

УДК 54-386:547-327:[546.742+546.562]

СИНТЕЗ, КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ И МОЛЕКУЛЯРНАЯ СТРУКТУРА КОМПЛЕКСОВ 1,5-НАФТАЛИНДИСУЛЬФОНАТОВ НИКЕЛЯ(II) И МЕДИ(II) С НИКОТИНАМИДОМ

© 2019 г. В. С. Сергиенко^{1, 2, *}, Т. В. Кокшарова³, М. Д. Суражская¹,
Т. С. Скакун³, О. А. Егорова⁴

¹Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, Москва, Россия

²Всероссийский институт научной и технической информации РАН, Москва, Россия

³Одесский национальный университет им. И.И. Мечникова, Одесса, Украина

⁴Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

*e-mail: sergienko@igic.ras.ru

Поступила в редакцию 24.08.2018 г.

После доработки 29.01.2019 г.

Принята к публикации 11.02.2019 г.

Синтезированы координационные соединения 1,5-нафталиндисульфонов никеля(II) и меди(II) с никотиномидом — $[\text{Ni}(\text{L})_2(\text{H}_2\text{O})_4](\text{Nds}) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (I) и $[\text{Cu}(\text{L})_2(\text{H}_2\text{O})_4](\text{Nds})$ (II) (L = амид никотиновой кислоты, $\text{NC}_5\text{H}_4\text{C}(\text{O})\text{NH}_2$, Nds^{2-} = дважды депротонированный анион 1,5-нафталиндисульфокислоты, $\text{C}_{10}\text{H}_6(\text{SO}_3)_2^{2-}$) и исследованы методами спектроскопии ИК и диффузного отражения. Методом РСА определены кристаллические структуры I и II (CIF files CCDC № 1863367 (I), 1863368 (II)). Атомы Ni и Cu в обеих структурах координированы двумя атомами азота двух монодентатных лигандов L и четырьмя атомами кислорода молекул воды. Координационный полиэдр атома Ni в I — слабо искаженный октаэдр, атома Cu в II — вытянутая вследствие эффекта Яна–Теллера тетрагональная бипирамида (4 + 2) с атомами $\text{O}(\text{H}_2\text{O})$ в аксиальных позициях. Комплексные катионы $[\text{M}(\text{L})_2(\text{H}_2\text{O})_4]^{2+}$, анионы Nds^{2-} (и кристаллизационные молекулы воды в структуре II) объединены разветвленной сеткой водородных связей.

Ключевые слова: синтез, кристаллическая структура, рентгеноструктурный анализ, комплекс никеля и меди с никотиномидом, анионы 1,5-нафталиндисульфокислоты

DOI: 10.1134/S0132344X19070077

Структура комплексов 3d-металлов с никотиномидом в значительной степени зависит от аниона соли, взятой для синтеза. Так, даже при одинаковом соотношении $\text{M} : \text{L} = 1 : 2$ комплексы меди(II) с формиат-анионом $\text{Cu}(\text{L})_2(\text{HCOO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ [1] имеют мономерное строение с монодентатными анионами и тетрагонально-пирамидальным окружением меди, с валерат-анионом $[\text{Cu}(\text{L})_2(\text{C}_4\text{H}_9\text{COO})_2]$ [2] — мономерное с бидентатными псевдо-бис-хелатными анионами и тетрагонально-бипирамидальным хелатным узлом, с фталат-анионом $[\text{Cu}(\text{L})_2(\mu\text{-Pht})(\text{H}_2\text{O})] \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$ [3] — цепочечное строение с мостиковыми анионами и координационным полиэдром в виде вытянутой тетрагональной бипирамиды. Комплексы кобальта(II) с ацетат-анионом $[\text{Co}(\text{L})_2(\text{H}_2\text{O})_4](\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ [4] и фталат-анионом $[\text{Co}(\text{L})_2(\text{H}_2\text{O})_4][\text{Pht}] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ [5] катион-анионного типа с анионами во внешней сфере, где координационный полиэдр представ-

