

УДК.:541.49:577.1

¹Кыдырмаева Назира Шыйтыевна,

*доктор химических наук,
заведующий лаборатории неорганической химии*

¹Кыдырмаева Назира Шыйтыевна,

*химия илимдеринин доктору,
органикалык эмес химия лабораториясынын башчысы*

¹Kydyrmaeva Nazira Shyitiyevna,

Doctor of Chemical Sciences, Head of the Laboratory of Inorganic Chemistry

¹Аламанова Элмира Азисбековна,

*кандидат химических наук, старший научный
сотрудник лаборатории неорганической химии*

¹Аламанова Элмира Азисбековна,

*химия илимдеринин кандидаты, органикалык эмес химия
лабораториясынын ага илимий кызматкери*

¹Alamanova Elmira Azisbekovna,

Candidate of Chemical Sciences, Senior Researcher Laboratories of Inorganic Chemistry

¹Бердалиева Жылдыз Имакеевна

*кандидат химических наук, старший научный
сотрудник лаборатории неорганической химии*

¹Бердалиева Жылдыз Имакеевна

*химия илимдеринин кандидаты, органикалык эмес химия
лабораториясынын ага илимий кызматкери*

¹Berdalievna Zhyldyz Imakeevna,

Candidate of Chemical Sciences, Senior Researcher Laboratories of Inorganic Chemistry

²Дуйшонбаева Астра Такыбаевна

кандидат химических наук

²Дуйшонбаева Астра Такыбаевна

химия илимдеринин кандидаты

²Duishonbaeva Astra Takybaevna

Candidate of Chemical Sciences

¹*Институт химии и фитотехнологии Национальная академия наук при Президенте КР*

КР Президентине караштуу УИА химия жана фитотехнологиялар институту

Institute of Chemistry and Phytotechnology of the National Academy of Sciences under

the President of the Kyrgyz Republic

²*Кыргызский национальный университет им. Ж. Баласагына*

Ж. Баласагын атындагы Кыргыз улуттук университети

Kyrgyz National University named after Jusup Balasagyn

СИНТЕЗ, СТРУКТУРА И СВОЙСТВА КОМПЛЕКСА CD(II) С ИМИДАЗОЛОМ

**ИМИДАЗОЛ МЕНЕН CD(II) НИТРАТЫНАН АЛЫНГАН КОМПЛЕКСТИН СИНТЕЗИ,
ТҮЗҮЛҮШҮ ЖАНА КАСИТЕТТЕРИ**

**METAL-CONTAINING COMPLEXES OF POLYAZOLE BASED LIGANDS AND THEIR
BIOLOGICAL ACTIVITY**

Аннотация. Цели. Целью настоящей работы является синтез и исследование физико-химических свойств координационного соединения кадмия (II) с имидазолом I.

Методы. Соединение I охарактеризовано различными физико-химическими методами: дифференциально - термогравиметрического (ДТГ), рентгеноструктурного анализа (РСА), а также инфракрасной спектроскопии (ИКС).

Результаты. Взаимодействием нитрата кадмия (II) с имидазолом синтезировано комплексное соединение гексаимидазол нитрат кадмия I в виде устойчивого на воздухе бесцветных кристаллов. Методом рентгеноструктурного анализа установлено, что комплекс I кристаллизуется в триклинной сингонии с пространственной группой R-3. Определено, что комплекс I состоит из дискретных цепочек, образованных комплексным катионом и анионом, упакованных в гексагональную элементарную ячейку. Упаковка структурных фрагментов комплексного катиона и аниона I стабилизирована благодаря наличию внутримолекулярных водородных связей между атомами кислорода нитрат-иона и пиррольным протоном имидазола $-N-H \cdots O$, с образованием супрамолекулярной, полимерной сети. На ИК-спектре соединения I в диапазоне $1450-1580\text{ см}^{-1}$ и 770 см^{-1} присутствуют ярко выраженные валентные и деформационные колебания гетерокольца. Широкая полоса валентных колебаний в области $3200-2600\text{ см}^{-1}$ обусловлена наличием внутримолекулярных водородных связей. Разложение I начинается при 145°C . Конечным продуктом термодеструкции, с частичной возгонкой является оксид кадмия.

