

раздел ХИМИЯ

УДК 546.650

DOI: 10.33184/bulletin-bsu-2025.4.8

СИНТЕЗ И СТРУКТУРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЛЕКСА ИТТЕРБИЯ С ГЛИЦИНОМ

А. В. Князев, А. М. Аль-Карави, Н. В. Сомов,
Х. М. Диаалдаин, С. С. Князева, В. Ж. Корокин*

Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского
Россия, Нижегородская область, 603022 г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23А.

*Email: vit-korokin@yandex.ru

Описан способ получения нового комплекса иттербия с глицином состава $[Yb(Gly)_3(H_2O)_2](ClO_4)_3 \cdot H_2O$. Соединение получено в виде монокристаллов, которые кристаллизовались в моноклинной сингонии с пространственной группой $C 2/c$ (параметры элементарной ячейки: $a = 20,4878(3) \text{ \AA}$, $b = 9,24580(10) \text{ \AA}$, $c = 24,0258(4) \text{ \AA}$, $\alpha = \gamma = 90^\circ$, $\beta = 100,368(2)^\circ$, $V = 4\,476,80(11) \text{ \AA}^3$). Структура кристалла представляет собой бесконечную цепь, в которой координационный полиэдр атома иттербия имеет форму двухшапочной тригональной призмы.

Ключевые слова: комплексы лантаноидов, перхлорат иттербия, аминокислоты, рентгеноструктурное исследование, кристаллическая структура.

Введение

В последние десятилетия значительно увеличилось использование комплексов лантаноидов в различных отраслях науки и техники, а также медицине, что обусловлено наличием ряда уникальных свойств этих соединений [1–7]. Особенности электронного строения, различные координационные возможности и лантаноидное сжатие (заметное уменьшение размера атома от La к Lu) определяют широкий спектр применения металлоорганических соединений. Варьируя условия синтеза, с учетом указанных особенностей становится возможным получение молекул с заданной геометрией и требуемыми свойствами.

В настоящее время широкое применение в медицине находят комплексы лантаноидов с органическими лигандами, которые могут быть использованы в качестве оптических датчиков/зондов или контрастных агентов при проведении исследования с помощью рентгеновской или магнитно-резонансной томографии (МРТ) [8–9]. Некоторые комплексы проявляют парамагнитные свойства и могут применяться в качестве специфических биомаркеров в МРТ [10–11]. Соединения лантаноидов могут быть использованы в качестве сенситизаторов в фотодинамической терапии, индуцированной рентгеновскими лучами для лечения рака [12–16], а также в радионуклидной терапии как радиофармпрепараты, благодаря которым удастся *in vivo* визуализировать, а затем системно и селективно оказывать воздействие на патологические обменные процессы [17–18]. Кроме этого, комплексы лантаноидов способны индуцировать перфорацию клеточных мембран [19–21], гидролизовать дезоксирибонуклеиновую кислоту и рибонуклеиновую кислоту [22], проявлять антиоксидантную активность против свободных гидроксильных и кислородных радикалов [23]. В дополнение к названным выше областям применения, также предлагается их использование для анализа вирусов и других биологически активных веществ [24–28].

В связи с этим разработка эффективных способов получения комплексов с лантаноидами является актуальной задачей, которая, однако, сопряжена с рядом проблем, т.к. существенное влияние на кристаллическую структуру и свойства соединений будут иметь тип и соотношение используемых реагентов, температура, уровень pH и другие условия синтеза.

В данной работе нами был получен новый координационный комплекс перхлората иттербия с глицином $[Yb(Gly)_3(H_2O)_2](ClO_4)_3 \cdot H_2O$ в виде монокристалла, проведено его рентгеноструктурное исследование, установлены принципы координации глицина с атомами иттербия, а также продемонстрирована периодичность изменения свойств в зависимости от электронного строения атома лантаноида.

Экспериментальная часть

Водный раствор $Yb(ClO_4)_3$ получали растворением (0,20 г) Yb_2O_3 в концентрированной хлорной кислоте (0,3 мл, 70%) и 50 мл дистиллированной воды. Для этого оксид иттербия (III) и хлорную кислоту нагревали на водяной бане при температуре 80°C до полного растворения оксида. Затем к раствору добавляли навеску глицина (0,1063 г), контролируя уровень pH $\sim 2,5$, добавлением NaOH (0,5 М) для исключения образования осадков виде гидроксидов. На заключительном этапе реакционную смесь упаривали, отфильтровывали и сушили при комнатной температуре. Бесцветные игольчатые кристаллы кристаллизовались примерно через 1 месяц.

Для идентификации фазового состава полученного образца использовался рентгеновский дифрактометр Shimadzu XRD-6000 (излучение CuK_α , геометрия θ – 2θ) в диапазоне 2θ от 5 до 50° с шагом сканирования $0,02^\circ$.