ляет собой слегка искаженный октаэдр, с валерат-анионом $[\text{Co}_2(\text{L})_4(\text{C}_4\text{H}_9\text{COO})_4(\text{H}_2\text{O})]$ [6] — октаэдр (димер), где есть одновременно монодентатные и бидентатные анионы, с сукцинат-анионом $\text{Co}(\text{L})_2(\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_4)(\text{H}_2\text{O})_4$ [7] — цепочечная структура с мостиковыми анионами. По сравнению с карбоксилатными соединениями никотиномидные комплексы с анионами сульфокислот изучены меньше. Взаимодействием в водном растворе соответствующей соли металла, никотиномиды и нафтален-1,5-дисульфоната натрия в мольном соотношении 1 : 2 : 1 были получены соединения $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_5(\text{L})](\text{Nds}) \cdot \text{H}_2\text{O}$ [8] и $[\text{Cu}(\text{L})_2(\text{H}_2\text{O})_4]-[\text{Cu}(\text{L})_2(\text{H}_2\text{O})_2(\text{Nds})_2] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ [9] и определена их структура. Атом кобальта в соединении $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_5(\text{L})](\text{Nds}) \cdot \text{H}_2\text{O}$ координирован пятью молекулами воды и одним никотиномидным лигандом через пиридиновый атом азота, а анион находится во внешней сфере. В $[\text{Cu}(\text{L})_2(\text{H}_2\text{O})_4]-$

$[\text{Cu}(\text{L})_2(\text{H}_2\text{O})_2(\text{Nds})_2] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ комплексный анион образован двумя молекулами никотинамида, двумя молекулами воды и двумя анионами нафталин-1,5-дисульфоната, координированными к меди(II). Представляет интерес изучить продукты взаимодействия заранее синтезированных нафталин-1,5-дисульфонов 3*d*-металлов с никотинамидом.

В настоящем исследовании описан синтез, кристаллическая и молекулярная структура, спектры ИК и диффузного отражения (СДО) комплексов 1,5-нафталиндисульфонов никеля(II) и меди(II) с никотинамидом, $[\text{Ni}(\text{L})_2(\text{H}_2\text{O})_4](\text{Nds}) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (I) и $[\text{Cu}(\text{L})_2(\text{H}_2\text{O})_4](\text{Nds})$ (II).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В работе использовали никотинамид марки “х. ч.”. Исходные 1,5-нафталиндисульфонаты никеля(II) и меди(II) получали обменными реакциями нитратов никеля(II) и меди(II) с динатриевой солью 1,5-нафталиндисульфокислоты в водном растворе.

Синтез I, II. 1.22 г (0.01 моля) никотинамида растворяли в 40 мл воды, к раствору порциями при постоянном перемешивании прибавляли раствор 0.005 моля 1,5-нафталиндисульфоната никеля(II) или меди(II). Сразу выпадал осадок зеленовато-голубого цвета для никеля(II) и голубого для меди(II), которые перемешивали 15 мин и отделяли от маточного раствора с помощью фильтра Шотта, промывали водой и сушили на воздухе до постоянной массы. Выход 3.0 г (84%) для I и 2.9 г (87%) для II.

Найдено, %: C 36.78; H 4.41; N 7.71; S 8.69; Ni 8.29.
Для $\text{C}_{22}\text{H}_{32}\text{N}_4\text{O}_{15}\text{S}_2\text{Ni}$ (I)

вычислено, %: C 36.92; H 4.48; N 7.83; S 8.95; Ni 8.25.

Найдено, %: C 39.57; H 3.67; N 8.75; S 9.43; Cu 9.37.

Для $\text{C}_{22}\text{H}_{26}\text{N}_4\text{O}_{12}\text{S}_2\text{Cu}$ (II)

Вычислено, %: C 39.64; H 3.90; N 8.41; S 9.61; Cu 9.61.

Пригодные для исследования кристаллы I и II получали перекристаллизацией порошкообразных продуктов из воды.

