



УДК: 541.49+547.794.3

Гульназ ХОЖАБАЕВА,
Докторант Национального университета Узбекистана
E-mail: gulnazkhojabaeva@gmail.ru
Батырбай ТОРАМБЕТОВ,
Доцент Национального университета Узбекистана
E-mail: torambetov_b@mail.ru
Исламбек КАРЛЫБАЕВ,
Преподаватель Каракалпакского Государственного университета
Екатерина КИНЬШАКОВА,
Преподаватель Национального университета Узбекистана
E-mail: anhor@inbox.ru
Шахноза КАДИРОВА,
Профессор Национального университета Узбекистана
E-mail: kadirova.shakhnoza@mail.ru

Рецензент д.х.н., профессор Э.Абдурахманов

СИНТЕЗ И ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ ШЕСТИКООРДИНАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА НИТРАТА КАДМИЯ (II) С 2-АМИНО-5-ПРОПИЛТИО-1,3,4-ТИАДИАЗОЛОМ

Аннотация

Данное исследование посвящено синтезу и структурному анализу нового комплекса кадмия(II) с лигандом 2-амино-5-пропилтио-1,3,4-тиадиазолом. Комплекс был охарактеризован с использованием инфракрасной спектроскопии, термогравиметрического анализа и рентгеноструктурного анализа. Сравнительный анализ ИК-спектра лиганда и комплекса показал значительные сдвиги в частотах колебаний ключевых функциональных групп, что указывает на координацию через атомы азота тиадиазольного кольца. Термогравиметрическое исследование показало температуру плавления 185°C и значительную потерю массы при разложении в диапазоне от 230°C до 600°C. Рентгеноструктурный анализ показал октаэдрическую координацию Cd(II) с шестью атомами азота лиганда, комплекс кристаллизуется в орторомбической сингонии. Результаты исследования дают представление о координационном окружении и стабильности комплекса, подчеркивая его потенциал для применения в материаловедении и биологических системах.

Ключевые слова: производные 1,3,4-тиадиазола, кадмий, синтез, лиганд, комплекс, ИК-спектроскопия, термический анализ, рентгеноструктурный анализ, структура, кристалл.

SYNTHESIS AND INVESTIGATION OF THE SIX COORDINATED COMPLEX OF CADMIUM(II) NITRATE WITH 2-AMINO-5-PROPYLTHIO-1,3,4-THIADIAZOLE

Annotation

This study focuses on the synthesis and structural analysis of a new cadmium(II) complex with the ligand 2-amino-5-propylthio-1,3,4-thiadiazole. The complex was characterized using infrared spectroscopy, thermogravimetric analysis, and X-ray crystallography. The infrared spectrum revealed significant shifts in the vibrational frequencies of key functional groups, indicating coordination through the nitrogen atoms of the thiadiazole ring. Thermogravimetric analysis showed a melting point at 185°C and a mass loss corresponding to thermal decomposition between 230°C and 600°C. The X-ray structure revealed an octahedral coordination of Cd(II) with six nitrogen atoms from the thiadiazole ligands, and the complex crystallized in the orthorhombic system. The results provide insights into the coordination environment and stability of the complex, emphasizing its potential for applications in materials science and biological systems.

Keywords: 1,3,4-thiadiazole derivatives, cadmium, synthesis, ligand, complex, IR spectroscopy, thermal analysis, X-ray diffraction analysis, structure, crystal.