Рентгеноструктурное исследование полученных монокристаллов проводили на автоматическом рентгеновском монокристалльном дифрактометре Oxford Diffraction Gemini S (MoK α , $\lambda = 0,71073\text{\AA}$, ω -сканирование) при температуре 293 К. Сбор и обработку данных проводили с помощью программы CrysAlis Pro [29]. В интенсивности рефлексов, полученных в ходе экспериментов, добавлены поправки на поглощение с использованием программы SADABS [30]. Структуры расшифрованы прямым методом SHELXS97 и уточнены полноматричным методом наименьших квадратов SHELXL97 [31] по $|F|^2$ по всем данным в анизотропном приближении для всех неводородных атомов.

ИК-спектр полученного соединения регистрировали на спектрофотометре Shimadzu FTIR-8400 в среде KBr, сигналы которого не маскируют полосы анализируемого соединения в диапазоне волновых чисел 4 000–400 см^{-1} .

Результаты и обсуждение

Для установления фазового состава полученного соединения был использован метод рентгенофазового анализа. Порошковая рентгенограмма комплекса $[\text{Yb}(\text{Gly})_3(\text{H}_2\text{O})_2](\text{ClO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ записанная при температуре 298 К представлена на рис. 1.

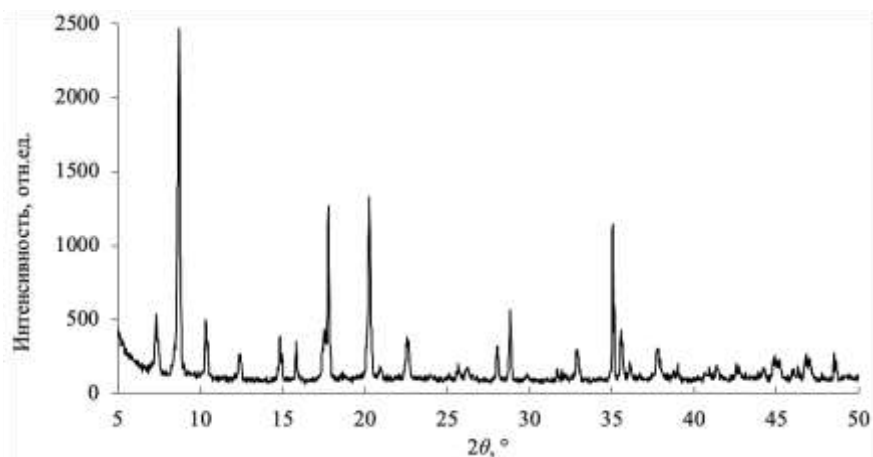


Рис. 1. Рентгенограмма комплекса $[\text{Yb}(\text{Gly})_3(\text{H}_2\text{O})_2](\text{ClO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

В ИК-спектре исследуемого комплекса иттербия с глицином (рис. 2) была обнаружена широкая полоса поглощения, относящаяся к валентным колебаниям воды и связи N–H в области 3 600–3 100 см^{-1} . Полосы при 1 638 и 1 618 см^{-1} можно отнести к деформационным колебаниям двух различных типов молекул воды. Широкая полоса поглощения в области 1 500–1 450 см^{-1} соответствует деформационным колебаниям связи Н–N–Н в аминокислоте. Колебания, связанные с депротонированным карбоксилем глицина (COO^-), можно отнести к полосам поглощения при 1 412 и 1 470 см^{-1} . Валентные колебания связей C–C и C–N находятся в области 1 090–1 150 см^{-1} .

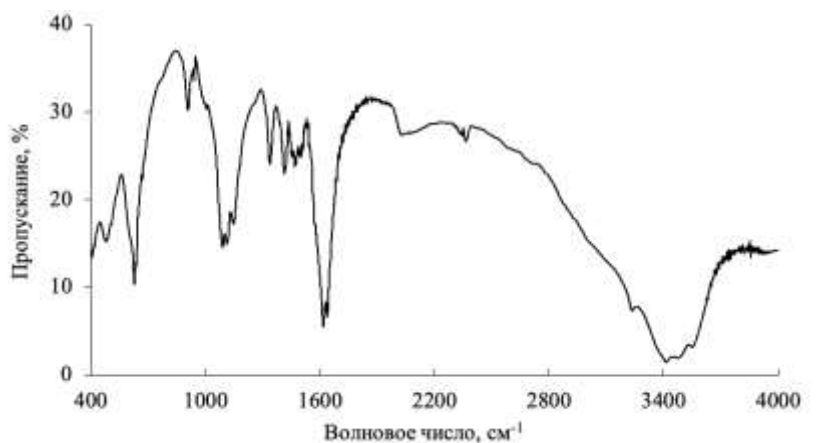


Рис. 2. ИК-спектр комплекса иттербия с глицином $[\text{Yb}(\text{Gly})_3(\text{H}_2\text{O})_2](\text{ClO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

