

ISSN 1999-4125 (Print)

Научная статья

УДК 541.49

DOI: 10.26730/1999-4125-2023-1-71-78

СИНТЕЗ, СТРУКТУРА И СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГАЛОГЕНИДНЫХ КОМПЛЕКСОВ МЕДИ(II) И КОБАЛЬТА(II) С 2-АМИНО-3-БРОМ-5-МЕТИЛПИРИДИНОМ

Проценко Александра Николаевна, Шуляк Дарья Андреевна,
Проценко Александр Евгеньевич, Шакирова Ольга Григорьевна

Комсомольский-на-Амуре государственный университет

*для корреспонденции: Protsenko.chem@gmail.com



Информация о статье

Поступила:

08 декабря 2022 г.

Одобрена после

рецензирования:

15 января 2023 г.

Принята к публикации:

28 февраля 2023 г.

Опубликована:

30 марта 2023 г.

Ключевые слова:

комплекс, медь(II),
кобальт(II), 2-амино-3-бром-5-
метилпиридин, РСА, ИК-
спектроскопия, термические
свойства.

Аннотация.

Разработаны методики синтеза новых тетрагалогенидных комплексов меди(II) и кобальта(II) с 2-амино-3-бром-5-метилпиридином (L) состава $(HL)_2[CuCl_4] \cdot 2H_2O$ (I), $(HL)_2[CoCl_4] \cdot 2H_2O$ (II), $(HL)_2[CuBr_4]$ (III). Монокристаллы, полученные из раствора комплекса III, в отличие от поликристаллической фазы содержат две дополнительные молекулы воды – $(HL)_2[CuBr_4] \cdot 2H_2O$ (III·2H₂O). Поликристаллические соединения исследованы современными физико-химическими методами анализа (инфракрасная (ИК) спектроскопия, дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК) и термогравиметрия (ТГ)). Структуры монокристаллических комплексов определены методом рентгеноструктурного анализа (РСА). Показано, что во всех координационных соединениях процесс протонирования органического соединения прошел по атому азота гетероцикла с образованием катиона пиридиния. Кристаллические структуры соединений I, II, III·2H₂O имеют подобное строение – наблюдается образование длинной полимерной цепочки, состоящей из чередующихся тетраэдрических анионов $[MHal_4]^{2-}$ и молекул растворителя. Стабильность кристаллической структуры повышается за счет образования плотной сети водородных связей между атомами галогена неорганического аниона и водородом аминогруппы органического основания. По данным синхронного термического анализа удаление двух молекул воды наблюдается до 130 °С, а безводные соединения термостабильны до 140-180 °С. Комплексы оказывают каталитическое воздействие на процессы изомеризации углеводов при низких температурах.

Для цитирования: Проценко А.Н., Шуляк Д.А., Проценко А.Е., Шакирова О.Г. Синтез, структура и спектральные характеристики галогенидных комплексов меди(II) и кобальта(II) с 2-амино-3-бром-5-метилпиридином // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2023. № 1 (155). С. 71-78. doi: 10.26730/1999-4125-2023-1-71-78

Координационные соединения Cu(II) и Co(II) галогенидного типа $(HL)_n[MHal_4]$ с азотсодержащими гетероциклическими катионами – производными азолов – за счет разнообразия строения координационного полиэдра и кристаллической упаковки молекулы в целом имеют широкий ряд физико-химических свойств: оптические, термохромные, биологические, магнитные и каталитические. Это дает возможность их практического применения в самых разнообразных сферах деятельности [1-8]. Синтез новых комплексов Cu(II)

и Co(II) данного типа, их идентификация современными инструментальными методами анализа, а также определение их свойств является весьма актуальной задачей [9-15].

В данной работе описывается синтез, структура и свойства комплексов меди(II) с 2-амино-3-бром-5-метилпиридином (L) (Рис. 1) состава $(HL)_2[CuCl_4] \cdot 2H_2O$ (I), $(HL)_2[CoCl_4] \cdot 2H_2O$ (II), $(HL)_2[CuBr_4]$ (III) и $(HL)_2[CuBr_4] \cdot 2H_2O$ (III·2H₂O).

