-62 и самописца КСП-4. Образцы готовили в виде таблеток одинаковой площади, используя поликристаллы i -Bu₂PS₂Na·3H₂O и комплексов I, II. Спектры записывали при комнатной температуре в стандартных условиях.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Основу кристаллической структуры соединения **III** составляют молекулы одноядерного комплекса **I** и молекулы MeCN , все атомы которых расположены в общих позициях (рис. 1, *a*). Атом Sm координирует два атома N бидентатного хелатообразующего лиганда Phen на расстояниях $\text{Sm}-\text{N}$, равных 2,611(2) и 2,640(2) Å, а также шесть атомов S трех бидентатных хелатообразующих лигандов $i\text{-Bu}_2\text{PS}_2^-$ на различающихся расстояниях $\text{Sm}-\text{S}$, лежащих в интервале 2,8620(7)—2,9377(7) Å. Координация приводит к замыканию трех хелатных циклов SmS_2C и цикла SmN_2C_2 . Координационный полиэдр N_2S_6 можно представить в форме искаженной тетрагональной антипризмы. Четырехугольные грани призмы, образованные атомами $\text{S}(1)\text{S}(2)\text{S}(5)\text{S}(6)$ и $\text{N}(1\text{f})\text{N}(2\text{f})\text{S}(3)\text{S}(4)$, расположены под углом $6,3^\circ$ друг к другу. Среднее отклонение атомов в этих гранях равно 0,0107(3) и 0,2690(8) Å соответственно. В антипризме грань $\text{N}(1\text{f})\text{N}(2\text{f})\text{S}(3)\text{S}(4)$ имеет перегиб по ребру $\text{N}(1\text{f})\text{S}(3)$ с образованием двугранного угла $25,51(8)^\circ$. Длины связей и величины валентных углов координационного узла SmN_2S_6 близки значениям в комплексах $\text{Ln}(\text{Phen})(i\text{-Bu}_2\text{PS}_2)_3$ ($\text{Ln} = \text{Eu}, \text{Nd}$) [14, 15]. Атомы P имеют слегка искаженное тетраэдрическое окружение: среднее значение величины валентных углов при атомах P близко к идеальному тетраэдрическому $109,5^\circ$. Плоскости, проходящие через атомы трех четырехчленных хелатных циклов SmS_2P , имеют практически плоское строение со средним отклонением атомов от их плоскостей 0,0207(3), 0,0416(3), 0,0897(3) Å. Пятичленный хелатный цикл SmN_2C_2 слегка деформирован и имеет конформацию *конверта* с отклонением атома Sm от плоскости N_2C_2 в 0,374(5) Å.

Две параллельные плоскости Phen соседних молекул комплекса **I**, размноженных центром симметрии, расположены на расстоянии $d = 3,38$ Å, а центры колец Phen — на расстоянии r , равном 5,45 Å (см. рис. 1, *b*). Вследствие большого значения r локализация перекрывания молекул Phen происходит лишь на их периферии. Поэтому имеются лишь контакты (на уровне ван-дер-ваальсовых взаимодействий) между атомами $\text{C}\dots\text{C}$, кратчайшие из которых $\text{C}(6\text{f})\dots\text{C}(8\text{f}')$ 3,432(3), $\text{C}(7\text{f})\dots\text{C}(9\text{f})$ 3,451(3), $\text{C}(10\text{f})\dots\text{C}(12\text{f})$ 3,484(4) Å. Наличие этих контактов и слабой водородной связи $\text{S}(1)\dots\text{H}(8\text{f})$ 2,867 Å приводят к образованию димерного ансамбля (см. рис. 1, *a*). Существующие подобных "димеров" для комплекса $\text{Eu}(\text{Phen})(i\text{-Bu}_2\text{PS}_2)_3$ обнаружено в [14]. Аналогичное взаимодействие отмечали также в структурах разнолигандных координационных соединений диалкилдитиокарбаматов и алкилксантогенатов металлов с азотистыми гетероциклами [18, 19].