Соединение $[\text{Yb}(\text{Gly})_3(\text{H}_2\text{O})_2](\text{ClO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ было получено в виде моноклинных монокристаллов с пространственной группой симметрии $C2/c$. Первичную структуру кристалла определяли структурно-инвариантными прямыми методами с использованием SHELX и WinGX [32–33]. Положение других атомов определялось раз-

ностным синтезом электронной плотности и уточнялось по $|F|^2$ методом наименьших квадратов. Кристаллографические данные депонированы в Кембриджском центре кристаллографических данных под кодом депонирования CCDC: 2304400.

Рентгеноструктурный анализ комплекса $[\text{Yb}(\text{Gly})_3(\text{H}_2\text{O})_2](\text{ClO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ показал, что структура кристалла представляет собой бесконечную цепь, в которой каждый атом иттербия связан с соседними атомами лантаноидов с помощью шести мостиков, при этом координационный полиэдр формируется в виде двухшапочной тригональной призмы ($\text{КЧ} = 8$). Мостики состоят из двух атомов кислорода и одного атома углерода в порядке $(-\text{O}-\text{C}-\text{O}-)$, образованных из карбоксильной группы глицина (рис. 3).

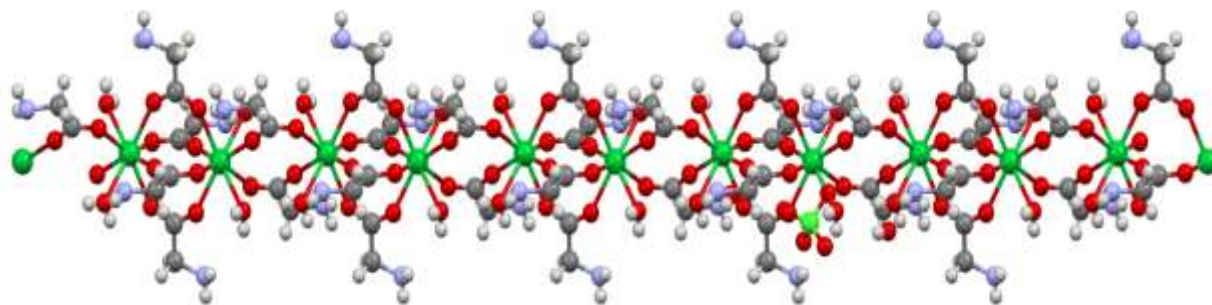


Рис. 3. Кристаллическая структура комплекса $[\text{Yb}(\text{Gly})_3(\text{H}_2\text{O})_2](\text{ClO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

В структуре содержатся две координационные молекулы воды и одна кристаллизационная молекула, расположенная между бесконечными цепями. В табл. 1 приведены кристаллографические данные, детали сбора данных и параметры уточнения структуры комплекса.

Таблица 1

Кристаллографические данные, детали сбора данных и параметры уточнения структуры $[\text{Yb}(\text{Gly})_3(\text{H}_2\text{O})_2](\text{ClO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ при температуре 293 К

Параметр	Значение
Формула	$\text{C}_6\text{H}_{18}\text{Cl}_3\text{N}_3\text{O}_{21}\text{Yb}$
Молярная масса	747,62
Сингония, Z	Моноклинная, 8
Кристаллографическая группа	C2/c
a, Å	20,4878(3)
b, Å	9,24580(10)
c, Å	24,0258(4)
α , °	90
β , °	100,368(2)
γ , °	90
V , Å ³	4476,80(11)
D_x , г·см ⁻³	2,218
μ , mm ⁻¹	4,638
Поглощение T T _{min} /T _{max}	0,793 / 0,958
Коррекция поглощения	Аналитический расчет поглощения в многогранных кристаллах
F(000)	2912
Размер, мм	0,319 × 0,053 × 0,049
Дифрактометр / Излучение / Монохроматор / Сканирование	Oxford Diffraction Gemini S / MoK α , $\lambda = 0,71073$ Å / graphite / ω scans
R-факторы для $F^2 > 2 \sigma(F^2)$	$R_1 = 0,0292$; $wR_2 = 0,0574$
R-факторы для всех рефлексов	$R_1 = 0,0335$; $wR_2 = 0,0587$
$\Delta\rho(\text{min/max})$, e·Å ⁻³	-1,069 / 1,442

Межатомные расстояния в исследуемом комплексе перхлората иттербия с глицином $[\text{Yb}(\text{Gly})_3(\text{H}_2\text{O})_2](\text{ClO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ представлены в табл. 2.