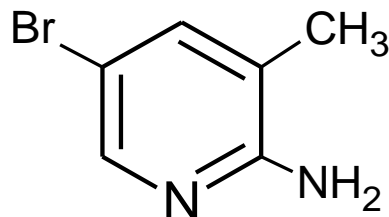


Рис. 1. Структурная формула 2-амино-5-бром-3-метилпиридина

Fig. 1. The structural formula of 2-amino-5-bromo-3-methylpyridine

Элементный анализ на С, Н, N всех соединений выполнен в лаборатории микроанализа ИХХ СО РАН на приборе EURO EA 3000 фирмы Euro Vector (Италия) (ИХХ СО РАН, г. Новосибирск).

Рентгеноструктурный анализ (РСА) комплекса проведен по стандартной методике на автоматическом четырехкружном дифрактометре Bruker-Nonius X8 Apex, оснащенный двухкоординатным CCD детектором, при температуре 150(2) К с использованием излучения молибденового анода ($\lambda=0,71073 \text{ \AA}$) и графитового монохроматора (ИХХ СО РАН, г. Новосибирск).

ИК-спектры поглощения соединений получены авторами на FTIR-спектрометре IRAffinity-1S (Shimadzu) в интервале от 400 до 4000 cm^{-1} в KBr (ФГБОУ ВО «КНАГУ», г. Комсомольск-на-Амуре).

Термический анализ образцов проводили на приборе STA 409 PC Luxx NETZSCH, оснащенный печью из карбида кремния, работающей в диапазоне температур от комнатной до 1550°C. Прибор позволяет одновременно проводить исследования методами термогравиметрии (ТГ) и дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК). Исследование образцов проводили в воздушной среде при нагреве со скоростью 10 °C/мин до 350°C в алюминиевых тиглях (ФГБОУ ВО «КНАГУ», г. Комсомольск-на-Амуре).

Синтез комплексов I-II. Навеску 2-амино-3-бром-5-метилпиридина (0,00094 моль; 0,1750 г) растворили в 10 мл этанола. К полученному раствору добавили растворенный в 3 мл $HCl_{(конц)}$ хлорид меди(II) или кобальта(II) (0,0005 моль; 0,085 г или 0,1185 г) соответственно. После смешивания полученные растворы зеленого и ярко-синего цветов оставляли на кристаллизацию при комнатной температуре в течение нескольких недель. В результате процесса кристаллизации был получен монокристалл желтого или сине-голубого цветов соответственно.

Синтез комплекса III. Навеску 2-амино-3-бром-5-метилпиридина (0,00094 моль; 0,1750 г.) растворили в 10 мл этанола и добавили растворенный в 5 мл $HBr_{(конц)}$ оксид меди(II) (0,0005 моль; 0,040 г.). После перемешивания компонентов раствор окрасился в бордово-фиолетовый цвет. Процесс кристаллизации проходил в течение нескольких недель. По прошествии времени выпали кристаллы бордово-фиолетового цвета.

Элементный анализ представлен в Таблице 1.

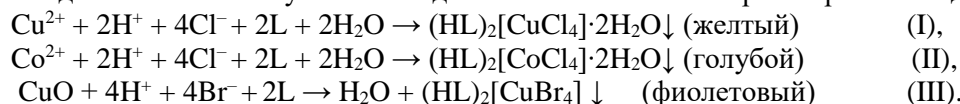
Таблица 1. Данные элементного анализа координационных соединений I-III

Table 1. Elemental analysis data for coordination compounds I-III

Соединение	Формула	Найдено / Вычислено, %					
		C		H		N	
$(HL)_2[CuCl_4] \cdot 2H_2O$	$C_{12}H_{20}Cl_4CuN_4Br_2O_2$	23.5	23.3	3.4	3.3	9.2	9.1
$(HL)_2[CoCl_4] \cdot 2H_2O$	$C_{12}H_{20}Cl_4CoN_4Br_2O_2$	23.6	23.5	3.2	3.2	9.1	9.1
$(HL)_2[CuBr_4]$	$C_{12}H_{16}CuN_4Br_6$	19.0	19.0	2.1	2.1	7.4	7.4

