

Статья поступила в редакцию: 01.06.2026

Статья принята к публикации: 09.07.2026

Статья опубликована: 07.08.2026

УДК 541.49

Комплексы Cu(II) и Ni(II) с пиррольным гидразоном: синтез и спектроскопическое исследование N,N,O-координации

Юлдошева Раъно Кулдош кизи

PhD, докторант

кафедры Технология нефти и газа, Бухарский государственный университет

Республика Узбекистан, г. Бухара

Назаров Сайфулла Ибодуллоевич

д-р техн. наук (DSc)

проф., проф. кафедры Химии и нефтегазовой технологии, Бухарский государственный университет

Узбекистан, г. Бухара

E-mail: s.i.nazarov@buxdu.uz

Раззақов Ҳасан Қаландарович

проф., канд. техн. наук, проф.

кафедры Химии и нефтегазовой технологии, Бухарский государственный университет

Узбекистан, г. Бухара

Cu(II) and Ni(II) complexes with a pyrrolyl hydrazone: synthesis and spectroscopic investigation of N,N,O coordination

Yo'ldosheva Ra'no Qo'ldosh qizi

PhD Doctoral Student

of the Department of Oil and Gas Technology, Bukhara State University

Republic of Uzbekistan, Bukhara

Nazarov Sayfulla Ibodulloyevich

doctor of Technical Sciences, Professor, Professor

of the Department of Chemistry and Oil and Gas Technology, Bukhara State University

Uzbekistan, Bukhara

Razzaqov Hasan Qalandarovich

professor, Candidate of Technical Sciences, Professor

of the Department of Chemistry

and Oil and Gas Technology

Bukhara State University

Uzbekistan, Bukhara

Библиографическое описание: Юлдошева Р.К. кизи, Назаров С.И., Раззақов Ҳ.Қ. Комплексы Cu(II) и Ni(II) с пиррольным гидразоном: синтез и спектроскопическое исследование N,N,O-координации // Universum: химия и биология : электрон. научн. журн. 2026. 8(146). URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/23161>

Аннотация

Координационные соединения переходных металлов с гидразоновыми лигандами представляют значительный интерес благодаря структурному разнообразию и широкому спектру биологической активности. Цель настоящей работы состояла в синтезе нового гидразонового лиганда на основе пиррол-2-карбальдегида и бензогидразида, получении его комплексов с ионами Cu(II) и Ni(II), а также установлении характера их координации методами ИК- и молекулярно-абсорбционной спектроскопии. Лиганд получен реакцией конденсации пиррол-2-карбальдегида с бензогидразидом в этаноле (выход 78 %); комплексы синтезированы взаимодействием лиганда с $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ в метаноле (выходы 72 и 69 % соответственно). Соединения охарактеризованы методами ИК- и электронной спектроскопии, термического анализа и измерения молярной электропроводности. Установлено, что комплексообразование сопровождается повышением термической устойчивости и образованием неэлектролитных соединений с внутрениннересферной координацией хлорид-иона. Спектральные исследования подтвердили координацию лиганда после депротонирования пиррольного фрагмента в тридентатном N,N,O-режиме. На основании совокупности экспериментальных данных предложены структуры комплексов Cu(II) и Ni(II) с искажённым плоскоквадратным координационным окружением. Научная новизна работы заключается в установлении особенностей координационного поведения нового пиррольного гидразона, что расширяет представления о закономерностях комплексообразования гидразоновых лигандов и создаёт основу для дальнейшего направленного синтеза функциональных металлокомплексов.

Abstract

Transition metal coordination compounds with hydrazone ligands have attracted considerable interest because of their structural diversity and broad spectrum of biological activity. The aim of the present study was to synthesize a new hydrazone ligand based on pyrrole-2-carbaldehyde and benzohydrazide, prepare its Cu(II) and Ni(II) complexes, and establish their coordination mode using FT-IR and UV-Vis spectroscopy. The ligand was synthesized by the condensation of pyrrole-2-carbaldehyde with benzohydrazide in ethanol (78 % yield), while the Cu(II) and Ni(II) complexes were obtained by reacting the ligand with $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ and $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ in methanol, affording isolated yields of 72 % and 69 %, respectively. The compounds were characterized by FT-IR and UV-Vis spectroscopy, thermogravimetric analysis, and molar conductivity measurements. Complex formation was found to enhance thermal stability and to produce non-electrolytic compounds with chloride ions coordinated within the inner coordination sphere. Spectroscopic investigations confirmed that, following deprotonation of the pyrrolic fragment, the ligand coordinates in a tridentate N,N,O mode. Based on the combined experimental results, distorted square-planar structures were proposed for both the Cu(II) and Ni(II) complexes. The scientific novelty of this work lies in elucidating the coordination behavior of a new pyrrolic hydrazone, thereby expanding current understanding of the coordination chemistry of hydrazone ligands and providing a basis for the rational design of functional metal complexes.