Молекулы MeCN размещаются в полостях между молекулами комплекса **I**. Молекулы MeCN слабо связаны с атомами молекул комплекса: минимальные расстояния $\text{C}(1\text{S})\dots\text{S}(5)$ 3,502(6), $\text{C}(2\text{S})\dots\text{C}(33)$ 3,588(5) Å. Это позволяет отнести соединение **III**

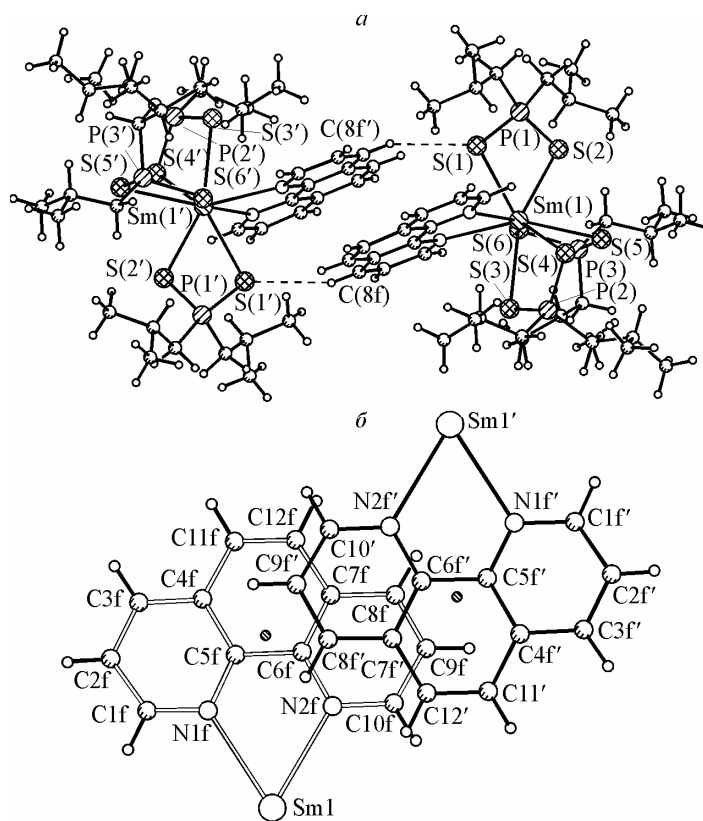
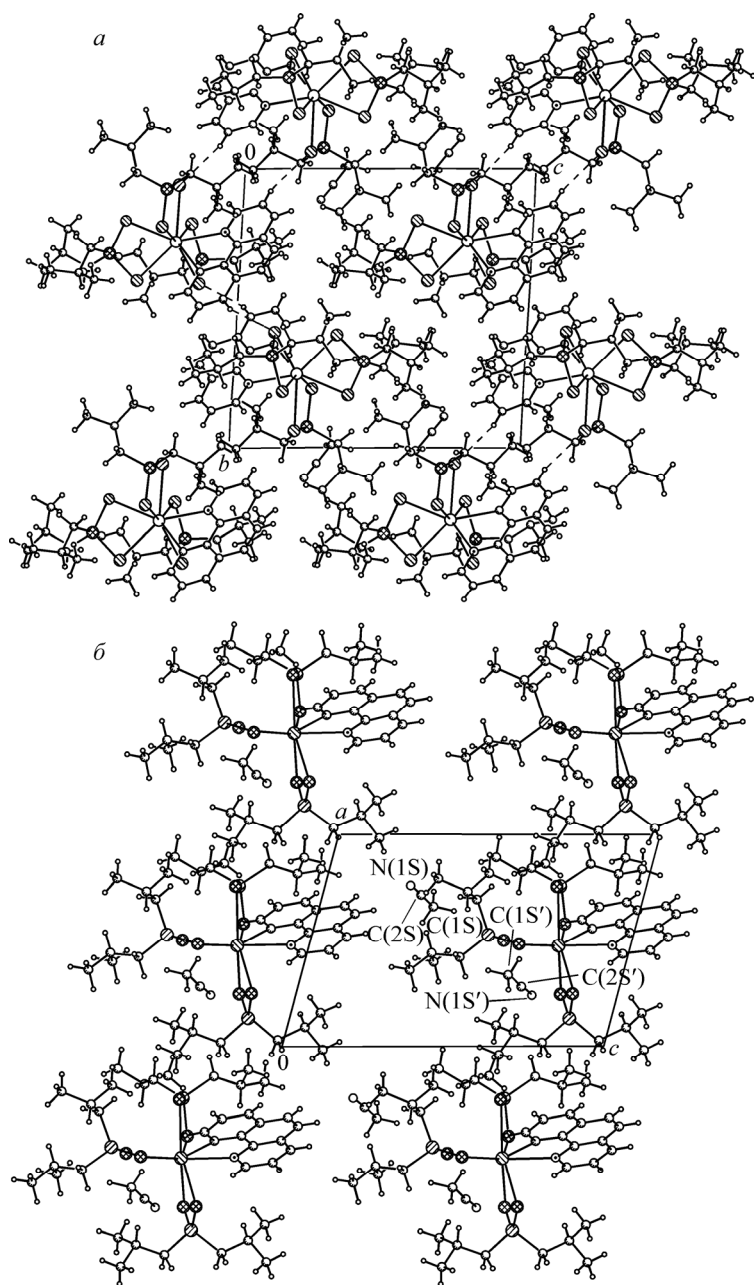


Рис. 1. Димерный ансамбль в кристаллической структуре **III** — *a*; степень перекрывания параллельных фенантролиновых циклов молекул $\text{Sm}(\text{Phen})(i\text{-Bu}_2\text{PS}_2)_3$ на их среднестатистическую плоскость — *b*



в одном из этих уровней приведено на рис. 2, б. На этом же рисунке отмечено положение молекул MeCN.