Следует отметить, что в представленном соединении наблюдается искажение длины связи Yb-O, которое является основной причиной изменения средней длины связи для иона иттербия. Предполагается, что это связано с неспособностью кристаллических структур достичь своей идеальной (априорной) длины связи в рамках ограничений пространственно-групповой симметрии.

Таблица 2

Межатомные расстояния структуры $[\text{Yb}(\text{Gly})_3(\text{H}_2\text{O})_2](\text{ClO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$

Атомы	Расстояние, Å	Атомы	Расстояние, Å	Атомы	Расстояние, Å
Yb1 – O6	2,2390(18)	Cl1 – O10	1,437(3)	C3 – O4	1,245(3)
Yb1 – O4 ⁽ⁱ⁾	2,2488(18)	Cl3 – O19	1,415(3)	C3 – O3	1,255(3)
Yb1 – O3	2,2826(19)	Cl3 – O21	1,423(3)	C5 – O5	1,249(3)
Yb1 – O2	2,3098(18)	Cl3 – O18	1,431(3)	C5 – O6	1,251(3)
Yb1 – O1 ⁽ⁱⁱ⁾	2,3290(18)	Cl3 – O20	1,451(3)	O7 – H10	0,73(4)
Yb1 – O5 ⁽ⁱⁱ⁾	2,3312(18)	C2 – H8	0,95(4)	O7 – H9	0,76(4)
Yb1 – O7	2,452(2)	C2 – H15	0,96(4)	O8 – H4	0,73(4)
Yb1 – O8	2,457(2)	C2 – N1	1,489(4)	O8 – H3	0,80(4)
Yb1 – C5 ⁽ⁱⁱ⁾	3,109(2)	C2 – C1	1,519(3)	O22A – H22A	0,850(2)
Yb1 – Yb1 ⁽ⁱⁱ⁾	4,2711(2)	C4 – H5	0,91(4)	O22A – H22B	0,850(2)
Cl2 – O16A	1,236(15)	C4 – H6	0,95(4)	O22B – H22C	0,850(2)
Cl2 – O15B	1,352(6)	C4 – N2	1,489(4)	O22B – H22D	0,850(2)
Cl2 – O13	1,411(3)	C4 – C3	1,512(4)	N1 – H12	0,77(4)
Cl2 – O14	1,429(3)	C6 – H2	0,93(4)	N1 – H7	0,80(4)
Cl2 – O16B	1,504(7)	C6 – H1	1,00(4)	N2 – H13	0,912(19)
Cl2 – O15A	1,59(2)	C6 – N3	1,480(4)	N2 – H16	0,918(19)
Cl1 – O11	1,421(3)	C6 – C5	1,509(3)	N3 – H11	0,68(4)
Cl1 – O9	1,427(3)	C1 – O2	1,253(3)	N3 – H14	0,916(19)
Cl1 – O12	1,436(3)	C1 – O1	1,258(3)		

Ранее нашей научной группой был синтезирован ряд комплексных соединений редкоземельных элементов с глицином, изучена их кристаллическая структура и физико-химические свойства [34–38]. По результатам исследований было установлено, что соединения с самарием, гадолинием и европием имеют в своем строении тридентатные мостиковые соединения, которые находятся в транс-положении относительно друг друга, за исключением структуры с диспрозием, в которой они расположены в цис-положении друг относительно друга.

Наиболее приближенным по структуре к исследуемому комплексу перхлората иттербия является комплекс перхлората гольмия с глицином состава $[\text{Ho}(\text{Gly})_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}](\text{ClO}_4)_3$ (рис. 4), несмотря на то что он кристаллизуется в триклинной сингонии с пространственной группой $P\bar{1}$. Вероятно, вхождение дополнительной кристаллизационной молекулы воды в структуру координационного соединения иттербия приводит к более равномерному распределению зарядов между бесконечными цепями и повышению симметрии элементарной ячейки до $C2/c$.