Ключевые слова: пиррол-2-карбальдегид, гидразоновый лиганд, основания Шиффа, комплексы Cu(II) и Ni(II), N, N, O-координация, спектральный анализ, координационная химия.

Keywords: pyrrole-2-carbaldehyde, hydrazone ligand, Schiff base, Cu(II) and Ni(II) complexes, N, N, O coordination, spectroscopic analysis, coordination chemistry.

1. Введение

В координационной химии значительный интерес представляют комплексы переходных металлов, образованные на основе оснований Шиффа и лигандов гидразонного типа [1, 2]. Соединения данного класса широко исследуются благодаря их антимикробным, противогрибковым, противотуберкулёзным и цитотоксическим свойствам [3, 4]. Особое внимание уделяется гидразоновым лигандам, содержащим гетероциклические фрагменты, поскольку они обладают высокой координационной способностью по отношению к ионам металлов и находят применение в бионеорганической химии и катализе [5, 6].

Структурная особенность гидразонной группы ($-C=N-NH-C=O$) заключается в её способности проявлять кето-енольную таутомерию, образовывать хелатные циклы и обеспечивать эффективную делокализацию электронной плотности [10]. Пиррольный фрагмент входит в состав многих биологически важных молекул — порфиринов, гема, хлорофилла и витамина B_{12} , — что определяет интерес к его производным в бионеорганической химии. В отличие от пиридиновых и имидазольных гетероциклов, атом азота пиррольного цикла включён в ароматическую π -систему и в нейтральной форме координационно малоактивен; однако после депротонирования NH-группы образующийся пирролид-анион выступает эффективным σ -донором и обеспечивает устойчивую хелатную координацию [3].

Несмотря на многочисленные исследования гидразоновых комплексов Cu(II) и Ni(II), координационные соединения на основе пирролсодержащих бензогидразонов изучены недостаточно. В литературе практически отсутствуют систематические сведения о влиянии пиррольного фрагмента на механизм координации и спектральные характеристики таких комплексов [8, 9, 10]. В связи с этим была выдвинута гипотеза о том, что введение пиррольного донорного центра, способного к депротонированию, обеспечит реализацию устойчивой тридентатной NNO-координации и приведёт к формированию комплексов с характерными спектральными признаками. Для проверки данной гипотезы синтезирован новый лиганд (E)-N'-[(1H-пиррол-2-ил)метилен]бензогидразид (HL) и его комплексы с Cu(II) и Ni(II), строение которых исследовано методами ИК- и молекулярной абсорбционной спектроскопии.

Целью настоящего исследования являлся синтез нового гидразонового лиганда (E)-N'-[(1H-пиррол-2-ил)метилен]бензогидразида и его комплексов с ионами Cu(II) и Ni(II), а также установление особенностей их координационного строения на основе данных ИК- и молекулярной абсорбционной спектроскопии. Для достижения поставленной цели решены следующие задачи: синтезированы лиганд и его металлокомплексы; исследованы их спектральные характеристики; определён координационный режим лиганда и предложена модель строения образующихся комплексов.

2. Материалы и методы исследования

2.1. Реактивы и оборудование

Все использованные реактивы, включая пиррол-2-карбальдегид, бензогидразид, $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, имели квалификацию «ч. д. а.» (Sigma-Aldrich, США) и применялись без дополнительной очистки. ИК-спектры регистрировали с использованием приставки нарушенного полного внутреннего отражения MIRacle10 ATR (кристалл Dia/ZnSe) в диапазоне 4000–400 см^{-1} . Электронные молекулярно-абсорбционные спектры исследуемых соединений регистрировали на молекулярно-абсорбционном спектрофотометре Shimadzu UV-1900 (Shimadzu, Япония) в диапазоне 200–600 нм с использованием этанольных растворов. Молярную электропроводность измеряли для этанольных растворов синтезированных соединений.