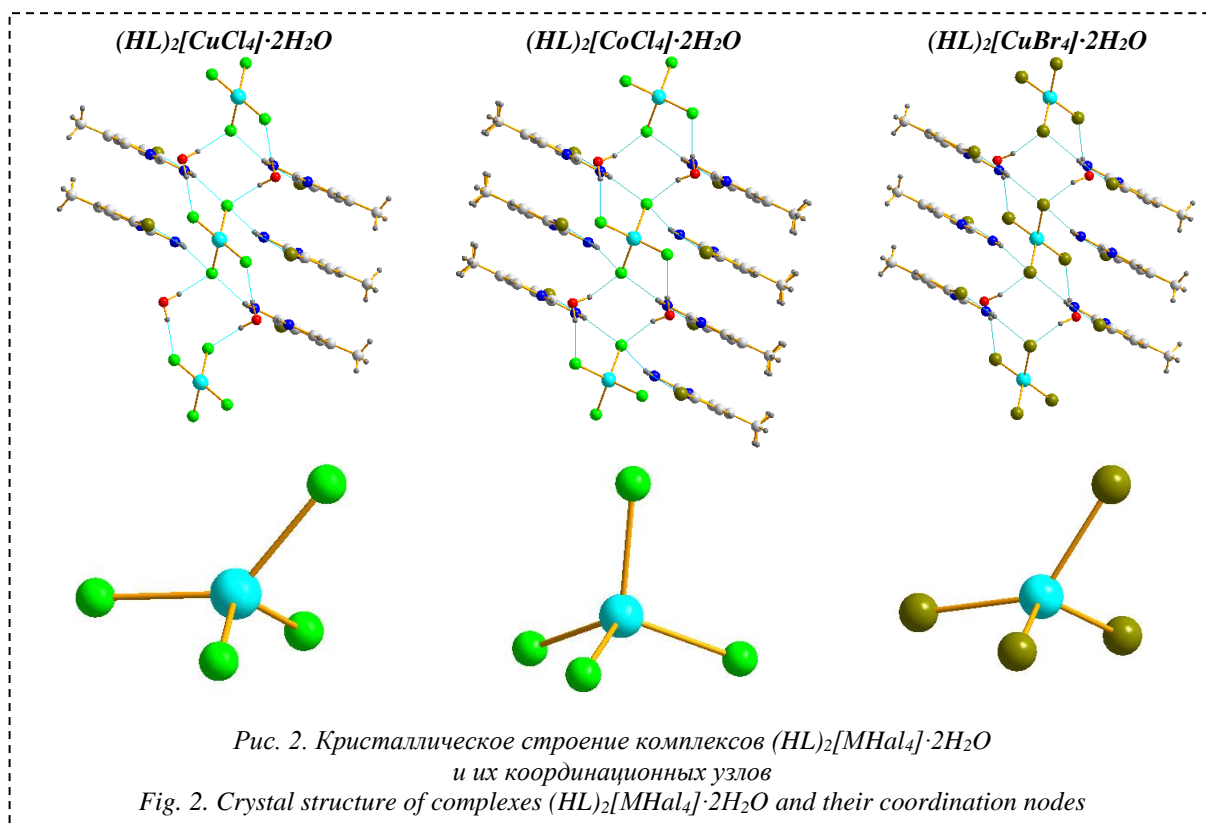
Результаты и их обсуждение

Соединения были получены из подкисленных этанольных растворов по следующим схемам:



Соединения растворимы в этаноле, ацетоне, воде и кислотах, но не растворяются в углеводородах (гексане, октане) и сложных эфирах.

Монокристаллы соединений, пригодные для рентгеноструктурного анализа (РСА), были получены в результате медленной кристаллизации из маточного раствора, при этом оказалось, что монокристаллы, полученные из раствора комплекса III, в отличие от поликристаллической фазы содержат две дополнительные молекулы воды. К тому же монокристаллы полученных соединений практически изоструктурны друг другу (Рис. 2).



По данным РСА во всех трех комплексах процесс протонирования прошел по атому азота пиридинового кольца с образованием катиона пиридиния. На один анион [MHal₄]²⁻ приходится два органических катиона L⁺, при этом две молекулы кристаллизационной воды занимают мостиковое положение между соседними неорганическими ионами и образуют водородные связи O-H...Cl с ними. В результате чего образуется 1D-мерная цепочка, состоящая из чередующихся анионов [MHal₄]²⁻ и молекул растворителя. Стабильность структуры также поддерживается плотной сетью водородных связей между атомами галогена неорганического аниона и водородом боковой аминогруппы. Во всех случаях анион [MHal₄]²⁻ является тетраэдром с валентными углами Hal-M-Hal: 133,8; 99,6; 97,26; 98,8° для комплекса I; 115,3; 107,7; 106,2; 104,5° для комплекса II; 131,7; 100,6; 97,3; 99,7° для комплекса III·2H₂O соответственно.