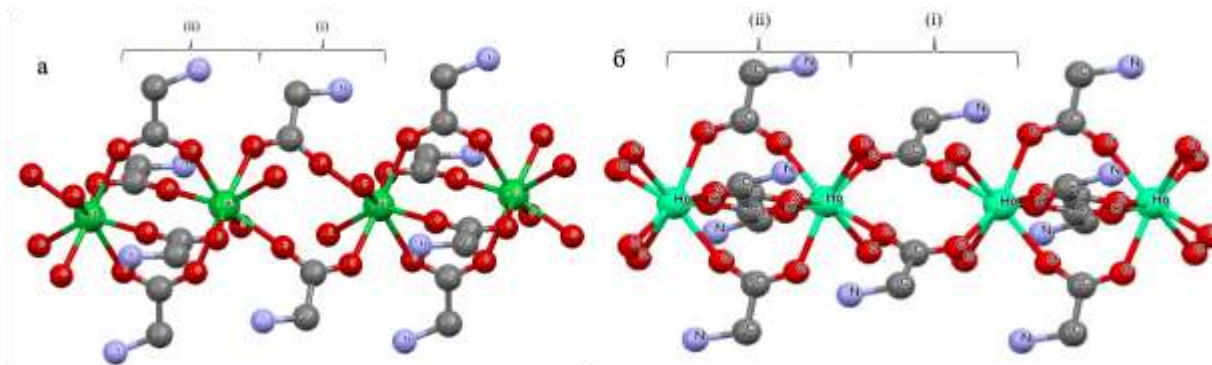


Рис. 4. Структура комплексов: (а) $[\text{Yb}(\text{Gly})_3(\text{H}_2\text{O})_2](\text{ClO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, (б) $[\text{Ho}(\text{Gly})_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}](\text{ClO}_4)_3$, где (i) – двойной бидентатный мост ($\mu^2\text{-}\eta^1\eta^1$)₂, (ii) – четверной бидентатный мост ($\mu^2\text{-}\eta^1\eta^1$)₄.

При анализе полученных структурных данных была обнаружена периодичность в изменении объема элементарной ячейки и гидратного числа n в зависимости от электронного строения лантаноида в изучаемых комплексах. На рис. 5 представлена зависимость объема элементарной ячейки от вида лантаноида в координационных комплексах с глицином [39]. Следует отметить, что она симбатна зависимости гидратного числа n от вида лантаноида в комплексах данного типа.

Минимальное гидратное число ($n = 2$) наблюдается в соединениях лантана и гольмия, оно соответствует двум молекулам воды, которые входят в координационный полиэдр лантаноида. При этом самыми гидратированными являются комплексы неодима, самария, европия и гадолиния, у которых аминогруппы находятся в транс-положении, создавая дополнительное пространство для вхождения в структуру слабосвязанной воды.

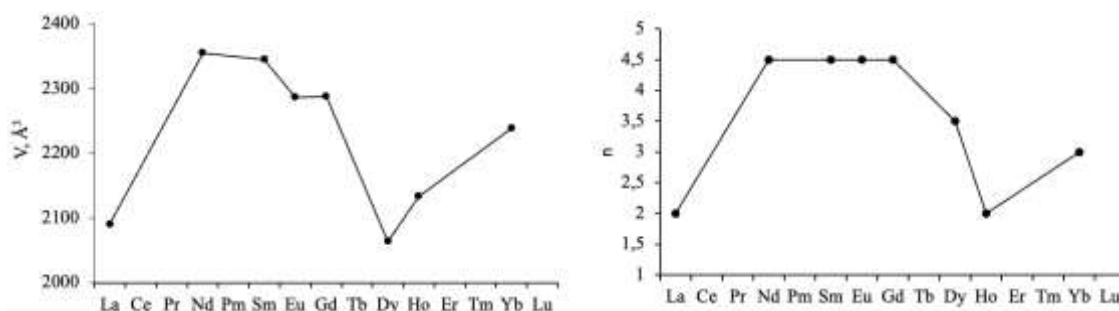


Рис. 5. Зависимость объема элементарной ячейки (слева) и гидратного числа n (справа) комплекса от вида лантаноида.

Таким образом, в основе влияния трехвалентных ионов лантаноидов на свойства комплексов с аминокислотами лежит последовательность в изменении размеров ионных радиусов, которые с увеличением порядкового номера редкоземельных элементов изменяются с небольшим отрицательным градиентом. Данный факт обусловлен порядком заполнения электронами 4f-подуровня: у первых семи элементов от La до Gd спины электронов параллельны, а у последующих элементов от Tb до Lu происходит заполнение уровня электронами с антипараллельными спинами по отношению к первым. В результате элементы, следующие за гадолинием, повторяют по свойствам предшествующие элементы.

Заключение

В данной работе была разработана методика и определены оптимальные условия синтеза нового комплексного соединения перхлората иттербия с глицином с общей формулой $[\text{Yb}(\text{Gly})_3(\text{H}_2\text{O})_2](\text{ClO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Методом рентгеноструктурного анализа расшифрована структура соединения и установлены принципы и способы координации глицина на атомы иттербия. Показана периодичность в изменении свойств комплексов лантаноидов в зависимости от их электронного строения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (базовая часть госзадания, проект №FSWR-2023-0025).