Ключевые слова: имидазол, лиганд, нитрат кадмия, комплексное соединение, термический анализ, рентгенофазовый анализ, ИК-спектроскопия и рентгеноструктурный анализ.

Аннотация. Иштин максаты – кадмийдин нитраты (II) менен имидазолдон координациялык бирикмесин I синтездөө жана физикалык-химиялык касиеттерин мүнөздөө.

Методдор. I бирикмеси ар кандай физикалык-химиялык ыкмаларды колдонуу менен мүнөздөлгөн: дифференциалдык термогравиметриялык (ДТГ), рентген дифракциясы (РСА) жана инфракызыл спектроскопия (ИК).

Жыйынтыктар. Кадмий (II) нитратынын имидазол менен реакциясы абада туруктуу түссүз кристаллдар катары гексаимидазол кадмий нитраты I комплекс кошулмасын алынды. Рентген дифракциялык анализ I комплексинин триклин системасында R-3 мейкиндик тобу менен кристаллдашаарын көрсөттү. I комплекси гексогональдык элементардык ячейкасында комплекс катиону жана аниону менен түзүлгөн дискреттик чынжырлардан тураары аныкталган. I Комплекс катиону жана аниону структуралык фрагменттеринин упаковкасында нитрат ионунун кычкылтек атомдору менен имидазол $-N-H \cdots O$ пиррол протонунун ортосундагы молекула ичиндеги суутек байланыштары менен байланышып, супрамолекулярдык полимердик тармакты түзөт. I бирикмесинин ИК спектри $1450-1580\text{ см}^{-1}$ жана 770 см^{-1} диапазондорунда гетерошакекченин деформациялык жана валенттик термелүүлөрүн көрсөтөт. $3200-2600\text{ см}^{-1}$ областындагы валенттик термелүүнүн жыштыгы молекула ичиндеги суутек байланыштарынын болушуна байланыштуу. I комплексинин термо ажыроосу 145°C температурада башталат. Термоажыроонун акыркы продуктусу кадмий кычкылы болуп саналат.

Негизги сөздөр: имидазол, лиганд, кадмий нитраты, комплекстүү кошулмалар, термикалык анализ, рентгенфазалык анализ, ИК спектроскопия жана рентген структуралык анализи.

Abstract. Objective. The aim of this study is to synthesize and investigate the physicochemical and biological properties of complex compounds of 3d metals with imidazole (L_1) and 1,2,4-triazole (L_2).

Methods. The synthesized compounds were characterized by a set of physicochemical methods, including elemental analysis (CHN), thermogravimetric analysis (TGA), X-ray structural analysis (XRD), and infrared spectroscopy (IR).

Results. Complexes of various compositions were synthesized by solution reactions between chlorides, sulfates, and nitrates of 3d metals with ligands L_1 and L_2 . IR spectroscopy showed that L_1 coordinates through the nitrogen atom N(3) of the imidazole ring as a monodentate ligand. The coordination mode of L_2 depends on the composition: in complexes with a 1:4:2 ratio, it acts as a monodentate ligand, whereas in 1:2:2 complexes it behaves as a bidentate bridging ligand, forming polymeric chains. Thermal decomposi-

tion of all complexes proceeds in both endothermic and exothermic stages without melting, accompanied by the cleavage of azole rings. X-ray diffraction analysis revealed that the complex CuL^1Cl_2 (I) crystallizes in a monoclinic system (space group $P2_1/n$), where the Cu(II) atom forms a tetragonal pyramidal coordination polyhedron. The polymeric isostructural complexes $[\text{CoL}^1_6](\text{NO}_3)_2$ (II) and $[\text{CdL}^1_6](\text{NO}_3)_2$ (III) crystallize in a triclinic system ($R\bar{3}$), featuring slightly distorted octahedral coordination. In $[\text{ZnL}^1_2(\text{NO}_3)_2(\text{H}_2\text{O})_2]$ (IV), ligand L^1 acts as a chelating-bridging ligand, forming zigzag polymeric chains. Biological screening revealed three Cu(II) complexes — CuL^1Cl_2 (I), $\text{CuSO}_4 \cdot 6\text{L}^1 \cdot (\text{H}_2\text{O})_6$ (II), and $\text{CuL}^2_4\text{SO}_4 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})$ (III) — exhibiting high cestocidal activity (85–100%) against *Echinococcus granulosus* protoscoleces and low toxicity ($\text{LD}_{50} = 1040\text{--}2110 \text{ mg/kg}$).