2-АМИНО-5-ПРОПИЛТИО-1,3,4-ТИАДИАЗОЛ БИЛАН КАДМИЙ (II) НИТРАТНИНГ ГЕКСА-КООРДИНАСЫОН КОМПЛЕКСИНИНГ СИНТЕЗИ ВА ТУЗИЛИШИНИ О'РГАНИШ

Аннотация

Ushbu tadqiqot kadmiy (II) ning 2-амино-5-пропилтио-1,3,4-тиадиазол лигандлари билан yangi kompleksini sintezi va strukturaviy tahliliga bag'ishlangan. Kompleks infraqizil spektroskopiya, termogravimetrik tahlil va rentgen nurlari diffraktsiyasi yordamida tavsiflangan. Ligand va kompleksning IQ spektrining qiyosiy tahlili asosiy funktsional guruhlarning tebranish chastotalarida sezilarli siljishlarni ko'rsatdi, bu tiadiazol halqasining azot atomlari orqali muvofiqlashtirishni ko'rsatadi. Termogravimetrik tadqiqot 185°C erish nuqtasini va 230°C dan 600°C gacha bo'lgan oraliqda parchalanish paytida sezilarli massa yo'qotilishini ko'rsatdi. Rentgen nurlari diffraktsiyasi tahlili Cd (II) ning ligandning olti azot atomi bilan oktaedral koordinatsiyasini ko'rsatdi, kompleks ortorombik tizimda kristallanadi. Tadqiqot natijalari kompleksning muvofiqlashtirish muhiti va barqarorligi haqida tushuncha beradi, uning materialshunoslik va biologik tizimlarda qo'llash imkoniyatlarini ta'kidlanadi.

Kalit so'zlar: 1,3,4-tiadiazol hosilalari, kadmiy, sintez, ligand, kompleks, IQ spektroskopiya, termik analiz, rentgen difraktsion analiz, struktura, kristall.

Введение. Знание химии гетероциклических соединений представляет собой отправную точку для разработки новых гетероциклических соединений, которые играют важную роль в агрохимии, фармацевтике и материаловедении [1]. Структурно диазолы состоят из пятичленных колец, содержащих два атома азота и другой неуглеродный атом, кислород или серу, например оксадиазолы и тиadiaзолы, которые играют важную роль в биологических процессах и находят широкое применение в медицине [2].

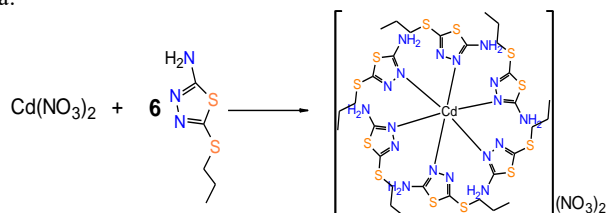
В последние годы производные 1,3,4-тиадиазола привлекли значительное внимание исследователей благодаря их широкому спектру биологического действия и применению в различных сферах жизнедеятельности человека. Они активно исследуются на предмет диуретического, противопрозоидного, кардиотонического, фунгицидного, седативного, анестезирующего, противомаларийного, антидепрессантного действия, гипогликемического, противовоспалительного и противомикробного эффектов [3-7]. Кроме того, в ряде исследований, посвящённых 1,3,4-тиадиазолу и его производным, сообщается о применении этих соединений в различных областях, включая производство полимеров, красителей, гербицидов и инсектицидов [8-11].

Целью данного исследования является синтез и анализ строения и свойств нового комплекса, содержащего в качестве лиганда производные 1,3,4-тиадиазола.

Материалы и методы. Исходным веществом для синтеза комплексного соединения являлась азотнокислая соль кадмия марки «ч.д.а». Все органические реагенты и растворители, применённые в эксперименте, были очищены и высушены с использованием известных методов.

Объектом исследования являлся синтезированный в лабораторных условиях комплекс $[CdL_6](NO_3)_2$, в котором L является 2-амино-5-пропилтио-1,3,4-тиадиазол.