Элементный анализ на металл и серу проводили методом атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на приборе Perkin-Elmer Optima 8000, на углерод, водород и азот — с помощью анализатора LECO Tru Spec CHN.

ИК-спектры снимали на приборе Perkin-Elmer SPECTRUM BX II FT-IR SYSTEM в области 4000–400 см^{-1} (таблетки с KBr).

СДО регистрировали на спектрофотометре Lambda-9 (Perkin-Elmer), стандарт — MgO ($\beta_{\text{MgO}} = 100\%$).

РСА I, II. Структура расшифрована прямым методом и уточнена МНК в полноматричном анизотропном приближении для всех неводородных атомов. Атомы водорода молекул воды и NH_2 -групп локализованы из разностных синтезов Фурье. Позиции остальных атомов Н рассчитаны геометрически и включены в уточнение по модели “наездника”. Кристаллографические данные и характеристики эксперимента приведены в табл. 1. Основные межатомные расстояния и валентные углы в структуре I, II приведены в табл. 2, геометрические параметры водородных связей — в табл. 3.

Координаты атомов и другие параметры структур депонированы в Кембриджском банке структурных данных (№ 1863367 (I), 1863368 (II); deposit@ccdc.cam.ac.uk или http://www.ccdc.cam.ac.uk/data_request/cif).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Структурные единицы кристаллов I, II — комплексные катионы $[\text{M}(\text{L})_2(\text{H}_2\text{O})_4]^{2+}$ ($\text{M} = \text{Ni}$ в I, Cu в II) и анионы Nds^{2-} (в структуре I — также кристаллизационные молекулы воды); L — амид никотиновой кислоты $\text{NC}_5\text{H}_4\text{C}(\text{O})\text{NH}_2$, Nds^{2-} — дважды депротонированный анион 1,5-нафталиндисульфокислоты $\text{C}_{10}\text{H}_6(\text{SO}_3)_2^{2-}$. Атомы Ni и Cu в centrosymmetric комплексных катионах обеих структур координированы двумя атомами азота двух монодентатных лигандов L и четырьмя атомами кислорода молекул воды. Координационный полиэдр атома Ni в I — слабо искаженный октаэдр, атома Cu в II — вытянутая вследствие эффекта Яна–Теллера тетрагональная бипирамида (4 + 2) с атомами $\text{O}(\text{H}_2\text{O})$ в аксиальных позициях. Длины связей: Ni–O 2.054 и 2.060, Ni–N 2.123 Å в I; Cu–O(1)_{экв.} 1.966, Cu–O(2)_{акс.} 2.405, Cu–N 2.007 Å в II. Интервалы валентных углов при атомах металлов в I: 86.95°–93.05°; в II: 87.87°–92.13°.

Комплексные катионы $[\text{M}(\text{L})_2(\text{H}_2\text{O})_4]^{2+}$, анионы Nds^{2-} (и кристаллизационные молекулы воды в структуре II) объединены разветвленной сеткой водородных связей (ВС): $\text{H}\cdots\text{O}$ 1.70–2.32, 1.81–2.50; $\text{O}\cdots\text{O}$ 2.643–2.800, 2.610–2.826; $\text{N}\cdots\text{O}$ 2.973 и 3.056, 2.753–3.190 Å; углы ОНО 146°–168°, 153°–172°; ННО 163° и 172°, 115°–160° соответственно в I; II. Упаковка структурных единиц в кристалле I и II приведена на рис. 1.

Для отнесения частот основных полос поглощения в ИК-спектрах никотинамида и полученных комплексов (табл. 4) использовали литературные данные [1–12]. Благодаря ВС молекулы свободного никотинамида в твердом состоянии ассоциированы, что приводит к изменению частот ряда полос в ИК-спектре. Это сильнее ска-

Таблица 1. Кристаллографические характеристики, данные эксперимента и уточнения структуры I и II