Key words: imidazole, 1,2,4-triazole, 3d-metals, complexes, thermogravimetric and X-ray structural analysis, IR spectroscopy, bioactivity.

1. Введение.

В последнее время область исследований комплексных соединений расширилась от классических мономерных, молекулярных координационных соединений [1-3], к координационным полимерным соединениям [4-6], интерес к которым обусловлен уникальными возможностями их структурного дизайна, позволяющими создавать новые поколения функциональных материалов с магнитоактивными [7,8], люминесцентными [9,10], биологически активными свойствами [11,12].

Синтез координационных полимеров различного типа зависит от многих факторов, таких, как координационное предпочтение металлов, геометрические параметры гетероциклического лиганда, природа ацидолигандов. Среди лигандов, подходящих для синтеза полимерных соединений, особый интерес представляют полиазотсодержащий гетероциклический лиганд – имидазол и ацидолиганды, потенциально обладающие мостиковой функцией (NO , Cl , SO_4^{2-}).

Как известно, в составе молекулы имидазола имеются два вида атома азота: первый – пиридиновый (депротонированный) атом азота является хорошим лигандом для координации с ионами металлов [13]. А второй – пиррольный (протонированный) атом азота является донором водородной связи, который способствует образованию многомерной супрамолекулярной сборки [14]. Предполагается, что различные анионы (Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-}), и их различные геометрические конфигурации также будут оказывать влияние на протяженную супрамолекулярную сеть. Исходя из этой стратегии, в настоящей работе был выбран анион NO_3^- , который имеет плоскую геометрию и вследствие этого образует супрамолекулярную сборку с катионами кадмия, обеспечивая возможность переноса электронов внутри молекул и могут обладать потенциа-

ными магнитными свойствами.

2. Материалы и методы

Задачи исследования:

- разработка метода синтеза и выделения в индивидуальном виде комплексного соединения нитрата кадмия (II) с имидазолом I.
- определение области существования, состава, устойчивости и способа координации металла с имидазолом.
- определение геометрии координационного полиэдра и всей молекулы по данным спектрального метода исследования и рентгеноструктурного анализа I.

Исходными веществами для синтеза служили $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (ч.д.а. Вектон, Россия) и имидазол (х.ч., Кемикал Лайн, Россия)

Синтез $[\text{Cd}(\text{C}_3\text{H}_4\text{N}_2)_6](\text{NO}_3)_2$. Исследование взаимодействия нитрата кадмия(II) с имидазолом проводилось методом растворимости в трехкомпонентной водно-насыщенной среде $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 - \text{C}_3\text{H}_4\text{N}_2 - \text{H}_2\text{O}$ при 25°C [15]. В результате установлено образования бесцветного, устойчивого на воздухе комплексное соединение $[\text{Cd}(\text{C}_3\text{H}_4\text{N}_2)_6](\text{NO}_3)_2$ I.

Состав и свойства и строение (I) охарактеризовано методами термогравиметрического, рентгеноструктурного анализов и ИК-спектроскопией.

ИК спектр I зарегистрирован на спектрофотометре «Nicolette Avatar» в таблетках KBr в диапазоне частот $400\text{--}4000\text{cm}^{-1}$ разрешением $0,5\text{cm}^{-1}$.

Термогравиметрический анализ произведен на дериватографе системы Паулик-Паулик, Эрдей в атмосфере воздуха при нагревании от 20 до 1000°C со скоростью нагрева 10 град./мин . Эталонном служил Al_2O_3 .