2.2. Синтез лиганда (HL)

Пиррол-2-карбальдегид (0,95 г; 10 ммоль) и бензогидразид (1,36 г; 10 ммоль) растворяли в абсолютном этаноле (30 мл). Реакционную смесь нагревали при 78 °С под обратным холодильником в течение 4 часов; в качестве катализатора добавляли одну каплю концентрированной уксусной кислоты. После охлаждения образовавшийся жёлтый осадок отделяли фильтрованием, промывали этанолом и диэтиловым эфиром и высушивали в вакууме. Выход продукта составил 78 %, температура плавления — 198–200 °С.



В результате реакции конденсации синтезирован лиганд (E)-N'-[(1H-пиррол-2-ил)метилен]бензогидразид (HL), химическая структура которого представлена на рисунке 1.

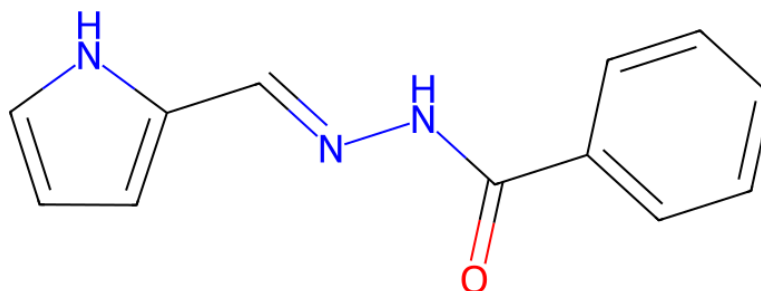


Рисунок 1. Химическая структура лиганда (E)-N'-[(1H-пиррол-2-ил)метилен]бензогидразида (HL)

2.3. Синтез комплексов Cu(II) и Ni(II)

Синтез комплекса $[\text{Cu}(\text{L})\text{Cl}] \cdot \text{H}_2\text{O}$. К раствору лиганда HL (0,213 г; 1 ммоль) в метаноле (20 мл) при постоянном перемешивании по каплям добавляли раствор $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (0,170 г; 1 ммоль) в метаноле. Реакционную смесь кипятили под обратным холодильником в течение 3

часов. Образовавшийся сине-зелёный осадок отделяли фильтрованием, промывали смесью метанола и воды (1:1 по объёму) и высушивали в вакууме при 60 °С. Выход продукта составил 72 %; температура разложения 245–248 °С.

Синтез комплекса $[\text{Ni}(\text{L})\text{Cl}] \cdot \text{H}_2\text{O}$. Комплекс никеля(II) синтезировали аналогичным способом, заменив $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ на $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (0,238 г; 1 ммоль). Образовывался осадок жёлто-зелёного цвета, который фильтровали, промывали и высушивали в условиях, аналогичных описанным выше. Выход продукта составил 69 %; температура разложения 238–241 °С.

3. Результаты и обсуждение

Результаты синтеза лиганда HL и его комплексов с ионами Cu(II) и Ni(II) представлены в таблице 1. Полученные соединения охарактеризованы по цвету, температуре разложения, выходу и молярной электропроводности; эти параметры позволяют оценить чистоту веществ, их термическую устойчивость и особенности координационного строения.

Таблица 1.

Физико-химические характеристики синтезированных соединений

Соединение	Цвет	Температура разложения, °С	Выход, %	Молярная электропроводность, мкСм/см
HL	жёлтый	198–200	78	—
$[\text{Cu}(\text{L})\text{Cl}] \cdot \text{H}_2\text{O}$	сине-зелёный	245–248	72	12,4
$[\text{Ni}(\text{L})\text{Cl}] \cdot \text{H}_2\text{O}$	жёлто-зелёный	238–241	69	10,8

Как видно из данных таблицы 1, образование комплексов Cu(II) и Ni(II) сопровождается заметным повышением температуры разложения по сравнению со свободным лигандом HL. Увеличение этого показателя с 198–200 °С до 238–248 °С свидетельствует об усилении внутримолекулярных взаимодействий и повышении термической устойчивости вследствие образования координационных связей металл–лиганд.