Методика синтеза комплексного соединения $[CdL_6](NO_3)_2$: горячий раствор, содержащий 0,6 ммоль L в 3 мл этанола, медленно добавляли по каплям к 3 мл горячего раствора, содержащего 0,1 ммоль нитрата кадмия, при постоянном перемешивании. Раствор выдерживали при температуре 60°C в течение 2 часов. В результате образовывался прозрачный раствор светло-жёлтого цвета, который оставляли на кристаллизацию в темноте. Монокристаллы комплексного соединения, пригодные для рентгеноструктурного анализа, были получены в результате медленного испарения раствора в течение 10 дней. Выход реакции составил 82%. Температура плавления ~172-174°C. Представленная ниже схема иллюстрирует реакцию синтеза:



Результаты и обсуждение. Для изучения структуры и характеристик данного комплекса использовались методы ИК-спектроскопии, термического и рентгеноструктурного анализа.

Анализ ИК-спектров показал, что значительным изменениям подвергаются полосы поглощения симметричных валентных колебаний связи C=N цикла, наблюдаемых при 1598 cm^{-1} в свободном лиганде и смещающихся в комплексе в высокочастотную область на частоту 1642 cm^{-1} с заметной разницей ~44 cm^{-1} (табл. 1). Для валентных колебаний связи =N-N= это смещение составляет 7 cm^{-1} , а для валентных колебаний связи C-S – 30 cm^{-1} [12]. В ИК-спектрах комплекса в области коротких волн (421 cm^{-1}) обнаруживается новая полоса, отсутствующая у свободного лиганда, которая обусловлена валентными колебаниями связей M-N [13]. Это свидетельствует о комплексообразовании лиганда через атом азота тиadiaзольного кольца. Полосы поглощения колебаний групп C-H и N-H остаются практически без изменений (рис. 1).

Анализ ИК-спектров свидетельствует о том, что координация гетероциклического лиганда с ионом кадмия(II) осуществляется через эндоциклические атомы азота в тиadiaзольном кольце [14].

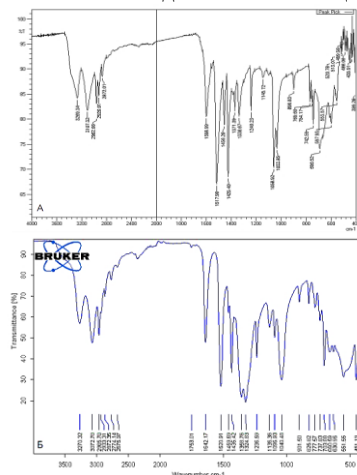


Рис. 1. ИК спектры лиганда L (А) и его комплекса $[CdL_6](NO_3)_2$ (Б)

Таблица 1.

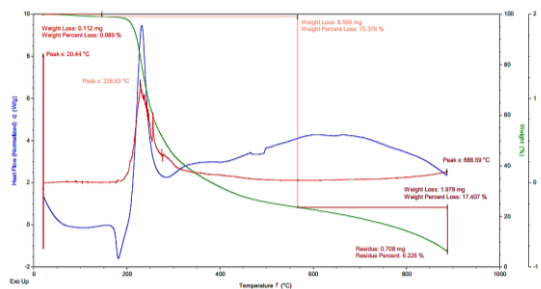
Основные полосы поглощения в ИК-спектрах лиганда и его комплекса

Соединение	$\nu_s(\text{C}=\text{N})$	δNH_2	$\nu(\text{N}-\text{N})$	$\nu(\text{N}-\text{H})$ $\nu(\text{C}-\text{H})$	$\nu(\text{C}-\text{S})$	$\nu(\text{M}-\text{N})$
L	1598	1517	1033	3269 3107	690	-
$[\text{CdL}_6](\text{NO}_3)_2$	1642	1520	1040	3270 3072	703	421

Изучение термостабильности комплексов помогает понять координационную структуру комплексов и дает возможность оценить влияние нагрева на процесс термического разложения полученных комплексов [15-16].

Термогравиметрическое исследование комплекса было проведено в температурном диапазоне от 20°C до 1000°C. На кривой термограммы (ТТ) комплекса эндотермический эффект, наблюдаемый при 185 °C, описывает температуру плавления комплекса.