Для проведения РСА кристаллы $[\text{Cd}(\text{C}_3\text{H}_4\text{N}_2)_6](\text{NO}_3)_2$ отбирали под слоем вазелинового масла в поляризованном микроскопе Meiji Techno EMZ-8TRD (Япония) и быстро

переносили их на дифрактомер, где было обеспечено их охлаждение потоком сухого газообразного азота. Сбор рентгенодифракционных данных для кристаллов проведен на автоматическом дифрактометре BRUKER SMART APEX II при температуре 150(9). К использованию (Mo K_{α} - излучение, λ -0,7013Å⁰, графитовый монохроматор). Структуры расшифрована прямым методом и уточнены полноматричным анизотропным методом наименьших квадратов по F² для всех неводородных атомов (SHELXT Plus) [16]. Кристаллографические данные и уточнения структуры [Cd(C₃H₄N₂)₆](NO₃)₂ приведены в табл.3 и фрагмент кристаллической структуры и расположение молекул в структуре I представлены на рис. 4.5.

3. Результаты и их обсуждение

При интерпретации ИК - спектра I установлено следующее: появляются широкие по-

лосы поглощения валентных колебаний связей N-H и C-H в диапазоне от 3200 до 2500см⁻¹ которые ассоциированы благодаря образованию водородных связей, исчезновение полос поглощения в области 1700-1800см⁻¹, характерных для валентных колебаний сопряженных связей $\nu_{(C=C)}$, $\nu_{(C=N)}$ указывает на снятие делокализации электронной плотности внутри имидазольного кольца при переходе от некоординированного лиганда к комплексному соединению, а высокочастотный сдвиг (на 20-30см⁻¹) и усиление интенсивности полос отвечающих валентным и деформационным колебаниям азольного кольца (1450-1580см⁻¹) дает основание утверждать, что координация атома металла с лигандом осуществляется через пиридиновый атом азота имидазола. Отнесение полос в ИК спектре поглощения комплекса I даны в табл.1, спектр приведен на рис.1.

Таблица 1. Отнесение пиков ИК- спектра соединения I [Cd(C₃H₄N₂)₆](NO₃)₂

Волновое число, см ⁻¹	Отнесение
3203-2606	ν - (NH),(OH)
1608	ν -цикл
1492	ν - цикл
615	ρ -(N-H)
455	δ - цикл, ν (Me-N)
1323-1378	ν - (NO ₃ ⁻)
711-748	δ - (NO ₃ ⁻)

Источник: Составлено авторами.

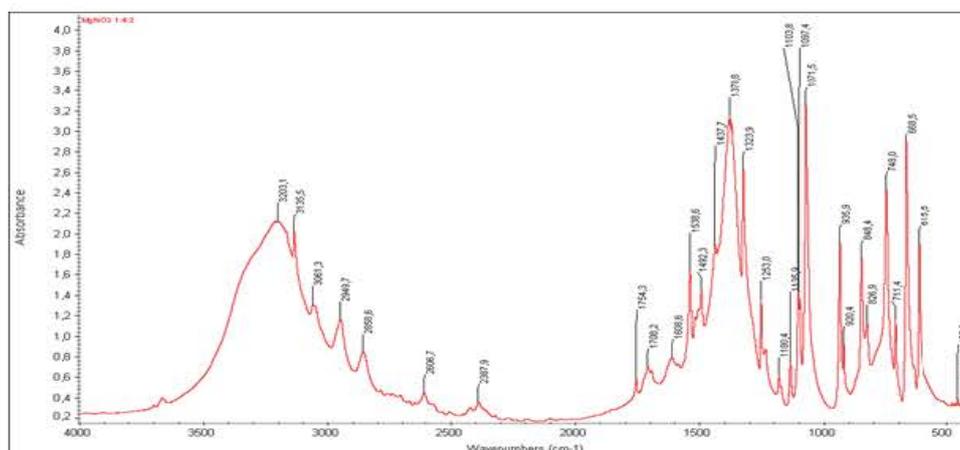


Рис.1. ИК спектр поглощения соединения I [Cd(C₃H₄N₂)₆](NO₃)₂

Источник: Составлено авторами.