Выходы комплексов (69–72 %) сопоставимы с выходом свободного лиганда (78 %), что указывает на эффективное протекание реакции комплексообразования и отсутствие существенных побочных процессов. Незначительное различие в выходах комплексов Cu(II) и Ni(II), по-видимому, обусловлено различиями в скорости координации и растворимости образующихся соединений.

Дополнительным подтверждением образования нейтральных координационных соединений служат низкие значения молярной электропроводности (10,8–12,4 мкСм/см), характерные для неэлектролитов. Это позволяет предположить, что хлорид-ион входит во внутреннюю координационную сферу комплекса, а не присутствует в виде свободного противоиона. Полученные результаты согласуются с данными ИК- и УФ-видимой спектроскопии, подтверждающими координацию лиганда с ионами Cu(II) и Ni(II).

3.1. ИК-спектроскопический анализ

ИК-спектроскопия является одним из наиболее информативных методов координационной химии, позволяющим установить природу донорных атомов лиганда и характер их взаимодействия с ионом металла [8]. ИК-спектры комплексов $[\text{Cu}(\text{L})\text{Cl}] \cdot \text{H}_2\text{O}$ и $[\text{Ni}(\text{L})\text{Cl}] \cdot \text{H}_2\text{O}$ регистрировали на приборе MIRacle10 ATR (Dia/ZnSe) в диапазоне 4000–400 cm^{-1}

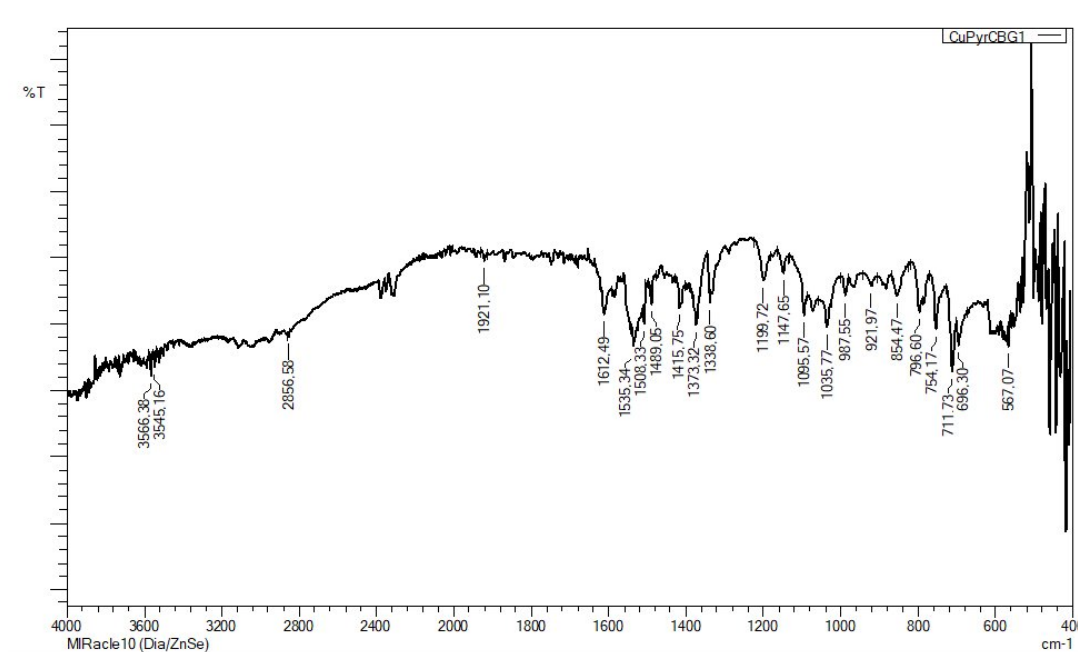


Рисунок 2. ИК-спектр комплекса $[\text{Cu}(\text{L})\text{Cl}] \cdot \text{H}_2\text{O}$ (MIRacle10 ATR, Dia/ZnSe, 4000–400 cm^{-1})