Полное разложение органической части происходит в диапазоне температур от 230 до 600 °C, сопровождаемая потерей массы 75,36% от общей массы, обусловленной процессами термолитиза, пиролиза и дегградации под воздействием высокой температуры. В результате термолитиза в качестве конечного продукта, с массой 6,22% от общей, образуется оксид кадмия (рис. 2).

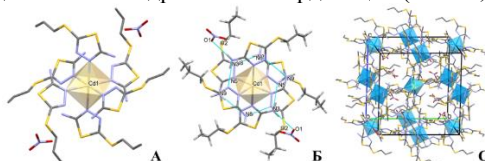
Рис. 2. Термограмма комплексного соединения $[\text{CdL}_6](\text{NO}_3)_2$

Структура синтезированного комплексного соединения установлена с помощью рентгеноструктурного анализа и расшифрована с помощью компьютерных программ CrysAlis, Olex2.15. [17, 18].

Комплекс состоит из катиона $[\text{CdL}_6]^{2+}$ и двух нитрат анионов NO_3^- во внешней сфере. Кристаллическая структура комплекса относится к орторомбической сингонии и принадлежит к пространственной группе P_{bca} . Кристаллографические данные и параметры структуры представлены в таблице 2, значения длин связей и валентных углов в таблицах 4-5. Строение и схемы упаковки элементарных ячеек показаны на рис. 3.

Комплексообразователь расположен в центре инверсии, что приводит к тому, что асимметричная единица кристаллической структуры содержит 1/2 молекулы комплекса, отражая симметричные отношения между молекулярными фрагментами (рис. 3).

Центральный атом Cd, расположенный в центре инверсии, имеет октаэдрическую координацию (рис.3). Атом кадмия координируется с шестью атомами эндоциклического азота тиадiazольных колец. Молекулы лиганда действуют как монодентатные, связываясь с ионом Cd(II) через атом азота в 3-положении тиадiazольных колец. Лиганды располагаются вокруг атома Cd(II) таким образом, что обеспечивается стабильная октаэдрическая координация. В результате образуется структура, в которой лиганды расположены практически идентично, что обеспечивает высокую симметрию и эффективную координацию центрального атома. Длины связей в координационном полиэдре $[\text{Cd}-\text{N}1 = 2,421 \text{ \AA}$, $\text{Cd}-\text{N}4 = 2,416 \text{ \AA}$ и $\text{Cd}-\text{N}7 = 2,421 \text{ \AA}]$ попадают в пределы нормы, а максимальные и минимальные значения валентных углов вокруг иона Cd(II) составляют $86,06^\circ$ ($\text{N}1-\text{Cd}1-\text{N}4$) и $93,70^\circ$ ($\text{N}4-\text{Cd}1-\text{N}7$) соответственно, что указывает на незначительные отклонения от идеальной октаэдрической координации (табл. 3, 4.).

Рис. 3. Строение и упаковка элементарных ячеек комплекса $[\text{CdL}_6](\text{NO}_3)_2$

Между нитрат анионом и аминогруппой лиганда существуют межмолекулярные водородные связи, ион-ионные взаимодействия наблюдаются между атомом серы тиадiazольного кольца и анионом NO_3^- . Эти взаимодействия способствуют дополнительной стабилизации кристаллической структуры (рис.4, табл.3).