Изучение термических свойств комплекса I показывает, что соединение постепенно теряет массу при нагревании, вследствие удаления слабосвязанных гостевых молекул воды, при этом потери веса составляет 3,3%. Дальнейшее повышение в пределах температур (145-290°C) вызывает взрывообразный глубокий эндозффект с резкой потерей массы - 57,3%, что свя-

зана с удалением координированных шести молекул имидазола (теоретически рассчитанные данные - 58,4% от общего веса). В интервале температур 290-525°C происходит выгорание продуктов термоллиза. Конечным продуктам термодеструкции, с частичной возгонкой, является оксид кадмия. Экспериментальные и теоретические значения потери массы приведены в табл. 2 и представлен на рис.2.

Таблица 2. Экспериментальные и теоретические значения потери массы для соединения I $[\text{Cd}(\text{C}_3\text{H}_4\text{N}_2)_6](\text{NO}_3)_2$

Соединение	Температура °C	Δm эксперимент, %	Δm теория, %
$[\text{Cd}(\text{C}_3\text{H}_4\text{N}_2)_6](\text{NO}_3)_2$	50-60	3,3	-
	145-290	57,3	58,4
	290-525	12,9	13,20
	525	13,0	13,2

Источник: Составлено авторами.

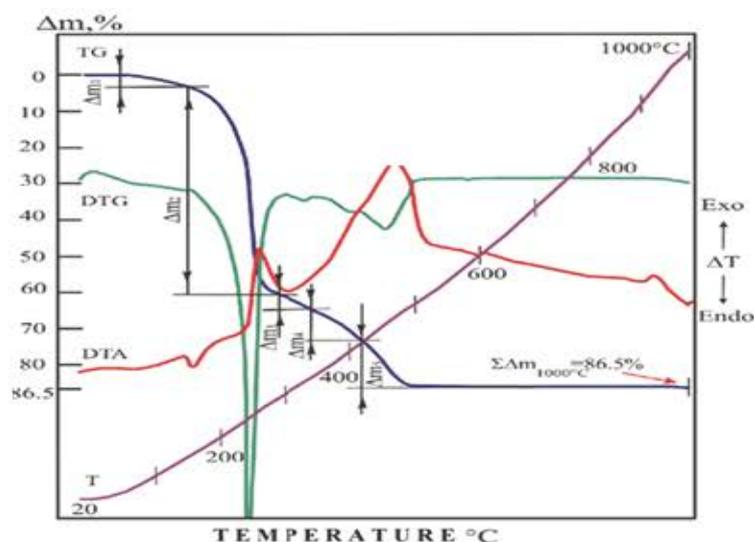


Рис.2. Дериватограмма соединений $[\text{Cd}(\text{C}_3\text{H}_4\text{N}_2)_6](\text{NO}_3)_2$

Источник: Составлено авторами.

На основании приведенных данных ИКС и дериватографии установлено, что имидазол в комплексе I проявляет монодентатность, координируясь через генероатом азота, образуя шестичленный металлоцикл, а нитрат-ион является внешнесферным.

Однако, окончательный вывод о пространственном строении комплекса I выполнен по результатам РСА.

Рентгеноструктурный анализ показал, что комплекс $[\text{Cd}(\text{C}_3\text{H}_4\text{N}_2)_6](\text{NO}_3)_2$ (I) кристаллизуется в триклинной сингонии с пр.гр. R-3 со следующими параметрами кристаллической решетки: $a=12,6098(2)$; $b=12,6098(2)$; $c=14,7352 \text{ \AA}$, $\alpha=90$, $\beta=90$, $\lambda=1200$, $V=2029,10 \text{ \AA}^3$, $\rho_{\text{вчч}}=1,583\text{г/см}^3$, $Z=3$. Установлено, что комплекс I состоит из дискретных цепочек, образованных комплексным катионом $[\text{Cd}(\text{C}_3\text{H}_4\text{N}_2)_6]^{2+}$