В ИК-спектре комплекса $\text{Cu}(\text{II})$ (рис. 2) наблюдаются две полосы при 3566 и 3545 cm^{-1} , характерные для валентных колебаний группы $\text{O}-\text{H}$ молекулы воды. Слабая полоса при 2856 cm^{-1} относится к валентным колебаниям ароматических связей $\text{C}-\text{H}$. Полоса при 1612 cm^{-1} соответствует валентным колебаниям азометиновой группы $\text{C}=\text{N}$; её смещение по сравнению со свободным лигандом свидетельствует об участии этого атома азота в координации с ионом меди(II). Полоса при 1535 cm^{-1} обусловлена колебаниями карбонильной группы $\text{C}=\text{O}$ амидного фрагмента, смещёнными в область меньших волновых чисел вследствие координационного взаимодействия с металлом.

Полосы при 1508 и 1489 cm^{-1} относятся к колебаниям связей $\text{C}=\text{C}$ и $\text{C}-\text{N}$ пиррольного цикла. Полосы при 1415, 1373 и 1338 cm^{-1} связаны с колебаниями ароматического кольца и связи $\text{N}-\text{N}$ гидразонного фрагмента. Существенное ослабление характерной для свободного лиганда полосы валентных колебаний $\text{N}-\text{H}$ пиррольного цикла указывает на депротонирование пиррольного атома азота и его участие в координации [5]. Наличие полосы при 567 cm^{-1} подтверждает образование координационной связи $\text{Cu}-\text{N}$, что является дополнительным доказательством комплексообразования.

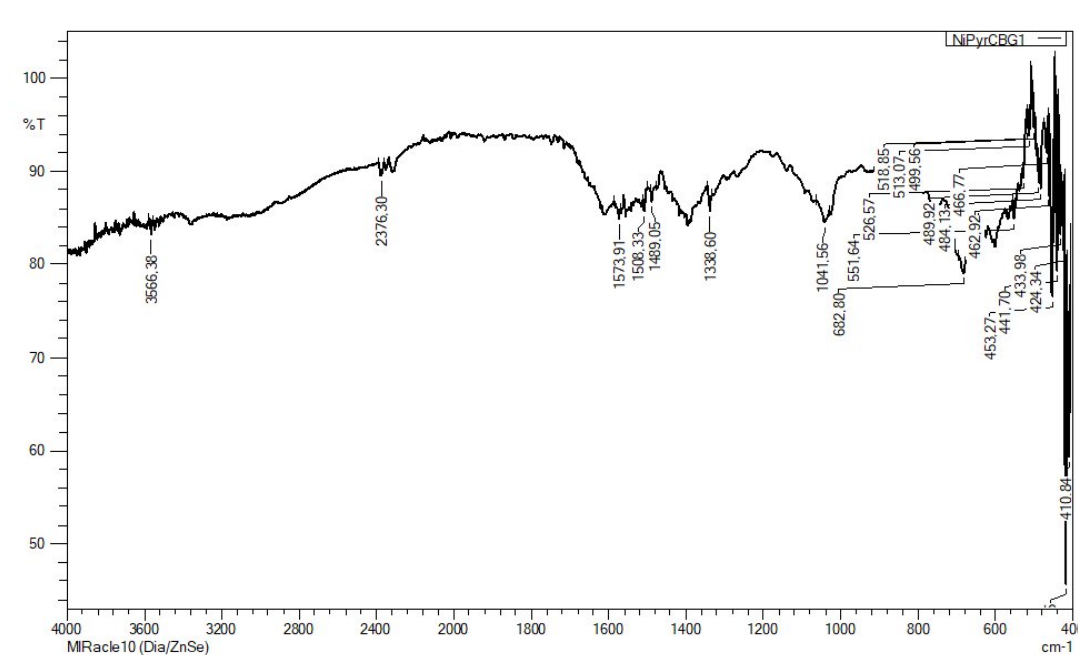


Рисунок 3. ИК-спектр комплекса $[\text{Ni}(\text{L})\text{Cl}] \cdot \text{H}_2\text{O}$ (MIRacle10 ATR, Dia/ZnSe, 4000–400 cm^{-1})

В ИК-спектре комплекса Ni(II) (рис. 3) наблюдается широкая полоса при 3566 cm^{-1} , обусловленная валентными колебаниями групп N–H и O–H. Полоса при 1573 cm^{-1} соответствует валентным колебаниям азометиновой группы C=N (с ней перекрывается полоса карбонильной группы C=O). Полосы при 1508 и 1489 cm^{-1} относятся к колебаниям пиррольного цикла, а полоса при 1338 cm^{-1} — к колебаниям связи N–N; её смещение по сравнению со свободным лигандом указывает на участие лиганда в комплексообразовании. При 682 cm^{-1} наблюдается полоса внеплоскостных деформационных колебаний гетероциклического кольца.