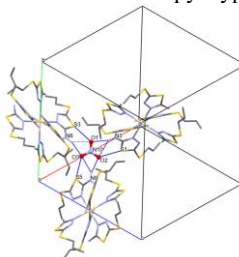


Рис. 4. Межмолекулярные водородные связи комплекса

Таблица 2.
Основные кристаллографические параметры и характеристики рентгеноструктурного анализа структуры $[\text{CdL}_6](\text{NO}_3)_2$

Молекулярная формула	[CdL ₆](NO ₃) ₂ ; (CdC ₃₀ H ₅₄ N ₁₈ S ₁₂ ·2(NO ₃))
M _r , г/моль ⁻¹	1288.05
Сингония	орторомбическая
Пространственная группа	P _{cca}
Z	4
a, b, c (Å)	17.7053 (2)
α, γ, β, (°)	90
V, Å ³	5550.22 (11)
ρ, г/см ³	1.541
Размер кристалла (мм)	0.12 × 0.08 × 0.06
T _{мин} , T _{макс}	0.344, 1.000
μ _{exp} (мм ⁻¹)	7.87
Число отражений	2900
Число отражений с I>2σ(I)	1956
R _I (I>2σ(I) в общем)	4755
S	1.05
Δρ _{max} , Δρ _{min} (е Å ⁻³)	0.34, -0.37

Таблица 3.

Геометрия водородных связей (Å, °) для [CdL₆](NO₃)₂.

D—H...A	D—H	H...A	D...A	D—H...A
N6—H6A...N8 ⁱ	0.86	2.13	2.863 (10)	143
N6—H6B...O1 ⁱⁱ	0.86	2.48	3.203 (9)	142
N6—H6B...O3 ⁱⁱⁱ	0.86	2.21	3.039 (10)	163
N3—H3A...N5	0.86	2.12	2.864 (9)	145
N3—H3B...O1	0.86	2.18	3.018 (9)	164
N3—H3B...O2	0.86	2.45	3.173 (10)	142
N9—H9A...N2 ⁱ	0.86	2.14	2.872 (9)	143
N9—H9B...O3 ⁱⁱⁱ	0.86	2.45	3.171 (9)	142
N9—H9B...O2 ⁱⁱⁱ	0.86	2.21	3.037 (10)	162

Коды симметрии: (i) -x+1, -y+1, -z+1; (ii) -x+1/2, -y+1, z+1/2; (iii) -x+1/2, y+1/2, z.

Таблица 4.

Длины связей в структуре [CdL₆](NO₃)₂

Cd1—N4	2.421 (5)	S6—C13	1.804 (18)	N3—H3B	0.8600	C14—H14A	0.9700
Cd1—N4 ⁱ	2.421 (5)	N4—N5	1.399 (8)	N3—C1	1.316 (10)	C14—H14B	0.9700
Cd1—N1 ⁱ	2.421 (5)	N4—C6	1.314 (9)	N9—H9A	0.8600	C14—C15	1.38 (2)
Cd1—N1	2.421 (5)	N1—N2	1.382 (8)	N9—H9B	0.8600	C15—H15A	0.9600
Cd1—N7	2.416 (6)	N1—C1	1.325 (9)	N9—C11	1.325 (10)	C15—H15B	0.9600
Cd1—N7 ⁱ	2.416 (6)	N7—N8	1.414 (9)	C13—H13A	0.9700	C15—H15C	0.9600
S5—C11	1.722 (8)	N7—C11	1.324 (9)	C13—H13B	0.9700	C10—H10A	0.9600
S5—C12	1.717 (9)	N10—O1	1.216 (8)	C13—C14	1.354 (18)	C10—H10B	0.9600
S3—C6	1.724 (7)	N10—O3	1.212 (8)	C8—H8A	0.9700	C10—H10C	0.9600
S3—C7	1.708 (9)	N10—O2	1.200 (8)	C8—H8B	0.9700	C4—H4A	0.9700
S1—C1	1.722 (8)	N5—C7	1.301 (10)	C8—C9	1.411 (19)	C4—H4B	0.9700
S1—C2	1.733 (9)	N8—C12	1.301 (10)	C9—H9C	0.9700	C4—C5	1.44 (2)
S4—C7	1.743 (8)	N2—C2	1.297 (10)	C9—H9D	0.9700	C5—H5A	0.9600
S4—C8	1.881 (15)	N6—H6A	0.8600	C9—C10	1.428 (18)	C5—H5B	0.9600
S2—C2	1.728 (9)	N6—H6B	0.8600	C3—H3C	0.9700	C5—H5C	0.9600
S2—C3	1.842 (16)	N6—C6	1.341 (10)	C3—H3D	0.9700		
S6—C12	1.733 (9)	N3—H3A	0.8600	C3—C4	1.331 (19)		

Таблица 5.