Параметр	Значение	
	I	II
<i>M</i>	715.33	666.14
<i>T</i> , К	293(2)	
Сингония; пр. гр.	Триклинная; $P\bar{1}$	Триклинная; $P\bar{1}$
<i>a</i> , Å	8.5346(10)	6.8642(10)
<i>b</i> , Å	9.571(2)	9.941(2)
<i>c</i> , Å	9.856(2)	11.195(3)
α , град	62.608(10)	80.73(2)
β , град	74.97(2)	75.82(2)
γ , град	68.01(2)	86.584(10)
<i>V</i> , Å ³	659.1(2)	730.8(3)
<i>Z</i> ; ρ (выч.), г/см ³	1; 1.678	1; 1.625
μ , мм ⁻¹	3.299	3.004
<i>F</i> (000)	343	372
Размер кристалла, мм	0.25 × 0.15 × 0.07	0.15 × 0.15 × 0.08
Дифрактометр	CAD4 Enraf-Nonius	
Тип сканирования	ω	
Излучение; λ , Å	CuK α ; 1.5418	
$\theta_{\min}$ – $\theta_{\max}$, град	4.9–64.9	4.1–64.9
Интервалы индексов:	–10 ≤ <i>h</i> ≤ 10, –11 ≤ <i>k</i> ≤ 11, –11 ≤ <i>l</i> ≤ 11	–8 ≤ <i>h</i> ≤ 8, –11 ≤ <i>k</i> ≤ 11, –13 ≤ <i>l</i> ≤ 13
Число отражений:		
измеренных	4207	3763
независимых	2174	2076
<i>R</i> _{int}	0.024	0.017
Комплектность по θ , %	97.0	83.9
<i>T</i> _{max} , <i>T</i> _{min}	0.794, 0.580	0.786, 0.669
Метод уточнения	Полноматричный МНК по <i>F</i> ²	
Число уточняемых параметров	204	230
GOOF (<i>F</i> ²)	1.072	1.089
<i>R</i> (<i>I</i> > 2 σ (<i>I</i>))	<i>R</i> ₁ = 0.042, <i>wR</i> ₂ = 0.115	<i>R</i> ₁ = 0.0588, <i>wR</i> ₂ = 0.1596
<i>R</i> (по всем отражениям)	<i>R</i> ₁ = 0.046, <i>wR</i> ₂ = 0.119	<i>R</i> ₁ = 0.0631, <i>wR</i> ₂ = 0.1648
Остаточная электронная плотность (max/min), е/Å ³	0.349/–0.551	0.358/–0.682

зывается на спектрах кристаллических амидов, тогда как для спектров их комплексов с металлами в твердом виде при отсутствии координации через азот аминогруппы это влияние несущественно, что подтверждено многочисленными спектральными и рентгеноструктурными данными [12]. Для более корректной интерпретации сдвигов полос поглощения никотинамида в результате комплексообразования были использо-

ваны его ИК-спектры (таблетки с KBr и суспензии в вазелиновом масле).

В области поглощения, характерного для колебаний $\nu(\text{NH})$, в ИК-спектре комплекса меди(II) по сравнению со спектром комплекса никеля(II) присутствует большее число полос, однако их интенсивность несколько ниже. Это можно объяснить наличием в комплексе никеля(II)

Таблица 2. Основные длины связей (Å) и валентные углы (град) в структуре соединений I и II

Связь	d, Å	
	I (M = Ni)	II (M = Cu)
M(1)–O(1)	2.060(3)	1.966(3)
M(1)–N(1)	2.123(4)	2.007(2)
M(1)–O(2)	2.054(4)	2.405(3)
S(1)–O(6)	1.450(3)	1.437(3)
S(1)–O(5)	1.442(3)	1.444(3)
S(1)–O(4)	1.465(3)	1.446(3)
S(1)–C(7)	1.769(5)	1.776(3)
N(1)–C(1)	1.347(5)	1.337(4)
N(1)–C(5)	1.335(6)	1.339(4)
N(2)–C(6)	1.331(6)	1.339(4)
C(6)–O(3)	1.227(6)	1.309(4)
Угол	ω, град	ω, град
O(1)Cu(1)N(1)	90.72(14)	90.85(11)
N(1)Cu(1)O(2)	86.95(15)	87.87(10)
O(1)Cu(1)O(2)	88.45(16)	92.05(12)