и анионом NO_3^- упакованных в гексагональную элементарную ячейку. Ион кадмия Cd^{2+} имеет центросимметричную конфигурацию искаженного октаэдра с координационным узлом – CdN_6 . Гетероцикл координирован монодентатно через пиридиновый атом азота (N3) к иону Cd^{2+} со средним расстоянием связи $\text{Cd-N}_2=1,88 \text{ \AA}$. Внутрициклические углы равны $\text{N}(2)-\text{Cd}(1)-\text{N}(2)=92,35(3)$ и $\text{N}(2)-\text{Cd}(1)-\text{N}(1)$

$=111,43(11)^\circ$. Длины связей $\text{C}(1)-\text{N}(2)$, $\text{C}(1)-\text{N}(1)$, $\text{C}(2)-\text{C}(3)$ равны $1,3198(15)$, $1,3367(16)$ и $1,3585 \text{ \AA}$, соответственно (рис. 4). В целом длины связей в молекулах имидазола, в которых в структуре I не претерпевают разупорядочения при комнатной температуре, согласуются с наблюдаемыми длинами связей в других изоструктурных комплексах $[\text{Ni}(\text{C}_3\text{H}_4\text{N}_2)_6](\text{NO}_3)_2$ [17] и $[\text{Co}(\text{C}_3\text{H}_4\text{N}_2)_6](\text{NO}_3)_2$ [18].

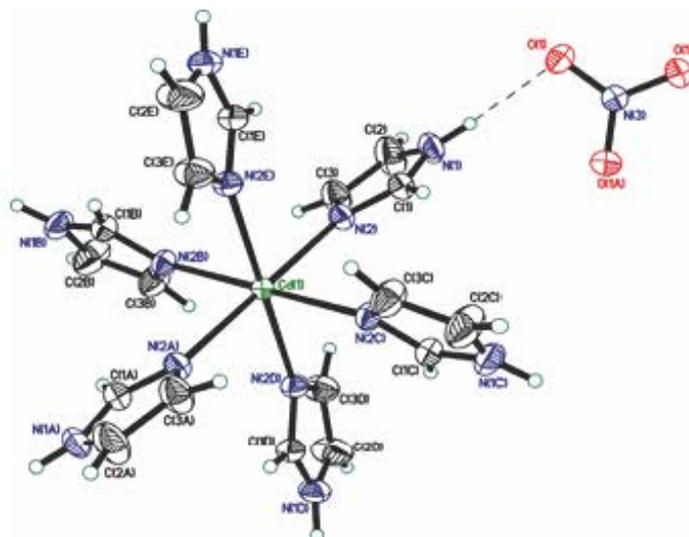


Рис. 4. Строение комплексного катиона $[\text{Cd}(\text{C}_3\text{H}_4\text{N}_2)_6]^{2+}$

Источник: Составлено авторами.

В соединении I плоскость каждого NO_3^- почти параллельна и каждый NO_3^- связывает три молекулы имидазола, которые координи-

руется с тремя различными атомами кадмия(II) через водородные связи $\text{N-H} \cdots \text{O}$ (рис.), $\text{O} \cdots \text{H}$ и $\text{O} \cdots \text{N}$, расстояния, которых равняются $2,08(2)$ и $2,9277(15) \text{ \AA}$, соответственно.

Таблица 1. Кристаллографические параметры и детали уточнения структуры комплекса

Параметры	Значение
Брутто формула	$\text{C}_{18}\text{H}_{24}\text{Cd}_1\text{N}_6\text{O}_6$
F_w (Формульный вес)	644,91
Т.К	150(2)
$\lambda, \text{ \AA}$	0,71073
Сингония	тригональная
Пр. гр.	$R-3$
$a, \text{ \AA}$	12,6098(2)
$b, \text{ \AA}$	12,6098(2)
$c, \text{ \AA}$	14,7352(5)
α , град	90
β , град	90
γ , град	120
Z	3

$\rho_{\text{(выл.)}}^*$, Г·см ³	1,583
μ , мм ⁻¹	0,868
Число отражений, измеренных/ независимых	7797/1178
R_{int}	0,0167
Область, θ , град	$4,15 < \theta < 28,98^\circ$
$R_1 [I > 2\sigma]$	0,0159
wR_2 по всем данным	0,0410
Добротность	1,130
Остаточная электронная плотность $\Delta\rho_{\text{min}}/\Delta\rho_{\text{max}}$, е·Å ⁻³	0,219/0,356

Источник: Составлено авторами.