Значения валентных углов в структуре [CdL₆](NO₃)₂

N4 ⁱ —Cd1—N4	180.0	H3A—N3—H3B	120.0	H9C—C9—H9D	108.3
N1—Cd1—N4	93.71 (19)	C1—N3—H3A	120.0	C10—C9—H9C	109.8
N1—Cd1—N4 ⁱ	86.29 (19)	C1—N3—H3B	120.0	C10—C9—H9D	109.8
N1 ⁱ —Cd1—N4 ⁱ	93.71 (19)	H9A—N9—H9B	120.0	S2—C3—H3C	108.2
N1 ⁱ —Cd1—N4	86.29 (19)	C11—N9—H9A	120.0	S2—C3—H3D	108.2
N1—Cd1—N1 ⁱ	180.0	C11—N9—H9B	120.0	H3C—C3—H3D	107.3
N7 ⁱ —Cd1—N4 ⁱ	86.1 (2)	N4—C6—S3	114.2 (6)	C4—C3—S2	116.5 (13)
N7 ⁱ —Cd1—N4	93.9 (2)	N4—C6—N6	123.8 (7)	C4—C3—H3C	108.2
N7—Cd1—N4 ⁱ	93.9 (2)	N6—C6—S3	122.0 (6)	C4—C3—H3D	108.2
N7—Cd1—N4	86.1 (2)	N1—C1—S1	113.4 (6)	C13—C14—H14A	107.9
N7—Cd1—N1 ⁱ	93.5 (2)	N3—C1—S1	122.2 (6)	C13—C14—H14B	107.9
N7 ⁱ —Cd1—N1	93.5 (2)	N3—C1—N1	124.3 (7)	C13—C14—C15	117.5 (19)
N7 ⁱ —Cd1—N1 ⁱ	86.5 (2)	N7—C11—S5	114.3 (6)	H14A—C14—H14B	107.2
N7—Cd1—N1	86.5 (2)	N7—C11—N9	123.4 (7)	C15—C14—H14A	107.9
N7—Cd1—N7 ⁱ	180.0	N9—C11—S5	122.3 (6)	C15—C14—H14B	107.9
C12—S5—C11	87.7 (4)	S5—C12—S6	119.8 (5)	C14—C15—H15A	109.5
C7—S3—C6	87.2 (4)	N8—C12—S5	114.7 (6)	C14—C15—H15B	109.5
C1—S1—C2	87.8 (4)	N8—C12—S6	125.5 (7)	C14—C15—H15C	109.5
C7—S4—C8	98.6 (5)	S3—C7—S4	119.4 (5)	H15A—C15—H15B	109.5
C2—S2—C3	99.7 (5)	N5—C7—S3	115.1 (6)	H15A—C15—H15C	109.5
C12—S6—C13	100.0 (5)	N5—C7—S4	125.5 (7)	H15B—C15—H15C	109.5
N5—N4—Cd1	114.2 (4)	S2—C2—S1	119.0 (5)	C9—C10—H10A	109.5
C6—N4—Cd1	133.7 (5)	N2—C2—S1	113.2 (6)	C9—C10—H10B	109.5
C6—N4—N5	111.5 (6)	N2—C2—S2	127.8 (6)	C9—C10—H10C	109.5
N2—N1—Cd1	114.5 (4)	S6—C13—H13A	108.2	H10A—C10—H10B	109.5
C1—N1—Cd1	133.0 (5)	S6—C13—H13B	108.2	H10A—C10—H10C	109.5
C1—N1—N2	111.8 (6)	H13A—C13—H13B	107.3	H10B—C10—H10C	109.5
N8—N7—Cd1	114.3 (4)	C14—C13—S6	116.4 (13)	C3—C4—H4A	108.0
C11—N7—Cd1	134.2 (6)	C14—C13—H13A	108.2	C3—C4—H4B	108.0
C11—N7—N8	111.0 (6)	C14—C13—H13B	108.2	C3—C4—C5	117.1 (18)
O3—N10—O1	119.9 (7)	S4—C8—H8A	109.9	H4A—C4—H4B	107.3
O2—N10—O1	119.2 (7)	S4—C8—H8B	109.9	C5—C4—H4A	108.0
O2—N10—O3	120.7 (7)	H8A—C8—H8B	108.3	C5—C4—H4B	108.0