В низкочастотной области зафиксированы полосы при 513–518 cm^{-1} и 462–466 cm^{-1} , которые отнесены к валентным колебаниям координационных связей Ni–N и Ni–O соответственно. Наличие этих полос подтверждает участие азотного и кислородного донорных центров лиганда в координации и свидетельствует о реализации тридентатного N,N,O-режима. Полосы в области 424–433 cm^{-1} соответствуют колебаниям связи Ni–Cl. Основные параметры ИК-спектров приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Основные параметры ИК-спектров лиганда и его комплексов (cm^{-1})

Соединение	$\nu(\text{N-H})$	$\nu(\text{C=O})$	$\nu(\text{C=N})$	$\nu(\text{N-N})$	$\nu(\text{M-N})$	$\nu(\text{M-O})$
HL	3210–3285	1668	1612	1025	—	—
$[\text{Cu}(\text{L})\text{Cl}] \cdot \text{H}_2\text{O}$	3545, 3566	1535	1612	1338	567	—
$[\text{Ni}(\text{L})\text{Cl}] \cdot \text{H}_2\text{O}$	3566	1573*	1573	1338	513–518	462–466

* Для комплекса Ni(II) полоса $\nu(\text{C=O})$ отдельно не разрешается и перекрывается с полосой $\nu(\text{C=N})$ при 1573 cm^{-1}

3.2. Исследование электронных спектров комплексов Cu(II) и Ni(II)

Электронные спектры поглощения синтезированных соединений регистрировали в этаноле в диапазоне 200–600 нм. Молекулярной абсорбционной спектроскопии позволяет получить информацию об электронной структуре комплексов, процессах переноса заряда и особенностях координационной геометрии [6]. Анализ спектров даёт возможность идентифицировать внутримолекулярные переходы $\pi \rightarrow \pi^*$ и $n \rightarrow \pi^*$, характерные для органического лиганда, а также d–d-переходы и полосы переноса заряда, возникающие при образовании комплексов с ионами переходных металлов.

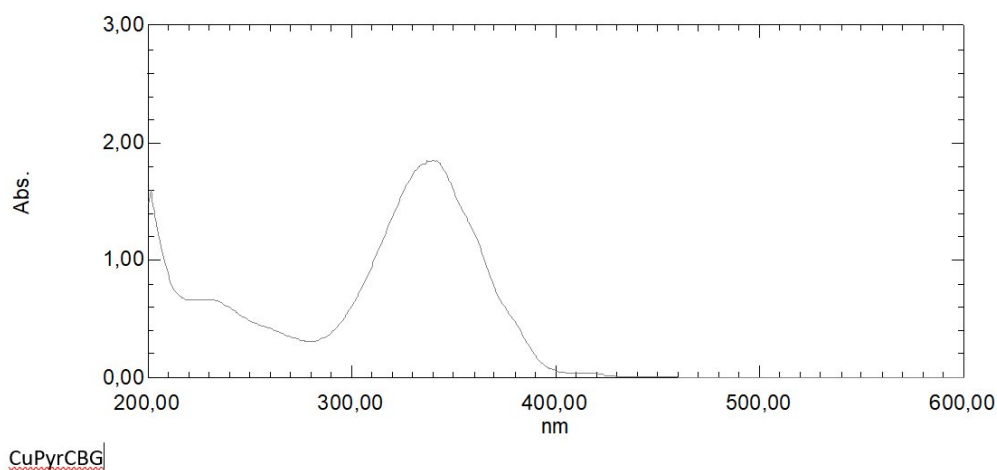


Рисунок 4. Молекулярно-абсорбционный спектр комплекса $[Cu(L)Cl] \cdot H_2O$ (этанол, 200–600 нм)