В ИК-спектре органического основания при 3460, 3290, 3260 см⁻¹ наблюдаются полосы колебаний ν(N-H) аминогруппы. В этой же области на спектрах комплексов I-III полосы смещены относительно полос органического соединения (в частности, для I – 3460, 3310, 3200 см⁻¹), что может указывать на образование сети водородных связей между аминогруппой и анионом [MHal₄]²⁻. На это же указывает и сильное смещение полос колебаний пиридинового кольца соединений в высокочастотную область и расщепление полос колебаний ν(C_{aromatic}-H) в спектрах полученных комплексов по сравнению со спектром органического основания. Кроме того, в спектрах I, II присутствует полоса 3400 см⁻¹ колебаний ν(O-H) кристаллизационных молекул воды (Табл. 2).

По данным синхронного термического анализа для комплекса I в диапазоне до 130°C наблюдается ступенчатое падение массы на кривой ТГ и дуплет эндотермических пиков на кривой ДСК, что соответствует удалению двух молекул воды. При 182,9°C безводное

Таблица 2. Данные ИК-спектроскопии для органического основания, комплексов I-III
 Table 2. IR spectroscopy data for organic base, complexes I-III

Отнесение	L	I	II	III
$\nu(\text{NH}_2)$	3460	3460	3480	3460
		3400	3400	3380
	3290	3310	3310	3280
$\nu(\text{C}_{\text{arene}}-\text{H})$	3260	3200	3200	3200
	3140	3090	3090	3160
$\nu(\text{C}_{\text{sp}^3}-\text{H})$	2950	3030	3030	3070
	2900	2900	2900	2980
R(кольца)	1480	2900	2900	2920
	1460	1680	1680	1660
		1620	1620	1620
$\delta(\text{C}_{\text{arene}}-\text{H})$		1460	1460	1460
	1000	1010	1010	1000
	900	890	890	900