C7—N5—N4	112.0 (6)	C9—C8—S4	109.1 (14)	C4—C5—H5A	109.5
C12—N8—N7	112.3 (7)	C9—C8—H8A	109.9	C4—C5—H5B	109.5
C2—N2—N1	113.7 (6)	C9—C8—H8B	109.9	C4—C5—H5C	109.5
H6A—N6—H6B	120.0	C8—C9—H9C	109.8	H5A—C5—H5B	109.5
C6—N6—H6A	120.0	C8—C9—H9D	109.8	H5A—C5—H5C	109.5
C6—N6—H6B	120.0	C8—C9—C10	109.3 (19)	H5B—C5—H5C	109.5

Заключение. На основании проведенного исследования можно сделать вывод, что нитрат кадмия(II) образует комплекс с 2-амино-5-пропилтио-1,3,4-тиадиазолом, который имеет октаэдрическую структуру состава $[\text{CdL}_6](\text{NO}_3)_2$. Внутренняя сфера содержит атом кадмия в качестве центрального иона, связанный с шестью молекулами лиганда, координированными через атом азота тиадиазольных колец. Нитрат-анион расположен во внешней сфере, что подтверждает катионную природу комплекса. Кристаллографические данные, полученные с помощью рентгеноструктурного анализа, а также результаты ИК-спектроскопии и термогравиметрического исследования, подтверждают стабильность комплекса и описывают его характерные особенности. Это исследование дает ценные сведения о координационном окружении кадмия(II) и может быть использовано для дальнейших исследований в области материаловедения и биохимии, а также в исследованиях, связанных с активными веществами и катализом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Amer Z. Antibacterial activity of new synthesized derivatives 3-substituted imidazobenzothiazole from 2-amino-benzothiazole // Journal of Global Pharma Technology, – 2009. –11(03), –P.433-438.
2. Khudhair Z.T., Al-Tamimi E.O. Synthesis, Identification, Theoretical Study and effect of 1,3,4-oxadiazole compounds substituted on creatinine ring on the activity of some transfers enzymes // Research Journal of Pharmacy and Technology. – 2019. – 12(8), –P.3581-3588.
3. Azam M.A., Kumar B.R.P., Shalini S., Suresh B., Reddy T.K., Reddy C.D. Synthesis and biological screening of 5-[(4, 6-disubstituted pyrimidine-2-yl) thio] methyl]-N-phenyl-1,3,4-thiadiazol-2-amines. Indian journal of pharmaceutical Sciences, – 2008. – 70(5), –P.672.
4. Chou J.Y., Lai S.Y., Pan S.L., Jow G.M., Chern J.W., Guh J.H. Investigation of anticancer mechanism of thiadiazole-based compound in human non-small cell lung cancer A549 cells. Biochemical pharmacology, –2003. –66(1), –P.115-124.
5. Clerici F., Pocar D., Guido M., Loche A., Perlini V., Brufani M. Synthesis of 2-amino-5-sulfanyl-1,3,4-thiadiazole derivatives and evaluation of their antidepressant and anxiolytic activity. Journal of medicinal chemistry, –2001. –44(6), –P.931-936.
6. Lamani R.S., Shetty N.S., Kamble R.R., Khazi I.A.M. Synthesis and antimicrobial studies of novel methylene bridged benzisoxazolyl imidazo [2,1-b][1,3,4] thiadiazole derivatives. European Journal of Medicinal Chemistry, –2009. –44(7), –P.2828-2833.