В электронном спектре комплекса Cu(II) (рис. 4) в области 200–230 нм наблюдается интенсивная полоса, характерная для переходов $\pi \rightarrow \pi^*$ в сопряжённой системе лиганда. Наиболее выраженной особенностью спектра является широкая интенсивная полоса с максимумом около 340 нм (оптическая плотность $\approx 1,85$ усл. ед.). Эта полоса имеет сложную природу и включает вклад как внутримолекулярных переходов $\pi \rightarrow \pi^*$, так и переходов переноса заряда лиганд $\rightarrow$ металл (LMCT). После 380 нм интенсивность поглощения заметно снижается; в видимой области (500–600 нм) отчётливые d–d-полосы не наблюдаются, что характерно для комплексов меди(II) с сильным лигандным полем, обладающих плоскостной либо искажённой геометрией координационного окружения.

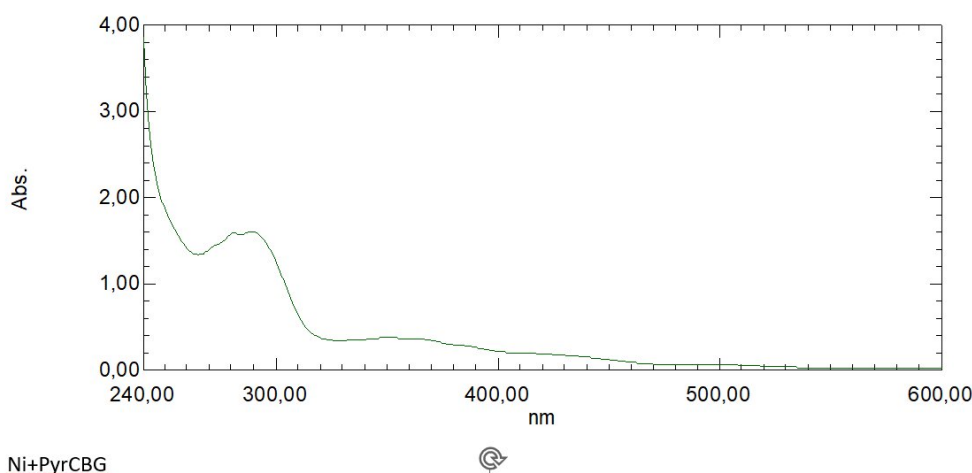


Рисунок 5. Молекулярно-абсорбционный спектр комплекса $[Ni(L)Cl] \cdot H_2O$ (этанол, 240–600 нм)

В УФ-видимом спектре комплекса Ni(II) (рис. 5) наблюдаются две характерные области поглощения. Первая полоса (около 255 нм) имеет относительно низкую интенсивность и соответствует внутримолекулярным переходам $\pi \rightarrow \pi^*$ в сопряжённой системе лиганда. Вторая, более интенсивная полоса с максимумом около 295 нм (оптическая плотность $\approx 1,6$ усл. ед.) является основной особенностью спектра. Полосы в области 250–300 нм связаны с влиянием иона Ni(II) на π -систему лиганда и с процессами переноса заряда между лигандом и металлическим центром. Постепенное снижение интенсивности в области 365–400 нм объясняется наложением переходов $\pi \rightarrow \pi^*$ и полос LMCT. В видимой области (450–600 нм) наблюдаются слабовыраженные d–d-переходы, характерные для комплексов никеля(II), что согласуется с плоскоквадратной (с возможным аксиальным искажением до октаэдрической) геометрией координационного узла. Основные спектральные данные приведены в таблице 3.

Таблица 3.

Данные молекулярно-абсорбционного спектра синтезированных соединений в растворе этанола

Соединение	λ_1 , нм	λ_2 , нм (основной максимум)	λ_3 , нм	Электронный переход
HL	~ 250	—	—	$\pi \rightarrow \pi^*$, $n \rightarrow \pi^*$
$[Cu(L)Cl] \cdot H_2O$	~ 210	340	—	$\pi \rightarrow \pi^*$, LMCT
$[Ni(L)Cl] \cdot H_2O$	~ 255	~ 295	~ 365	$\pi \rightarrow \pi^*$, LMCT, d–d