Сравнение ранее структурно изученных клатратов, образованных комплексными соединениями с бидентатными серосодержащими лигандами и молекулами органических соединений, показало, что некоторые из них имеют аналогичное с **III** строение. В структурах клатратных соединений $\text{Ni}(2,2'\text{-Bipy})(\text{EtOCS}_2)_2 \cdot \text{C}_6\text{H}_6$ [19], $\text{Zn}_2(4,4'\text{-Bipy})(i\text{-Pr}_2\text{NCS}_2)_4 \cdot 2\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$ [20], $\text{Zn}_2(4,4'\text{-Bipy})(i\text{-PrOCS}_2)_4 \cdot \text{CH}_2\text{Cl}_2$ [21] молекулы бензола, толуола и хлористого метилена располагаются также в замкнутых полостях.

Можно предположить, что структура комплекса **II** подобна структуре **I**.

В соли $i\text{-Bu}_2\text{PS}_2\text{Na} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ при 300 К и $\lambda_{\text{возб}} = 365$ нм в видимой области спектра ФЛМ не обнаружена. Комплекс **I** при тех же условиях наблюдения обладает ФЛМ, характерной для иона Sm^{3+} . В спектре наблюдали три полосы, соответствующие переходам ${}^4G_{5/2} \rightarrow {}^6H_{5/2} \rightarrow {}^6H_{7/2} \rightarrow {}^6H_{9/2}$ с $\lambda_{\text{max}} = 564, 600, 645$ нм соответственно (рис. 3). Наибольшей интенсивностью

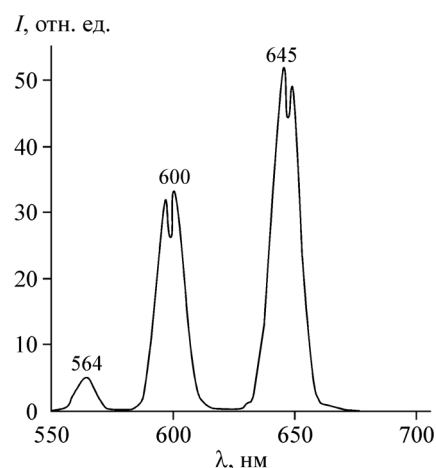


Рис. 2. (слева) Упаковка молекул соединения **III** в проекции вдоль оси a — a ; проекция одного слоя молекул $\text{Sm}(\text{Phen})(i\text{-Bu}_2\text{PS}_2)_3$ в структуре соединения **III** вдоль оси b и расположение молекул MeCN в образовавшихся полостях — b

Рис. 3 (справа). Спектр фотолуминесценции комплекса **I** при 300 К и $\lambda_{\text{возб}} = 365$ нм

к клатратному типу. Характер упаковки молекул в структуре **III** представлен на рис. 2, a в проекции вдоль короткой оси a . Поскольку атомы Sm располагаются на двух уровнях вдоль оси b : $y \approx 0,24$ и $\approx 0,76$, можно выделить два уровня молекул комплекса **I**, которые связаны центром симметрии. Расположение молекул

(I) обладает полоса с $\lambda_{\text{max}} = 645$ нм. Комплекс II также обладает ФЛМ при 300 К и $\lambda_{\text{возб}} = 365$ нм. Спектр ФЛМ II аналогичен спектру комплекса I, однако I всех трех полос приблизительно в 4 раза слабее. По-видимому, Phen в комплексе I обладает сенсibiliзирующим эффектом по отношению к иону Sm^{3+} . Триpletный уровень Phen по энергии приблизительно равен первому возбужденному уровню ${}^4G_{5/2}$ иона Sm^{3+} [22]. Поэтому возможен перенос энергии от молекул Phen к ионам Sm^{3+} , что усиливает ФЛМ Sm^{3+} . Тот факт, что спектральные полосы комплекса I в 4 раза интенсивнее полос комплекса II, свидетельствуют в пользу этого предположения. То, что Phen усиливает ФЛМ ионов Sm^{3+} , отмечено в [23]. Аналогичную картину по сенсibiliзирующему влиянию Phen на ФЛМ ионов Eu^{3+} мы наблюдали, изучая ФЛМ комплексов $\text{EuL}(i\text{-Bu}_2\text{PS}_2)_2\text{NO}_3$ (L = Phen, 2,2'-Bipy) [16]. Однако следует отметить, что I спектральных линий иона Eu^{3+} в этих комплексах выше I спектральных полос иона Sm^{3+} в соединениях I и II при тех же условиях наблюдения.

