

ISSN 1999-4125 (Print)

**ТЕХНОЛОГИЯ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ
TECHNOLOGY OF INORGANIC SUBSTANCES**

Научная статья

УДК 541.49

DOI: 10.26730/1999-4125-2023-1-62-70

**ИССЛЕДОВАНИЕ НОВЫХ ГАЛОГЕНИДНЫХ КОМПЛЕКСОВ МЕДИ(II) И
КОБАЛЬТА(II) С 2-АМИНО-5-БРОМ-3-МЕТИЛПИРИДИНОМ: СИНТЕЗ,
СТРУКТУРА, СВОЙСТВА****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), азотсодержащий
гетероциклический катион,
РСА, ИК-спектроскопия, ДСК,
ТГ.**Аннотация.**

Разработаны методики синтеза новых тетрагалогенидных комплексов меди(II) и кобальта(II) с 2-амино-5-бром-3-метилпиридином (L) состава $(HL)_4[Co_2Cl_8]$ (I), $(HL)_2[CoCl_4]$ (II) и $(HL)_2[CuBr_4]$ (III). Соединения исследованы методами инфракрасной (ИК) спектроскопии, дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) и термogrавиметрии (ТГ). Структуры комплексов определены методом рентгеноструктурного анализа (РСА). Показано, что реакция протонирования органического основания L в кислой среде для полученных координационных соединений I-III прошла только по атому азота пиридинового кольца с образованием катиона пиридиния. Комплекс I представляет собой димер с координационными узлами $CuCl_5Br$, образованными за счет дотраивания координационного полиэдра меди атомом хлора соседнего аниона и атомом брома органической молекулы. Структуры комплексов II и III являются изотипными – это мономеры с координационным узлом $MHal_4$ в виде искаженного тетраэдра. Атомы водорода протонированного азота пиридинового кольца и аминогруппы связываются с атомами галогенов комплексного аниона и образуют сеть водородных связей. По данным термического анализа соединения термостабильны до 180-200 °С. В лабораторных экспериментах было показано, что соединения оказывают каталитическое воздействие на процессы крекинга углеводородов при низких температурах.

Для цитирования: Проценко А.Н., Шуляк Д.А., Проценко А.Е., Шакирова О.Г. Исследование новых галогенидных комплексов меди(II) и кобальта(II) с 2-Амино-5-Бром-3-Метилпиридином: синтез, структура, свойства // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2023. № 1 (155). С. 62-70. doi: 10.26730/1999-4125-2023-1-62-70

В настоящее время химия координационных соединений занимает одну из высоких позиций в научных областях исследования. Интерес современных ученых в первую очередь, связан с их высоким синтетическим потенциалом и разнообразием свойств. Одним из таких классов можно выделить галогенидные комплексы меди(II) и кобальта(II) анионного типа состава $L_n[MHal_4]$ [1-9]. В качестве органического катиона (L^+) рассматриваются азотсодержащие гетероциклические

соединения – производные азолов: пиридина, пиразола, пиримидина и т.д. [10-13]. Благодаря наличию атома азота в гетероцикле или аминогруппы как заместителя такие соединения легко вступают в процесс протонирования с образованием положительно заряженной частицы.

Анион $[\text{CuHal}_4]^{2-}$ может образовывать структуры разного типа: квадрат, псевдоквадрат, тетраэдр, искаженный тетраэдр [14-16]. Кроме того, за счет дотраивания структуры атомами галогена соседних анионов геометрия может меняться в сторону более сложных конфигураций – тригональная бипирамида, квадратная пирамида, октаэдр [17]. На геометрию координационного полиэдра MHal_4 и кристаллическую упаковку в целом влияет как природа катиона, так и наличие кристаллизационных молекул воды [18].

Экспериментальная часть

Материалы и методы

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

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

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

Термический анализ образцов проводили на приборе STA 409 PC Luxx NETZSCH, оснащенного 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-5-бром-3-метилпиридина (0,00094 моль; 0,1750 г) растворили в 10 мл этанола. К полученному раствору добавили растворенный в 3 мл $\text{HCl}_{(\text{конц})}$ хлорид меди(II) или кобальта(II) (0,0005 моль; 0,085 г или 0,1185 г, соответственно). После смешивания полученные растворы зеленого или сине-фиолетового цвета оставляли на кристаллизацию при комнатной температуре в течение недели. В результате процесса кристаллизации были получены монокристаллы желтого или синего цветов.

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

Для всех соединений был проведен элементный анализ (Табл. 1).