ЛИТЕРАТУРА

- Birnbaum E. R., Darnall D. W. A study of carboxylic and amino acid complexes of neodymium (III) by difference absorption spectroscopy // *Bioinorganic Chemistry*. 1973. Vol. 3. No. 1. P. 15–26.
- Darnall D. W., Birnbaum E. R. Rare Earth Metal Ions as Probes of Calcium Ion Binding Sites in Proteins // *Journal of Biological Chemistry*. 1970. Vol. 245. No. 23. P. 6484–6486.
- Legendziewicz J., Huskowska E., Argay G., Waskowska A. Spectroscopy and crystal structure of holmium and dysprosium complex compounds with glycine: $\text{Ln}(\text{Gly})_3(\text{H}_2\text{O})_3(\text{ClO}_4)_3$ // *Journal of the Less Common Metals*. 1989. Vol. 146. P. 33–47.
- Głowiak T., Legendziewicz J., Dao C. N., Huskowska E. Absorption, luminescence and crystal structure studies of dysprosium compound with L-α-Alanine: $[\text{Dy}(\text{L-}\alpha\text{-AlaH})(\text{H}_2\text{O})_6]\text{Cl}_3$ // *Journal of the Less Common Metals*. 1991. Vol. 168. No. 2. P. 237–248.
- Legendziewicz J., Głowiak T., Huskowska E., Cong-Ngoan D. Crystal structures and spectroscopy studies of lanthanide complexes with L-proline $[\text{Ln}(\text{L-proH})(\text{H}_2\text{O})_3]\text{Cl}_3$ (Ln = Ho, Dy) // *Polyhedron*. 1989. Vol. 8. No. 17. P. 2139–2146.
- Csoregh I., Czugler M., Kierkegaard P., Legendziewicz J., Huskowska E. Crystal Structure, Absorption, and Fluorescence Spectra of Lanthanoid Glutamate Perchlorate Nonahydrates, $\text{Ln}_2(\text{C}_5\text{H}_8\text{NO}_4)_2(\text{ClO}_4)_4 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ // *Acta Chemica Scandinavica*. 1989. Vol. 43. P. 735–747.
- Teo R. D., Termini J. S., Gray H. B. Lanthanides: Applications in Cancer Diagnosis and Therapy // *Journal of Medicinal Chemistry*. 2016. Vol. 59. No. 13. P. 6012–6024.
- Harnden A., Parker D., Rogers N. J. Employing paramagnetic shift for responsive MRI probes // *Coordination Chemistry Reviews*. 2019. Vol. 383. P. 30–42.
- Kaczmarek M. T., Zabiszak M., Nowak M., Jastrzab R. Lanthanides: Schiff base complexes, applications in cancer diagnosis, therapy, and antibacterial activity // *Coordination Chemistry Reviews*. 2018. Vol. 370. P. 42–54.
- Lacerda S., Tóth É., Lanthanide complexes in molecular magnetic resonance imaging and theranostics // *ChemMedChem*. 2017. Vol. 12. P. 883–894.
- Rees J. A., Deblonde G. J.-P., An D. D., Ansoborlo C., Gauny S. S., Abergel R. J. Evaluating the potential of chelation therapy to prevent and treat gadolinium deposition from MRI contrast agents // *Scientific Reports*. 2018. Vol. 8. Art. 4419.
- Chitgupi U., Qin Y., Lovell J. F. Targeted Nanomaterials for Phototherapy // *Nanotheranostics*. 2017. Vol. 1. No. 1. P. 38–58.
- Staszak K., Wieszczycka K., Marturano V., Tylkowski B. Lanthanides complexes – Chiral sensing of biomolecules // *Coordination Chemistry Reviews*. 2019. Vol. 397. P. 76–90.
- Brennan J. D., Capretta A., Yong K., Gerritsma D., Flora K. K., Jones A. Sensitization of Lanthanides by Nonnatural Amino Acids // *Photochemistry and Photobiology*. 2002. Vol. 75. No. 2. P. 117–121.
- Wang G. D., Nguyen H. T., Chen H., Cox P. B., Wang L., Nagata K., Hao Z., Wang A., Z. Li, Xie J. X-ray induced photodynamic therapy: a combination of radiotherapy and photodynamic therapy // *Theranostics*. 2016. Vol. 6. P. 2295–2305.
- Kašćáková S., Giuliani A., Lacerda S., Pallier A., Mercère P., Tóth É., Réfrégiers M. X-ray-induced radiophotodynamic therapy (RPDT) using lanthanide micelles: beyond depth limitations // *Nano Res*. 2015. Vol. 8. P. 2373–2379.
- Mishiro K., Hanaoka H., Yamaguchi A., Ogawa K. Radiotheranostics with radiolanthanides: Design, development strategies, and medical applications // *Coordination Chemistry Reviews*. 2019. Vol. 383. P. 104–131.
- Rösch F. Radiolanthanides in endoradiotherapy: an overview // *Radiochimica Acta*. 2007. Vol. 95. No. 6. P. 303–311.
- Wang K., Li R., Cheng Y., Zhu B. Lanthanides—the future drugs? // *Coordination Chemistry Reviews*. 1999. Vol. 190–192. P. 297–308.