внешнесферной воды, участие которой в образовании ВС влечет за собой уширение полос [13]. По этой причине в спектре комплекса никеля(II) также невозможно различить полосы, характерные для связей С–Н ароматических колец. Частоты $\delta(\text{NH}_2)$ в спектрах комплексов имеют промежуточные значения по сравнению со спектрами лиганда в таблетках с КВг и в вазелиновом масле. Описанное поведение полос с участием связей N–H соответствует отсутствию связи через аминный азот.

Частота $\nu(\text{C}=\text{O})$ (“амид I”) почти не изменяется по сравнению со спектром исходного никотинамида в спектрах обоих синтезированных комплексов, что соответствует отсутствию связи через карбонильный кислород. Полосы поглощения пиридинового кольца ведут себя по-разному. Полоса около 1580 см^{-1} почти не сдвигается, но несколько уменьшается по интенсивности для обоих комплексов. А полоса в области $1020\text{--}1030\text{ см}^{-1}$, напротив, увеличивает свою интенсивность, особенно для комплекса меди(II), для которого происходит также ее высокочастотный сдвиг по сравнению со свободным лигандом на 24 см^{-1} . Полоса около 965 см^{-1} для комплекса никеля(II) не сдвигается, но уменьшается по интенсивности, а для комплекса меди(II) понижается на 24 см^{-1} без из-

Таблица 3. Геометрические параметры водородных связей (Å, град) для соединений I и II*

D–H⋯A	Расстояние, Å			Угол DHA, град
	D–H	H⋯A	D⋯A	
I				
O(1)–H(1 <i>W</i>)⋯O(4)	1.01(8)	1.81(8)	2.802(5)	168(6)
O(7)–H(7 <i>W</i>)⋯O(6)	1.10(11)	1.81(10)	2.797(6)	147(8)
O(7)–H(7 <i>AW</i>)⋯O(3)	0.68(11)	2.32(11)	2.907(7)	146(12)
O(2)–H(2 <i>W</i>)⋯O(3) ^{#1}	0.96(8)	1.70(8)	2.643(5)	167(6)
O(2)–H(2 <i>AW</i>)⋯O(4) ^{#1}	0.64(5)	2.18(5)	2.764(5)	152(6)
N(2)–H(2 <i>A</i>)⋯O(7) ^{#2}	0.86	2.12	2.973(6)	172
N(2)–H(2 <i>B</i>)⋯O(6) ^{#3}	0.86	2.22	3.053(6)	163
O(1)–H(1 <i>AW</i>)⋯O(7) ^{#4}	0.75(7)	2.07(7)	2.800(6)	166(7)
II				
O(2)–H(2 <i>O</i>)⋯O(4)	0.81(5)	2.01(5)	2.753(4)	153(4)
N(2)–H(2 <i>A</i>)⋯O(3) ^{#3}	0.86	2.13	2.753(4)	160
N(2)–H(2 <i>B</i>)⋯O(4) ^{#2}	0.86	2.50	3.190(4)	138
N(2)–H(2 <i>B</i>)⋯O(5) ^{#1}	0.86	2.61	3.083(4)	115
O(1)–H(1 <i>O</i>)⋯O(5) ^{#4}	0.69(5)	2.01(5)	2.679(4)	164(5)
O(1)–H(1 <i>AO</i>)⋯O(3) ^{#5}	0.82(5)	1.81(5)	2.610(3)	165(4)
O(2)–H(2 <i>AO</i>)⋯O(6) ^{#6}	0.84(7)	1.99(7)	2.826(4)	172(6)

* Симметрические преобразования эквивалентных атомов: ^{#1} $-x, -y+1, -z+1$; ^{#2} $-x-1, -y+2, -z+1$; ^{#3} $-x, -y+2, -z+1$; ^{#4} $x+1, y, z$ (I). ^{#1} $-x, -y, -z$; ^{#2} $-x+1, -y-1, -z-1$; ^{#3} $-x+1, -y, -z+1$; ^{#4} $-x, -y, -z-1$; ^{#5} $-x+1, -y, -z$; ^{#6} $-x, -y-1, -z$ (II).