Монокристаллы соединений I-III, пригодные для рентгеноструктурного анализа (РСА),

Таблица 1. Данные элементного анализа координационных соединений I-III

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

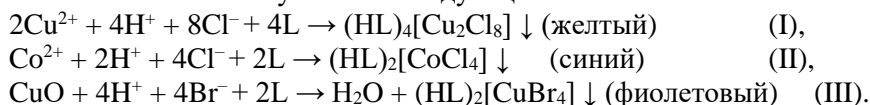
Соединение	Формула	Найдено / Вычислено, %					
		C		H		N	
$(\text{HL})_4[\text{Cu}_2\text{Cl}_8]$	$\text{C}_{24}\text{H}_{32}\text{Cl}_8\text{Cu}_2\text{N}_8\text{Br}_4$	24.3	24.7	2.9	2.7	9.5	9.6
$(\text{HL})_2[\text{CoCl}_4]$	$\text{C}_{12}\text{H}_{16}\text{Cl}_4\text{CoN}_4\text{Br}_2$	25.0	24.9	2.8	2.8	9.7	9.7
$(\text{HL})_2[\text{CuBr}_4]$	$\text{C}_{12}\text{H}_{16}\text{CuN}_4\text{Br}_6$	19.0	18.9	2.1	2.1	7.4	7.4

были выбраны из общей массы осадков.

Результаты и их обсуждение

В данной работе приведен синтез, структура и свойства комплексов меди(II) с 2-амино-5-бром-3-метилпиридином (L) (Рис. 1) состава $(HL)_4[Cu_2Cl_8]$ (I), $(HL)_2[CoCl_4]$ (II) и $(HL)_2[CuBr_4]$ (III).

Комплексы были получены по следующим схемам:



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

По данным РСА реакция протонирования органического основания L в кислой среде для полученных координационных соединений I-III прошла только по атому азота пиридинового кольца с образованием катиона пиридиния. Эти сведения отличаются от ранее полученных нами данных для аналогичного хлорпроизводного; так, было показано, что изотипное с L настоящей работы соединение 2-хлоро-5-амино-3-метилпиридин в кислой среде протонируется не только по атому азота гетероцикла, но и по аминогруппе [18].

Комплекс I представляет собой димер состава $(HL)_4[Cu_2Cl_8]$. На четыре органических катиона L^+ приходится два аниона $[CuCl_4]^{2-}$, связанных между собой дополнительной валентностью меди(II). Каждый анион представляет собой псевдоквадрат с углами Cl-Cu-Cl равными 89,2, 90,8° и 174,9; 162,24°; соответственно. Два соседних аниона соединяются друг с другом в Cu_2Cl_8 за счет мостиковой функции одного из атомов хлора соседнего аниона (Рис. 2). Атом брома гетероциклического катиона достраивает координационный полиэдр меди(II) с образованием октаэдрической структуры координационного узла $CuCl_5Br$ для каждого атома металла в димере. Димеры упаковываются с образованием слоистой структуры. Атомы водорода протонированного азота пиридинового кольца и NH_2 -группы связаны с атомами хлора аниона $[CuCl_4]^{2-}$, образуют обширную сеть водородных связей $NH...Cl$. При этом катионы окружают комплексный анион, при этом не участвующие в координации к меди(II) атомы брома не участвуют также и в образовании водородных связей (рис. 3).

Структуры соединений II и III существенно отличаются от структуры комплекса I. Оба соединения имеют изотипное строение: на два органических катиона L^+ приходится один анион $[MHal_4]^{2-}$ (Рис. 4, 5). Анион $[CoCl_4]^{2-}$ является правильным тетраэдром, а $[CuBr_4]^{2-}$ – искаженным тетраэдром. Как и в соединении I, каждый атом галогена комплексного аниона участвует в образовании сети водородных связей с атомами водорода протонированного азота пиридинового

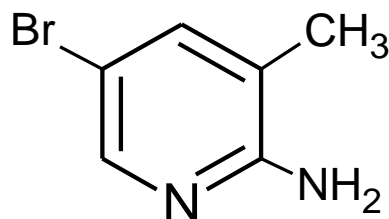


Рис. 1. Структурная формула 2-амино-5-бром-3-метилпиридина
Fig. 1. The structural formula of 2-amino-5-bromo-3-methylpyridine