Полученные данные свидетельствуют о перспективности дальнейшего синтеза, исследования структуры и ФЛМ комплексов лантоноидов с серосодержащими лигандами, имеющими донорную группировку PS_2^- , и азотистыми гетероциклами.

Авторы выражают благодарность к.х.н. Д.Ю. Наумову за проведение рентгеноструктурного эксперимента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каткова М.А., Витухновский А.Г., Бочкарев М.Н. // Успехи химии. – 2005. – 74, № 12. – С. 1193 – 1215.
2. Bünzli J.-C. G. // Acc. Chem. Res. – 2006. – 39. – P. 53 – 61.
3. Метелица А.В., Бурлов А.С., Безуглый С.О. и др. // Координац. химия. – 2006. – 32, № 12. – С. 894 – 905.
4. Гориков Н.Н., Сидоренко Г.В., Суглобов Д.И. // Радиохимия. – 1994. – 36, № 2. – С. 154 – 156.
5. Fan X.-Z., Chen S.-P., Xie G. et al. // Acta Chim. Sinica. – 2006. – 64, N 10. – P. 1022 – 1030.
6. Домрачев Г.А., Завьялова Л.В., Свечников Г.С. и др. // Журн. общ. химии. – 2003. – 73, № 4. – С. 593 – 599.
7. Meng X.-X., Gao S.-L., Chen S.-P. et al. // Acta Chim. Sinica. – 2004. – 62, N 22. – P. 2233 – 2238.
8. Su C.G., Tan M.Y., Tang N. et al. // J. Coord. Chem. – 1996. – 38, N 3. – P. 207 – 218.
9. Su C., Tang N., Tan M., Yu K. // Polyhedron. – 1996. – 15, N 2. – P. 233 – 239.
10. Варанд В.Л., Глинская Л.А., Клевцова Р.Ф., Ларионов С.В. // Журн. структур. химии. – 1998. – 39, № 2. – С. 300 – 309.
11. Варанд В.Л., Глинская Л.А., Клевцова Р.Ф., Ларионов С.В. // Журн. структур. химии. – 2000. – 41, № 3. – С. 663 – 668.
12. Regulacio M.D., Publico M.H., Vasquez J.A. et al. // Inorg. Chem. – 2008. – 47, N 5. – P. 1512 – 1523.
13. Кузьмина Н.П., Иванов Р.А., Илюхин А.Б., Парамонов С.Е. // Координац. химия. – 1999. – 25, № 8. – С. 635 – 638.
14. Варанд В.Л., Клевцова Р.Ф., Глинская Л.А., Ларионов С.В. // Координац. химия. – 2000. – 26, № 11. – С. 869 – 877.
15. Ларионов С.В., Варанд В.Л., Клевцова Р.Ф. и др. // Координац. химия. – 2008. – 34, № 12. – С. 944 – 950.
16. Варанд В.Л., Усков Е.М., Корольков И.В., Ларионов С.В. // Журн. общ. химии. – 2009. – 79, № 2. – С. 240 – 243.
17. Sheldrick G.M. SHELXL-97, release 97-2. – Germany: University of Göttingen, 1998.
18. Ларионов С.В., Клевцова Р.Ф., Земскова С.М., Глинская Л.А. // Химия в интересах устойчивого развития. – 1999. – 7, № 4. – С. 451 – 461.
19. Gable R.W., Hoskins B.F., Winter G. // Inorg. Chim. Acta. – 1985. – 96. – P. 151 – 159.
20. Ларионов С.В., Клевцова Р.Ф., Щукин В.Г. и др. // Координац. химия. – 1999. – 25, № 10. – С. 743 – 749.
21. Клевцова Р.Ф., Леонова Т.Г., Глинская Л.А., Ларионов С.В. // Координац. химия. – 2000. – 26, № 3. – С. 179 – 184.
22. Полуэктов Н.С., Кононенко Л.И., Ефрюшина Н.П., Бельтюкова С.В. Спектрофотометрические и люминесцентные методы определения лантаноидов. – Киев.: Наукова думка, 1989.
23. Севченко А.Н., Кузнецова В.В. Редкоземельные элементы. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – С. 358 – 361.