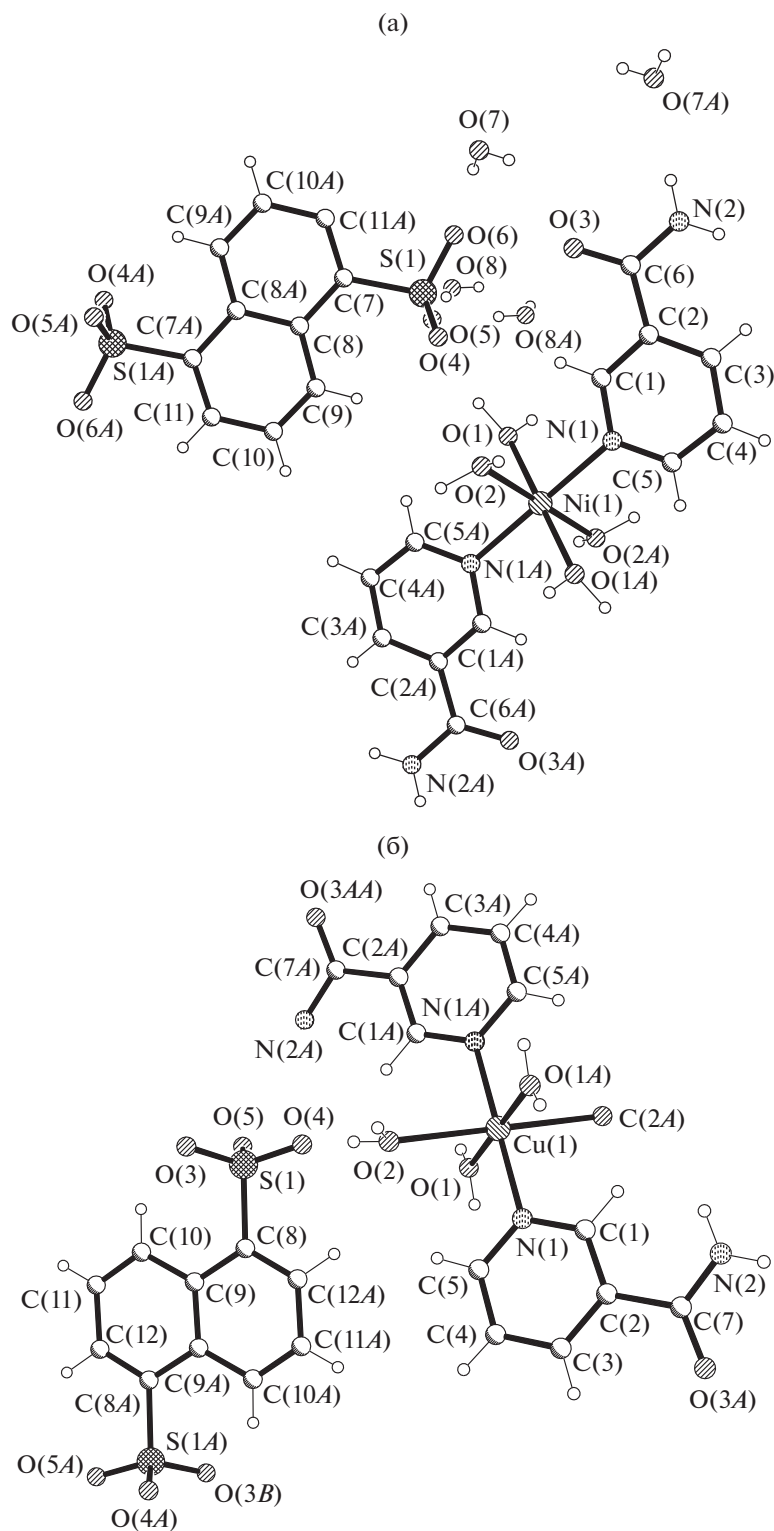


Рис. 1. Упаковка структурных единиц в кристалле I (а) и II (б).