7. Oruç E.E., Rollas S., Kandemirli F., Shvets N., Dimoglo A.S. 1,3,4-thiadiazole derivatives. Synthesis, structure elucidation, and structure–antituberculosis activity relationship investigation. Journal of medicinal chemistry, –2004. –47(27), –P.6760-6767.
8. Bharty M.K., Bharti A., Dani R.K., Kushawaha S.K., Dulare R., Singh N.K. Studies on novel Cu (II) complexes of 5-(4-hydroxy-phenyl)-1, 3, 4-thiadiazole-2-thiol and 5-thiophen-2-yl-3H-1,3,4-oxadiazole-2-thione: Synthesis, spectral and structural characterization. Polyhedron, –2012. –41(1), –P.52-60.
9. Glossman-Mitnik D. A theoretical study on the aromaticity of thiadiazoles and related compounds. Journal of Molecular Structure: THEOCHEM, –2001. –549(3), –P.285-288.
10. De Toledo T.A., Da Silva L.E., Teixeira A.M.R., Freire P.T.C., Pizani P.S. Characterization of Meldrum's acid derivative 5-(5-Ethyl-1,3,4-thiadiazol-2-ylamino) methylene-2,2-dimethyl-1,3-dioxane-4,6-dione by Raman and FT-IR spectroscopy and DFT calculations. Journal of Molecular Structure, –2012. –1091, –P.37-42.
11. Emam S.M., El Sayed I.E.T., Nassar N. Transition metal complexes of neocryptolepine analogues. Part I: Synthesis, spectroscopic characterization, and in vitro anticancer activity of copper (II) complexes. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, –2015. –138, –P.942-953.
12. Bharty M.K., Dani R.K., Nath P., Bharti A., Singh N.K., Prakash O., Butcher R.J. Syntheses, structural and thermal studies on Zn (II) complexes of 5-aryl-1,3,4-oxadiazole-2-thione and dithiocarbamates: Antibacterial activity and DFT calculations. Polyhedron, –2015. –98, –P.84-95.
13. Glossman-Mitnik D. A theoretical study on the aromaticity of thiadiazoles and related compounds. Journal of Molecular Structure: THEOCHEM, –2001. –549(3), –P.285-288.
14. Накамото К. ИК- спектры неорганических и координационных соединений. – М.: Мир, – 1996. – С. 204
15. Zhong G.Q., Shen J., Jiang Q.Y., Jia Y.Q., Chen M.J., Zhang Z.P. Synthesis, Characterization and Thermal Decomposition of SbIII-M-SbIII Type Trinuclear Complexes of Ethylenediamine-N,N,N',N'-Tetraacetate (M:Co(II), La(III), Nd(III), Dy(III)), J. Therm. Anal. Calor., –2008. –92(2), –P.607-616.
16. Soliman M.H., Mohamed G.G., Cr(III), Mn(II), Fe(III), Co(II), Ni(II), Cu(II) and Zn(II) new complexes of 5-aminosalicylic acid: spectroscopic, thermal characterization and biological activity studies, Spectrochim. Acta A, –2013. –107(8), –P.15.
17. Agilent Technology. CrysAlis Pro.Data Collection and Processing Software for Agilent X-ray Diffractometers. User Manual , 2013. UK
18. Sheldrick G.M. SHELXT– Integrated space-group and crystal-structure determination // Acta Crystallographica. Section A Foundations and Advances, –2015. –71(1), –P. 3–8.