Таблица 2. Основные длины связей (d , Å), валентные углы (ω , град) в комплексном катионе $[\text{Cd}(\text{C}_3\text{H}_4\text{N}_2)_6]^{2+}$

Связь	d , Å	связь	d , Å
Cd-N ₂	2.3501(9)	C ₂ -N ₁	1.365(2)
C ₁ -N ₂	1.3198(15)	C ₃ -N ₂	1.3767(16)
C ₁ -N ₁	1.3367(16)	N ₁ -H ₁	0.86(2)
C ₂ -C ₃	1.3585	N ₃ -O ₁	1.2484(9)
Угол	ω , град	Угол	ω , град
N(2)-Cd(1)-N(2)	92.35(3)	C(2)-C(3)-H(3)	127.6(11)
N(2)-Cd(1)-N(1)	111.43(11)	N(2)-C(3)-H(3)	127.2(11)
N(1)-C(1)-H(1)	123.2(11)	C(1)-N(1)-C(2)	107.46(11)
C(3)-C(2)-N(1)	106.29(12)	C(1)-N(1)-H(1)	123.8(14)
C ₃ -C(2)-H(2)	129.6(1)	C(2)-N(1)-H(1)	128.7(14)
N(1)-C(2)-H(2)	124.1(14)	C(1)-N(2)-C(3)	105.57(10)
C(2)-C(3)-N(2)	109.22(12)	C(1)-N(2)-Cd(1)	122.91(8)
		C(3)-N(2)-Cd(1)	131.47(8)
		O(1)-N(3)-O(1)	120.000(1)
$d(\text{N1-H1})$, Å	$d(\text{N1...O1})$, Å	$d(\text{H1...O1})$, Å	P
0.86(2)	2.9277(15)	2.08(2)	169.4(19)

Источник: Составлено авторами.

4. Заключение

Нами получен супрамолекулярный координационный полимер нитрата кадмия с имидазолом, состав которого может быть представлен формулой $[\text{Cd}(\text{C}_3\text{H}_4\text{N}_2)_6](\text{NO}_3)_2$. Соединение охарактеризовано методами ДТГ, ИКС и РСА. Показано, что комплекс окружен шестью монодентатно –координированными атомами азота (N3) имидазола, так, что вес полиэдр представляет собой октаэдр. Установлено, что комплекс I состоит из дискретных цепочек, образованных комплексным катионом $[\text{Cd}(\text{C}_3\text{H}_4\text{N}_2)_6]^{2+}$ и анио-

ном NO_3^- ; упакованных в гексагональную элементарную ячейку. Ион кадмия Cd^{2+} имеет центросимметричную конфигурацию искаженного октаэдра с координационным узлом – CdN_6 . В соединении I каждый нитрат ион (NO_3^-) соединяет три различных катионов $[\text{Cd}(\text{C}_3\text{H}_4\text{N}_2)_6]^{2+}$ через водородный связь $\text{N-H}\cdots\text{O}$, тем самым нитрат - ион оказывает влияние на построение супрамолекулярной, полимерной сети, обеспечивая возможности переноса электронов внутри молекулы, и могут обладать потенциальными магнитными свойствами.