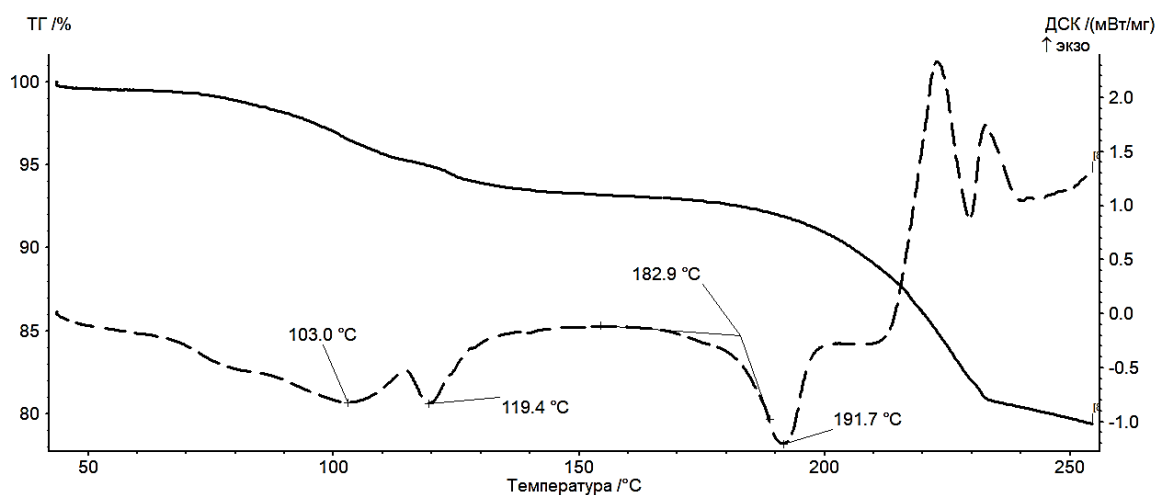


Рис. 3. Термограмма комплекса I
 Fig. 3. Thermogram of complex I

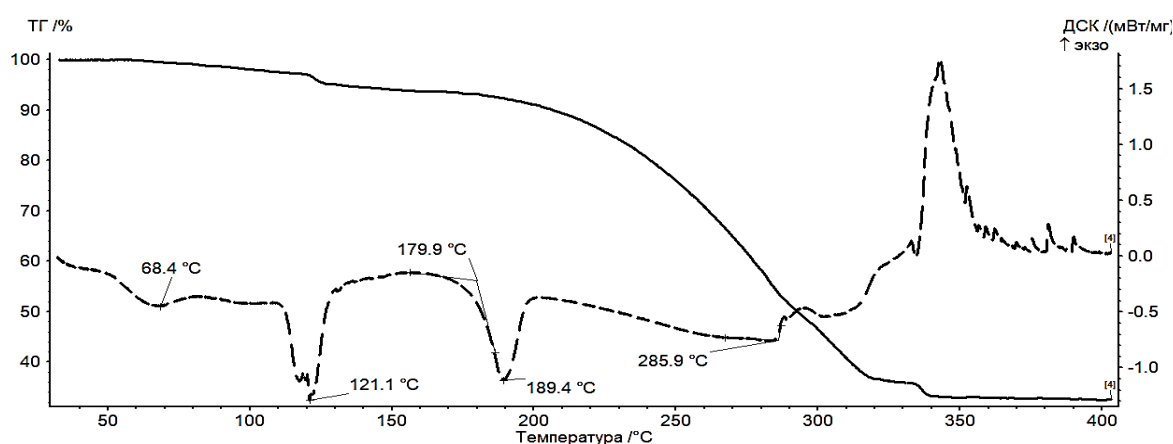


Рис. 4. Термограмма комплекса II
 Fig. 4. Thermogram of complex II

соединение плавится, энтальпия процесса составила 36,0 кДж/моль. При 214°C наблюдается начало экзотермического процесса, соответствующего термодеструктивным процессам (Рис. 3).

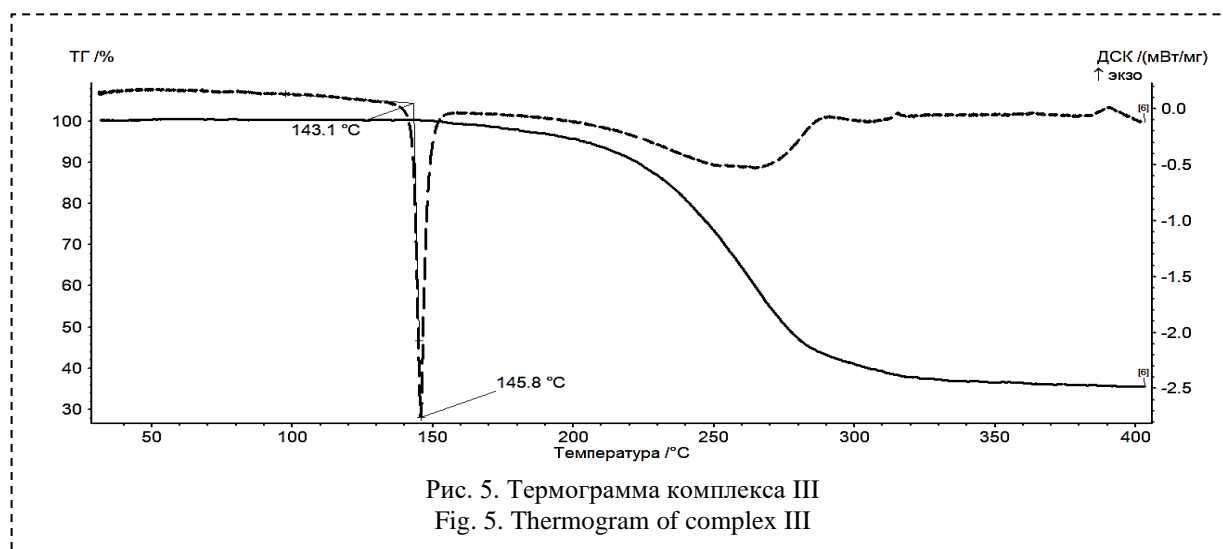


Рис. 5. Термограмма комплекса III
Fig. 5. Thermogram of complex III

В соединении II по данным элементного и рентгеноструктурного анализа присутствуют две молекулы кристаллизованной воды, что также подтверждается наличием двух эндотермических пиков на кривой ДСК, соответствующих потере 6,33% массы по данным термогравиметрического анализа. Начало плавления безводного комплекса наблюдается при 179,9°C. При дальнейшем нагревании происходит разрушение соединения, о чем свидетельствует потеря массы (Рис. 4).