20. Heller A., Barkleit A., Bok F., Wober J. Effect of four lanthanides onto the viability of two mammalian kidney cell lines // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2019. Vol. 173. P. 469–481.
21. Lu J. W., Miao Y., Guo C. X., Ke Q. F., Yin J. H., Zhou S. M., Guo Y. P. Lanthanum-Doped Chitosan Hydrogels Promote the Apoptosis of Melanoma Cells by Bcl-2/Bax Pathway // *ACS Applied Bio Materials*. 2018. Vol. 1. No. 5. P. 1468–1477.
22. Torres J., Brusoni M., Peluffo F., Kremer C., Dominguez S., Mederos A., Kremer E. Phosphodiesterolytic activity of lanthanide (III) complexes with α -amino acids // *Inorganica Chimica Acta*. 2005. Vol. 358. No. 12. P. 3320–3328.
23. Wu H., Pan G., Bai Y., Zhang Y., Wang H., Shi F., Wang X., Kong J. Study on synthesis, crystal structure, antioxidant and DNA-binding of mono-, di- and poly-nuclear lanthanides complexes with bis(N-salicylidene)-3-oxapentane-1,5-diamine // *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 2014. Vol. 135. P. 33–43.
24. Luo Z., Zhang L., Zeng R., Su L., Tang D. Near-infrared light-excited core–core–shell UCNP@Au@CdS upconversion nanospheres for ultrasensitive photoelectrochemical enzyme immunoassay // *Analytical Chemistry*. 2018. Vol. 90. P. 9568–9575.
25. Luo Z., Qi Q., Zhang L., Zeng R., Su L., Tang D. Branched polyethylenimine-modified upconversion nanohybrid-mediated photoelectrochemical immunoassay with synergistic effect of dual-purpose copper ions // *Analytical Chemistry*. 2019. Vol. 91. P. 4149–4156.
26. Qiu Z., Shu J., Liu J., Tang D. Dual-channel photoelectrochemical ratiometric aptasensor with up-converting nanocrystals using spatial-resolved technique on homemade 3D printed device // *Analytical Chemistry*. 2019. Vol. 91. P. 1260–1268.
27. Qiu Z., Shu J., Tang D. Near-infrared-to-ultraviolet light-mediated photoelectrochemical aptasensing platform for cancer biomarker based on core–shell NaYF₄:Yb, Tm@TiO₂ upconversion microrods // *Analytical Chemistry*. 2018. Vol. 90. P. 1021–1028.
28. Qiu Z., Shu J., Tang D. NaYF₄:Yb, Er upconversion nanotransducer with in situ fabrication of Ag₂S for near-infrared light responsive photoelectrochemical biosensor // *Analytical Chemistry*. 2018. Vol. 90. P. 12214–12220.
29. Rigaku and Yarnton. “CrysAlis PRO”. Oxfordshire, England, 2015.
30. Madison and Wisconsin. SADABS. USA: Bruker AXS Inc., 2004.
31. Sheldrick G. M. A short history of SHELX // *Acta Crystallographica Section A*. 2008. Vol. 64. No. 1. P. 112–122.
32. Sheldrick G. M. SHELXT – Integrated space-group and crystal-structure determination // *Acta Crystallographica Section A*. 2015. Vol. 71. No. 1. P. 3–8.
33. Farrugia L. J. Suite for Small-Molecule Single-Crystal Crystallography // *Journal of Applied Crystallography*. 1999. Vol. 32. P. 837–838.
34. Knyazev A. V., Letyanina I. A., Plesovskikh A. S., Smirnova N. N., Knyazeva S. S. Thermodynamic properties of vitamin B₂ // *Thermochim. Acta*. 2014. Vol. 575. P. 12–16.
35. Knyazev A. V., Emel'yanenko V. N., Shipilova A. S., Lelet M. I., Gusarova E. V., Knyazeva S. S., Verevkin S. P. Thermodynamic properties of vitamin B₉ // *The Journal of Chemical Thermodynamics*. 2016. Vol. 100. P. 185–190.
36. Knyazev A. V., Emel'yanenko V. N., Smirnova N. N., Stepanova O. V., Shipilova A. S., Markin A. V., Samosudova Ya. S., Gusarova E. V., Knyazeva S. S., Verevkin S. P. Thermodynamic properties of methylprednisolone aceponate // *The Journal of Chemical Thermodynamics*. 2016. Vol. 103. P. 244–248.
37. Knyazev A. V., Smirnova N. N., Plesovskikh A. S., Shushunov A. N., Knyazeva S. S. Low-temperature heat capacity and thermodynamic functions of vitamin B₁₂ // *Thermochimica Acta*. 2014. Vol. 582. P. 35–39.
38. Knyazev A. V., Smirnova N. N., Shipilova A. S., Shushunov A. N., Gusarova E. V., Knyazeva S. S. // Thermodynamic properties and low-temperature X-ray diffraction of vitamin B₃ // *Thermochimica Acta*. 2015. Vol. 604. P. 115–121.
39. Алахмад А. Исследование структуры и физико-химических свойств координационных соединений лантаноидов с глицином. Кандидатская диссертация. 2022. С. 159.