Как следует из данных таблицы 3, свободный лиганд HL характеризуется интенсивной полосой поглощения около 250 нм, соответствующей переходам $\pi \rightarrow \pi^*$ и $n \rightarrow \pi^*$. После образования комплексов наблюдаются изменения положения и интенсивности полос, что свидетельствует о перераспределении электронной плотности при координации. Для комплекса $[Cu(L)Cl] \cdot H_2O$ наиболее интенсивная полоса зарегистрирована при 340 нм и отнесена к наложению перехода $\pi \rightarrow \pi^*$ и процесса LMCT. Для комплекса $[Ni(L)Cl] \cdot H_2O$ основные полосы расположены около 255 и 295 нм, а дополнительное поглощение около 365

Низкие значения молярной электропроводности свидетельствуют о неэлектролитном характере комплексов и указывают на локализацию хлорид-иона во внутренней координационной сфере.

Полученные результаты демонстрируют высокую координационную способность синтезированного пиррольногогидразоновогоолиганда и подтверждают перспективность дальнейшего изучения его комплексов с переходными металлами с целью оценки их физико-химических и биологических свойств.

Список литературы

1. Anacona J.R., Rodriguez M. Synthesis and antimicrobial activities of metal complexes with Schiff bases derived from 2-furaldehyde and amino acids // *Transition Metal Chemistry*. – 2004. – P. 515–519.
2. Beraldo H., Gambino D. The wide pharmacological versatility of semicarbazones, thiosemicarbazones and their metal complexes // *Mini-Reviews in Medicinal Chemistry*. – 2004. – № 1. – P. 31–39.
3. Chohan Z.H., Kausar S. Synthesis, characterization and biological properties of tridentate NNO, NNS and NNN donor thiazole-derived furanyl, thiophenyl and pyrrolyl Schiff bases and their Co(II), Cu(II), Ni(II) and Zn(II) metal chelates // *Metal-Based Drugs*. – 2000. – № 1. – P. 17–22. – DOI: 10.1155/MBD.2000.17.
4. Jayaseelan P., Dengavel S., Sudhan E. Synthesis, spectroscopic characterization and biological studies of binuclear metal complexes of tridentate NNO donor Schiff base ligand // *Spectrochimica Acta Part A*. – 2012. – P. 693–702.
5. Kumar B., Devi J., Dubey A., Tufail A., Taxak B. Investigation of antituberculosis, antimicrobial and anti-inflammatory efficacies of newly synthesized transition metal(II) complexes of hydrazone ligands: structural elucidation and theoretical studies // *Scientific Reports*. – 2023. – T. 15906.
6. Lever A.B.P. *Inorganic Electronic Spectroscopy*. – 2nd ed. – Amsterdam: Elsevier, 1984. – 863 P.
7. Moreno-Narváez M.E., González-Sebastián L., Colorado-Peralta R. et al. Anticancer and antimicrobial activity of copper(II) complexes with fluorine-functionalized Schiff bases: a mini-review // *Inorganics*. – 2025. – T. 38, № 2. – DOI: 10.3390/inorganics13020038.
8. Nakamoto K. *Infrared and Raman Spectra of Inorganic and Coordination Compounds*. – 6th ed. – New York: Wiley, 2009. – 408 P.
9. Popović G.V., Filipović L. Imidazole and benzimidazole derivatives as ligands in coordination chemistry: a review // *Journal of Molecular Structure*. – 2010. – P. 18–27.
10. Ramesh R., Sivagamasundari M. Synthesis and antifungal activity of metal complexes with N-substituted indole-3-carboxaldehyde benzoylhydrazone // *Synthesis and Reactivity in Inorganic and Metal-Organic Chemistry*. – 2003. – № 10. – P. 1733–1748.
11. Sridhar S.K., Saravan M., Ramesh A. Synthesis and antifungal activities of Schiff bases of isatin derivatives // *European Journal of Medicinal Chemistry*. – 2001. – № 7. – P. 615–625.

-
12. Triviño-Rojas M.K., Jiménez-Lopez S.J., D’Vries R., Aragón-Muriel A., Polo-Cerón D. In vitro antibacterial activities and calf thymus DNA–bovine serum albumin interactions of tridentate NNO hydrazone Schiff base–metal complexes // *Inorganics*. – 2025. – Т. 213, № 7. – DOI: 10.3390/inorganics13070213.