Соединение III начинает плавиться при 143,1°C, о чем свидетельствует эндотермический пик с площадью 61,59 Дж/г, отвечающий энтальпии процесса 46,8 кДж/моль. Падение массы на кривой ТГ при нагревании образца выше 165°C свидетельствует о начале деструктивных процессов (Рис. 5).

Первые проведенные нами эксперименты показывают, что процесс изомеризации углеводородов C_{7+} (при использовании в течение 1-3 часов в качестве гетерогенного катализатора указанных комплексов) приводит к существенному снижению температуры процесса (по сравнению с промышленными условиями). Это позволяет надеяться на положительный экономический эффект в случае применения данных комплексов как новых каталитических систем в нефтепереработке.

Таким образом были синтезированы тетрагалогенидные комплексы меди(II) и кобальта(II) с 2-амино-3-бром-5-метилпиридином в кислой среде состава $(HL)_2[CuCl_4] \cdot 2H_2O$ (I), $(HL)_2[CoCl_4] \cdot 2H_2O$ (II) и $(HL)_2[CuBr_4]$ (III). Показано, что монокристаллическая фаза соединения III содержит две дополнительные молекулы воды. Методом РСА доказана изоструктурность полученных соединений и показано, что координационный полиэдр $[MHal_4]^{2-}$ в изученных комплексах является тетраэдром (в разной степени искажения). Молекулы кристаллизационного растворителя проявляют структурообразующую роль – они встраиваются по принципу мостика между соседними неорганическими анионами $[MHal_4]^{2-}$ с образованием 1D-полимерной цепи. К тому же органические катионы стабилизируют кристаллическую структуру комплексов за счет возникающих между аминогруппой и галогеном неорганического аниона водородных связей. Проведенное ИК-спектроскопическое исследование новых комплексов позволило в целом оценить влияние возникших взаимодействий на колебания связей в органическом катионе. Изучены термические характеристики новых соединений, показано, что гидраты стабильны до 130°C, а безводные комплексы термически стабильны до 165-180°C.

Первые обнадеживающие результаты заставляют нас продолжать исследовать полученные соединения в качестве катализаторов процессов нефтепереработки (в реакциях низкотемпературной изомеризации и дегидроциклизации углеводородов).

Исследования выполняются в рамках гранта Министерства образования и науки Хабаровского края ХК 84С/2022. Авторы признательны за оказанную финансовую поддержку.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бушуев М. Б., Кривопапов В. П., Семиколонова Н. В., Пересыпкина Е. В., Вировец А. В., Шелудякова Л. А., Лавренова Л. Г., Захаров В. А., Ларионов С. В. Координационная химия. 2006. Т. 32. N. 3. С. 208-216.
2. Shichong Y., Xiaoyun C., Yanwei W., Yongbing C. Drug Design. Development and Therapy. 2014. С. 383-370.
3. Лидер Е. В., Елохина В. Н., Лавренова Л. Г., Шведенков Ю. Г., Шелудякова Л. А., Пересыпкина Е. В. Координационная химия. 2007. Т. 33. N. 1. С. 39-46.
4. Ясакова Е. А., Ситдикова А. В., Ахметов А. Ф. Нефтегазовое дело. 2010. Т. 1.
5. Бурдакова Е. С., Петров В. В. Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. 2017. N. 11.
6. Titi A., Warad I., Tillard M., Touzani R., Messali M., El Kodadi M., Eddike D., Zarrouk A. Journal of Molecular Structure. 2020. Т. 1217. С. 128422.
7. Silva A. C., Fernández T. L., Carvalho N. M., Herbst M. H., Bordinhão J., Horn Jr. A., Antunes O. A. C. Applied Catalysis A: General. 2007. Т. 317. N. 2. С. 154-160.
8. Jia X., Peng P., Cui J., Xin N., Huang X. Asian Journal of Organic Chemistry. 2018. Т. 7. N. 6. С. 1093-1100.
9. Olshin P. K., Myasnikova O. S., Kashina M. V., Gorbunov A. O., Bogachev N. A., Kompanets V. O., Mereshchenko A. S. Chemical Physics. 2018. Т. 503. С. 14-19.
10. Проценко А. Н., Шакирова О. Г., Куратьева Н. В. Бултеровские сообщения. 2018. Т. 53. N. 1. С. 130-136.
11. Sadok I. B. H., Hajlaoui F., Karoui K., Audebrand N., Roisnel T., Zouari N. Journal of Molecular Structure. 2019. Т. 1186. С. 118-126.
12. Shakirova O., Protsenko A., Protsenko A., Kuratieva N., Fowles A., Turnbull M. Inorganica Chimica Acta. 2020. Т. 500. С. 119246.
13. Dgachi S., Rahmouni F., Soran A., Saoudi M., Nemes G., Naili H. Journal of Molecular Structure. 2021. Т. 1244. С. 130996.
14. Protsenko A. N., Shakirova O. G., Protsenko A. E., Kuratieva N. V., Fowles S. M., Turnbull M. M. Journal of Molecular Structure. 2021. Т. 1240. С. 130561.
15. Drissi N., Dakhlaoui I., Karoui K., Zaghrioui M., Jomni F. Applied Organometallic Chemistry. 2022. Т. 36. N. 5. С. e6621.