Литература

1. Гарновский А.Д., Осипов О.А., Кузнецов Л.И., Богдасhev Н.Н. // «Успехи координационной химии азолов» Успехи химии. М.:1973. В.2, - Т.ХЛII. - с.77-200
2. Скорик Н.А., Бухалбцева Е.И., Филиппова М.М. «Соединения кобальта (II), меди(II) и цинка (II) с яблочной кислотой и имидазолом». Вестник Томского государственные университета. Химия. -2015, №2-с 87-100.
3. Katnani A.D., Papathomas K.I., Drolet D.P., Less A.I. «Thermal decomposition of palladium – imidazole complexes» // Journal of Thermal analysis. 1989. Vol.35, p.147-152.
4. Bridson M.E., Walker W.R. // Imidazolato – bridged Complexes of copper (II). August. I.Chem, 1970,23,1973-1979.
5. Lundberg B. K. S. Metal complexes with mixed ligands. 3. The crystal structure of an imidazolato-bridged polynuclear copper (II)-imidazole chloride complex, $Cu(C_3H_3N_2)-(C_3H_4N_2N_2)_2Cl$ // Acta chem. Scand. – 1972. – № 10. – P. 3902-3912.
6. Ларинов С.В., Лавренова Л.Г., Икорский В.Н., Шелудякова А.А «Синтез и магнитный свойства комплексов переходных металлов с гетероциклическими азотсодержащими лигандами» // Тез. Всесоюзным Чугаевского совещания по химии комплексных соединений, Красноярск. 1987.-ч.2.-с.441.
7. Соколов М.Е., Войцеховская С.А., Панюшкин В.Т. «Полимерный магнитный материал, содержащий наночастицы кобальта». Патент РФ. №2475878, приоритет от 04.08.2011г.
8. Zheng L., Zhao S., Lin L., Li B., Wu B. // «Syntheses, structures and luminescence of two cadmium entangled coordination polymers based on bis (imidazole) and bis carboxylate ligands // Inorgan. Chem. Commun., -2015, - v. 57 – p 84- 88.
9. Barsukova M., Goncharova T., Samsonenko D., Dybtsev D., Potapov A. // Synthesis, crystal structure, and luminescent properties of new zinc(II) and cadmium (II) metal-organic framework based on flexible bis (imidazole-1-yl) alkane ligands // crystals, 2016, v. c, №10, 132.
10. Патент РФ 2115653(опублик. 1998г.) «Комплексные соединения замещённых имидазолов, проявляющие антидотную и антигипоксантную активность» Авторы: Скушников А.И., Домнина Е.С., Титунов Л.А., Чумаков В.В., Баринов В.А., Бородовко В.К.
11. Сулайманкулов К.С., Малабаева А.М., Шыйтыева Н., Бердалиева Ж.И., Тоимбетова К.Р. и др. «Дихлоробис (тетраимидазол) меди (II), обладающий антигельминтной активности Патент КР №1954 от 31.03.2017 г.
12. Yun Gong, Changwen Hu, Hui Li, Wanlong Pan, Xueli Niu, Zhifa Pu «Synthesis and crystal structure of two novel nickel (imidazole) complexes having hydrogen-bonded networks» J.Mol.Struct. , 2005, 740,153
13. Hai-Liang Zhu, Song Yang, Xiao-Yang Qiu, Zhong-Duo Xiong, Zhong-Lu You, Da-Qi Wang «Hexakis(1H-imidazole- η^3) cobalt(II) dichloride tetrahydrate» Acta Cryst. 2003, E59,1089-1090
14. Аносов В. Я., Озерова М. И., Фиалков Ю. Я. «Основы физико-химического анализа» – М: Наука, 1976, – 280 с.
15. Михеева В. И. Метод физико-химического анализа в неорганическом синтезе [Текст] / В.И. Михеева. – М.: Наука, 1975. – 272 с.
16. Sheldrick G.M.// Acta. Crystallogr. 2008. V.A64№1 P.112.
17. Аламанова Э.А., Н.К. Шыйтыева., Ж.И. Бердалиева., Абдылдаева Н., Дуйшонбаева А., Абдулаева Ж «Coordination Polymer of Cobalt (II) Nitrate with Imidazole: Synthesis, Properties and Crystal Structure» // Journal of Crystallization Process and Technology, 2021, 10, 1-9 Web of science
18. Bi-Dong Wu, Shi-Wei Wang, Li Yang, Tong-Lai Zhang, Jian-Guo Zhang, Zun-Ning Zhou., «Preparation, Crystal Structure, and Thermal Decomposition of Two Novel Energetic Compounds $[Ni(IMI)_6](L)_2$ (L = ClO_4^- and NO_3^-) and one Carbonate Compound $[Ni(IMI)_6](CO_3) \cdot 5H_2O$ (IMI = Imidazole)» (2011) Z.Anorg.Allg.Chem. ,637,2252 DOI: 10.1002/zaac.201100279