менения интенсивности. Подобные изменения соотношений частот и интенсивностей полос, связанных с колебаниями пиридинового кольца, могут свидетельствовать об изменении его сим-

метрии, происходящей в результате координации к металлам.

Отнесение полос поглощения аниона 1,5-наф- талиндисульфокислоты проведено с учетом лите-

Таблица 4. Волновые числа (частоты, см^{-1}) максимумов полос поглощения в ИК-спектрах никотинамида и комплексов I, II

Отнесение	L (таблетки с KBr)	L (суспензия в вазелиновом масле)	$[\text{Ni}(\text{L})_2(\text{H}_2\text{O})_4](\text{Nds}) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (I)	$[\text{Cu}(\text{L})_2(\text{H}_2\text{O})_4](\text{Nds})$ (II)
$\nu(\text{OH})$			3442 пл	3576 ср, 3418 ср
$\nu(\text{NH})$	3376 с, 3300 ср, 3170 с	3350 с, 3145 с	3367 с, 3224 с	3325 ср, 3269 сл, 3216 ср, 3192 сл
$\nu(\text{C}-\text{H})_{\text{аром.}}$	3090 сл, 3035 сл, 2970 сл, 2960 сл, 2910 сл, 2890 сл, 2820 сл			2928 сл
$\nu(\text{C}=\text{O})$	1687 с	1665 с	1666 оч.с	1663 оч.с
$\delta(\text{NH}_2)$	1627 ср	1610 ср	1619 ср	1623 ср
Полосы нафталиновых колец			1619 с, 1503 ср, 1430 с, 799 сл, 789 сл, 650 ср, 615 с, 568 сл, 520 ср	1623 с, 1500 ср, 1444 ср, 794 сл, 769 с, 656 ср, 613 с, 572 ср, 530 ср,
ν пиридинового кольца	1580 с, 1030 ср, 1005 ср	1585 с, 1560 ср, 1020 ср, 965 ср	1581 ср, 1028 с, 966 сл	1578 ср, 1044 оч.с, 941 ср
$\nu_{\text{ас}}(\text{SO}_3^-)$			1236 пл, 1214 оч.с, 1190 оч.с, 1159 с	1238 ср, 1205 оч.с, 1161 с
$\nu_{\text{с}}(\text{SO}_3^-)$			1040 оч.с	1044 оч.с

ратурных данных [14–19]. Для валентных колебаний связей С–Н в спектре комплекса Cu(II) имеется одна слабая полоса при 2928 см^{-1} . Как упоминалось выше, из-за наложения полос поглощения воды для комплекса Ni(II) эта полоса не идентифицируется. Для колебаний нафталиновых колец проявляется довольно большое число полос, из которых наиболее интенсивные около 615 см^{-1} . Для группы SO_3^- имеется ряд полос: $\nu_{\text{с}}(\text{SO}_3^-)$ соответствуют очень сильные полосы около 1040 см^{-1} , $\nu_{\text{ас}}(\text{SO}_3^-)$ – одиночные полосы около 1240 и 1160 см^{-1} . В области около 1200 см^{-1} имеются весьма интенсивные полосы: одиночная для комплекса I и дублет для II. Именно полосы поглощения группы SO_3^- около 1200 и 1040 см^{-1} наиболее интенсивные в ИК-спектрах обоих комплексов.

Таким образом, данные колебательной спектроскопии согласуются с результатами РСА.

Данные СДО для комплексов (см^{-1}): $15450 ({}^3A_{2g} \rightarrow I_{1g})$, $9850 ({}^3A_{2g} \rightarrow I_{2g})$ и 1455 для I и II, соответственно, согласуются с их октаэдрическим строением [20].