© 2022 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Проценко Александра Николаевна, канд. хим. наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет, (681013, Россия, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27), e-mail: Protsenko.chem@gmail.com

Шуляк Дарья Андреевна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет, (681013, Россия, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27), e-mail: daria_shul@mail.ru

Проценко Александр Евгеньевич, канд. техн. наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет, (681013, Россия, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27), e-mail: Protsenko.ae@yandex.ru

Шакирова Ольга Григорьевна, доктор хим. наук, профессор, Комсомольский-на-Амуре государственный университет, (681013, Россия, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27), e-mail: Shakirova_Olga@mail.ru

Заявленный вклад авторов:

Проценко Александра Николаевна – постановка исследовательской задачи, обзор соответствующей литературы, синтез и анализ данных, выводы, написание текста

Шуляк Дарья Андреевна – синтез комплексов, проведение эксперимента по каталитической активности

Проценко Александр Евгеньевич – проведение термических методов анализа (ТГ, ДСК)

Шакирова Ольга Григорьевна – научный менеджмент, идентификация комплексов, выводы, написание текста

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

SYNTHESIS, STRUCTURE, AND SPECTRAL CHARACTERISTICS OF COPPER(II) AND COBALT(II) HALIDE COMPLEXES WITH 2-AMINO-3-BROMO-5-METHYL PYRIDINE

Alexandra N. Protsenko, Daria A. Shulyak,
Alexander E. Protsenko, Olga G. Shakirova

Siberian Federal University

*for correspondence: Protsenko.chem@gmail.com



Article info

Received:

08 December 2022

Accepted for publication:

15 January 2023

Accepted:

28 February 2023

Published:

30 March 2023

Keywords: complex, copper(II), cobalt(II), 2-amino-3-bromo-5-methylpyridine, X-ray diffraction analysis, IR spectroscopy, thermal properties

Abstract.

Methods of synthesis of new tetrahalide complexes of copper(II) and cobalt(II) with 2-amino-3-bromo-5-methylpyridine (L) of composition $(HL)_2[CuCl_4] \cdot 2H_2O$ (I), $(HL)_2[CoCl_4] \cdot 2H_2O$ (II), $(HL)_2[CuBr_4]$ (III). Single crystals obtained from a solution of complex III, in contrast to the polycrystalline phase, contain two additional water molecules – $(HL)_2[CuBr_4] \cdot 2H_2O$ (III·2H₂O). The compounds were studied by modern physicochemical methods of analysis (infrared (IR) spectroscopy, differential scanning calorimetry (DSC) and thermogravimetry (TG)). The structures of the complexes were determined by X-ray diffraction (XRD). It was shown that in all coordination compounds the protonation process of the organic compound passed through the nitrogen atom of the heterocycle with the formation of the pyridinium cation. It has been shown that the crystal structures of compounds I, II, III·2H₂O are isostructural. The formation of a long polymer chain consisting of alternating anions $[MHal_4]^{2-}$ and solvent molecules is observed. The stability of the structure is achieved due to the formation of a dense network of hydrogen bonds between the halogen atoms of the inorganic anion and the hydrogen of the amino group. The data of synchronous thermal analysis showed that two water molecules are removed up to 130 °C, and anhydrous compounds are thermostable up to 140-180 °C. The compounds have a catalytic effect on the processes of isomerization of hydrocarbons at low temperatures.