Поступила в редакцию 07.04.2025 г.

DOI: 10.33184/bulletin-bsu-2025.4.8

SYNTHESIS AND STRUCTURAL INVESTIGATION OF THE YTTERBIUM COMPLEX WITH GLYCINE

© A. V. Knyazev, A. M. Al-Karawi, N. V. Somov,
H. M. Diaaldain, S. V. Knyazeva, V. Zh. Korokin*

*Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod
23/5, Gagarin Prospekt, 603022 Nizhny Novgorod, Russia.*

*Email: vit-korokin@yandex.ru

A method for obtaining a new complex of ytterbium with glycine of the composition $[\text{Yb}(\text{Gly})_3(\text{H}_2\text{O})_2](\text{ClO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ is described. The compound was obtained in the form of single crystals, which crystallized in a monoclinic system with space group C 2/c (unit cell parameters: $a = 20.4878(3) \text{ \AA}$, $b = 9.24580(10) \text{ \AA}$, $c = 24.0258(4) \text{ \AA}$, $\alpha = \gamma = 90^\circ$, $\beta = 100.368(2)^\circ$, $V = 4\,476.80(11) \text{ \AA}^3$). The crystal structure is an infinite chain in which the coordination polyhedron of the ytterbium atom has the shape of a double-capped trigonal prism.

Keywords: lanthanide complexes, ytterbium perchlorate, amino acids, X-ray structural study, crystal structure.

Received 07.04.2025.

Об авторах / About the authors**Князев Александр Владимирович**

д.х.н., профессор, заведующий кафедрой аналитической и медицинской химии химического факультета, Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского
knyazevav@gmail.com
Web of Science Researcher ID E-7898-2013

Аль-Карави Али Мувафак Азиз

аспирант кафедры аналитической и медицинской химии химического факультета, Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского
alialqisi709@gmail.com

Сомов Николай Викторович

д.ф.-м.н., доцент, профессор кафедры кристаллографии и экспериментальной физики физического факультета, Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского
somov@phys.unn.ru
Web of Science Researcher ID O-1012-2013

Диаалдаин Хайдер Мухаммед

аспирант кафедры аналитической и медицинской химии химического факультета, Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского
h.dialdin@gmail.com

Князева Светлана Сергеевна

к.х.н., лаборант-исследователь кафедры физической химии химического факультета, Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского
knyazevas90@yandex.ru

Корокин Виталий Жанович

к.х.н., доцент кафедры аналитической и медицинской химии химического факультета, Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского
vit-korokin@yandex.ru

Knyazev Alexander Vladimirovich

Doctor of Chemical Sciences, Professor,
Head of the Department of Analytical and Medical Chemistry,
Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod
knyazevav@gmail.com
ORCID ID 0000-0002-2880-3484
Web of Science Researcher ID E-7898-2013
Scopus Author ID 58856324600

Al-Karawi Ali Muwafaq Azeez

PhD-student of the Faculty of Chemistry,
Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod
alialqisi709@gmail.com

Somov Nikolay Viktorovich

Doctor of Physical and Mathematical Sciences,
Docent, Professor of the Department of Crystallography and Experimental Physics,
Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod
somov@phys.unn.ru
ORCID ID 0000-0001-9460-307X
Web of Science Researcher ID O-1012-2013
Scopus Author ID 24765782100

Diaaldain Haider Muhammad

PhD-student of the Faculty of Chemistry,
Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod
h.dialdin@gmail.com

Knyazeva Svetlana Sergeevna

PhD, research laboratory assistant,
Department of Physical Chemistry,
Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod
knyazevas90@yandex.ru
Scopus Author ID 55626033000

Korokin Vitaly Zhanovich

PhD, Associate Professor of the Department of Analytical and Medicinal Chemistry,
Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod
vit-korokin@yandex.ru
ORCID ID 0000-0002-0267-5939
Scopus Author ID 56033088900