БЛАГОДАРНОСТИ

РСА проводили в ЦКП ФМИ ИОНХ РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анцышкина А.С., Порай-Кошиц М.А., Гандлович М. и др. // Коорд. химия. 1979. Т. 5. № 11. С. 1716.
2. Анцышкина А.С., Садиков Г.Г., Кокишарова Т.В. и др. // Журн. неорган. химии. 2006. Т. 51. № 10. С. 1671 (Antsyshkina A.S., Sadikov G.G., Koksharova T.V. et al. // Russ. J. Inorg. Chem. 2006. V. 51. № 10. P. 1571. doi 10.1134/S003602360610010X).
3. Садиков Г.Г., Кокишарова Т.В., Анцышкина А.С. и др. // Кристаллография. 2008. Т. 53. № 4. С. 668 (Sadikov G.G., Koksharova T.V., Antsyshkina A.S. // Cryst. Rep. 2008. V. 53. № 4. P. 631. doi 10.1134/S1063774508040135).
4. Мацаберидзе М.М., Бацанов А.С., Герр П.Г. и др. // Коорд. химия. 1985. Т. 11. № 3. С. 411.
5. Анцышкина А.С., Садиков Г.Г., Кокишарова Т.В. и др. // Журн. неорган. химии. 2009. Т. 54. № 8. С. 1379 (Antsyshkina A.S., Sadikov G.G., Koksharova T.V. et al. // Russ. J. Inorg. Chem. 2009. V. 54. № 8. P. 1310. doi 10.1134/S003602360908021X).
6. Садиков Г.Г., Анцышкина А.С., Кокишарова Т.В. и др. // Кристаллография. 2007. Т. 52. № 5. С. 847 (Sadikov G.G., Antsyshkina A.S., Koksharova T.V. et al. // Cryst. Rep. 2007. V. 52. № 5. P. 819. doi 10.1134/S1063774507050112).
7. Азизов Т.А., Шарипов Х.Т., Парпиев Н.А. и др. // Журн. неорган. химии. 1991. Т. 36. № 7. С. 1722.
8. Zhaoxun Lian, Ning Zhao, Ping Liu // Z. Kristallogr. NCS. 2010. V. 225. № 2. P. 371.
9. Chen Cai-Hong, Cai Ji-Wen, Feng Xiao-Long, Chen Xiao-Ming // Chinese J. Inorg. Chem. 2002. V. 18. № 7. P. 659.
10. Шабилалов А.А., Борисова Н.Н., Азизов М.А. // Коорд. химия. 1987. Т. 13. № 9. С. 1227.

11. Цивадзе А.Ю., Цинцадзе Г.В., Харитонов Ю.Я., Гвердцители Л.В. // Журн. неорган. химии. 1978. Т. 23. № 2. С. 447.
12. Цинцадзе Г.В., Шавтваладзе М.В., Цивадзе А.Ю. // Коорд. химия. 1990. Т. 16. № 12. С. 1666.
13. Кукушкин Ю. Н. Химия координационных соединений. М.: Высш. школа, 1985. 455 с.
14. Jiwen Cai, Cai-Hong Chen, Cheng-Zhu Liao et al. // Dalton Trans. 2001. № 7. P. 1137.
15. Jiwen Cai, Cai-Hong Chen, Xiao-Long Feng et al. // Dalton Trans. 2001. № 16. P. 2370.
16. Perles J., Snejko N, Iglesias M. et al. // J. Mater. Chem. 2009. V. 19. № 36. P. 6504.
17. Di Sun, Na Zhang, Zhan-Hua Wei et al. // J. Mol. Struct. 2010. V. 981. № 1–3. P. 80.
18. Di Sun, Fu-Jing Liu, Hong-Jun Hao et al. // CrystEng-Comm. 2011. V. 13. № 19. P. 5661.
19. Wang Shuang, Zhang Renchun, Wang Junjie et al. // Chem. Res. Chinese Univ. 2014. V. 30. № 1. P. 9.
20. Ливер Э. Электронная спектроскопия неорганических соединений. Т. 2. М.: Мир, 1987.