For citation: Protsenko A.N., Shulyak D.A., Protsenko A.E., Shakirova O.G. Protsenko A.N., Shulyak D.A., Protsenko A.E., Shakirova O.G. Synthesis, structure, and spectral characteristics of copper(II) and cobalt(II) halide complexes with 2-amino-3-bromo-5-methyl pyridine. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2023; 1(155):71-78. (In Russ., abstract in Eng.). doi: 10.26730/1999-4125-2023-1-71-78

REFERENCES

1. Bushuev M.B., Krivopalov V.P., Semikolenova N.V., Peresyphkina E.V., Virovts A.V., Sheludyakova L.A., Larionov S.V. *Russian Journal of Coordination Chemistry*. 2006; 32(3):199-207.
2. Shichong Y., Xiaoyun C., Yanwei W., Yongbing C. *Drug Design. Development and Therapy*. 2014:383-370.
3. E.V. Lider, Elokhina N., Lavrenova L.G., Shvedenkov Y.G., Sheludyakova L.A., Peresyphkina E.V. *Russian Journal of Coordination Chemistry*. 2007; 33(1):37-44.
4. Yasakova E.A., Sitdikova A.S., Akhmetov A.F. *Oil and gas business*. 2010; 1.
5. Burdakova E.S., Petrov V.V. *Oil refining and petrochemistry. Scientific and technical achievements and best practices*. 2017; 11.
6. Titi A., Warad I., Tillard M., Touzani R., Messali M., El Kodadi M., Eddike D., Zarrouk A. *Journal of Molecular Structure*. 2020; 1217:128422.
7. Silva A.C., Fernãnde T.L., Carvalho N.M., Herbst M.H., Bordinhão J., Horn Jr.A., Antunes O.A.C. *Applied Catalysis A: General*. 2007; 317(2):154-160.
8. Jia X., Peng P., Cui J., Xin N., Huang X. *Asian Journal of Organic Chemistry*. 2018; 7(6):1093-1100.
9. Olshin P.K., Myasnikova O.S., Kashina M.V., Gorbunov A.O., Bogachev N.A., Kompanets V.O., Mereshchenko A.S. *Chemical Physics*. 2018; 503:14-19.

10. Protsenko A.N., Shakirova O.G., Kuratieva N.V. *Butlerov's messages*. 2018; 53(1):130-136.
11. Sadok I.B.H., Hajlaoui F., Karoui K., Audebrand N., Roisnel T., Zouari N. *Journal of Molecular Structure*. 2019; 1186:118-126.
12. Shakirova O., Protsenko A., Protsenko A., Kuratieva N., Fowles A., Turnbull M. *Inorganica Chimica Acta*. 2020; 500:119246.
13. Dgachi S., Rahmouni F., Soran A., Saoudi M., Nemes G., Naili H. *Journal of Molecular Structure*. 2021; 1244:130996.
14. Protsenko A.N., Shakirova O.G., Protsenko A.E., Kuratieva N.V., Fowles S.M., Turnbull M.M. *Journal of Molecular Structure*. 2021; 1240:130561.
15. Drissi N., Dakhlaoui I., Karoui K., Zaghrioui M., Jomni F. *Applied Organometallic Chemistry*. 2022; 36(5):e6621.

© 2022 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Alexandra N. Protsenko, C. Sc. in Chemistry, associate professor, Komsomolsk-na-Amure State University, (27 Lenin Prospect, Komsomolsk-on-Amur, 681013, Russian Federation), e-mail: Protsenko.chem@gmail.com

Daria A. Shulyak, student, Komsomolsk-na-Amure State University, (27 Lenin Prospect, Komsomolsk-on-Amur, 681013, Russian Federation), e-mail: daria_shul@mail.ru

Alexander E. Protsenko, C. Sc. in Engineering, associate professor, Komsomolsk-na-Amure State University, (27 Lenin Prospect, Komsomolsk-on-Amur, 681013, Russian Federation), e-mail: Protsenko.ae@yandex.ru

Olga G. Shakirova, Dr. Sc. in Chemistry, professor, Komsomolsk-na-Amure State University, (27 Lenin Prospect, Komsomolsk-on-Amur, 681013, Russian Federation), e-mail: Shakirova_Olga@mail.ru

Contribution of the authors:

Alexandra N. Protsenko – formulation of a research task, review of relevant literature, synthesis and analysis of data, conclusions, writing a text

Daria A. Shulyak – synthesis of complexes, conducting an experiment on catalytic activity

Alexander E. Protsenko – conducting thermal analysis methods (TG, DSC)

Olga G. Shakirova – scientific management, identification of complexes, conclusions, text writing

All authors have read and approved the final manuscript.