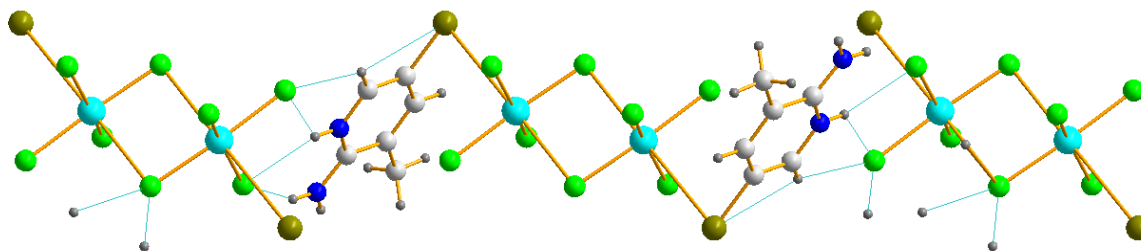


Рис. 2. Строение комплекса I
Fig. 2. Structure of Complex I

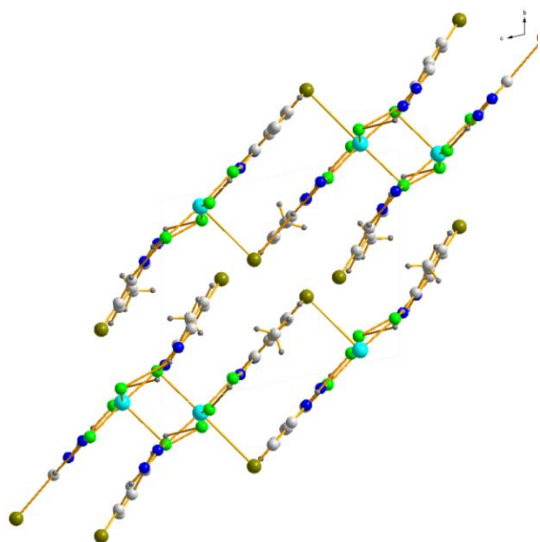


Рис. 3. Слоистая структура комплекса I
Fig. 3. Layered structure of Complex I

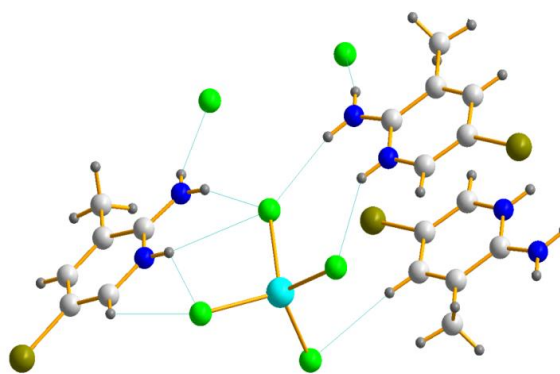


Рис. 4. Строение комплекса II
Fig. 4. Structure of Complex II

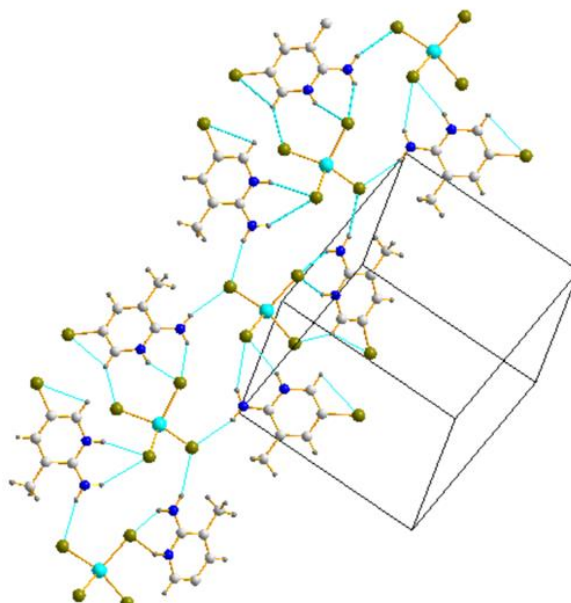


Рис. 5. Строение комплекса III
Fig. 5. Structure of Complex III

кольца и аминогруппы, атом брома катиона 2-амино-5-бром-3-метилпиридиния в образовании водородных связей не участвует.

В ИК-спектре органического основания при $3250-3500\text{ см}^{-1}$ присутствуют полосы колебаний $\nu(\text{N-H})$ экзоциклической аминогруппы. В этой же области в спектрах комплексов I-III полосы смещены относительно полос органического катиона, что можно объяснить образованием обширной сети водородных связей. Увеличение интенсивности и смещение полос в области колебания пиридинового кольца ($1500-1650\text{ см}^{-1}$) во всех спектрах комплексов указывает на процесс протонирования атома азота гетероциклического основания. В целом наблюдается смещение практически всех полос в сравнении со спектром L, что может указывать на наличие водородных связей $\text{N-H}\dots\text{Hal-Cu}$ между органическим катионом и неорганическим анионом (Табл. 2).

Изучение термических характеристик комплексов показало их стабильность до $180-200^\circ\text{C}$ (Рис. 6) с последующим плавлением (эндотермический процесс) и разложением (экзотермический процесс). Степень потери массы ($\sim 2,3\%$) для комплекса I в интервале $140-160^\circ\text{C}$ соответствует эндотермическому процессу перестройки аниона $[\text{Cu}_2\text{Cl}_8]^{4-}$ в известный

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

Отнесение	L	I	II	III
$\nu(\text{NH}_2)$	3465 3300	3315 3270	3375 3300	3390 3270
$\nu(\text{C}_{\text{арене-H}})$	3150	3165	3240	3165
$\nu(\text{C}_{\text{sp}^3\text{-H}})$	2940	3000	3045	3170
	2910	2955	3105	3075
	2865	2910	3210	3240
R(кольца)	1635	1650	1650	1650
	1560	1605	1605	1605
	1470	1545	1560	1545
	1440			
$\delta(\text{C}_{\text{арене-H}})$	1005	990	990	990
	900	915	915	915
	750	840	840	825
	705	810	810	780

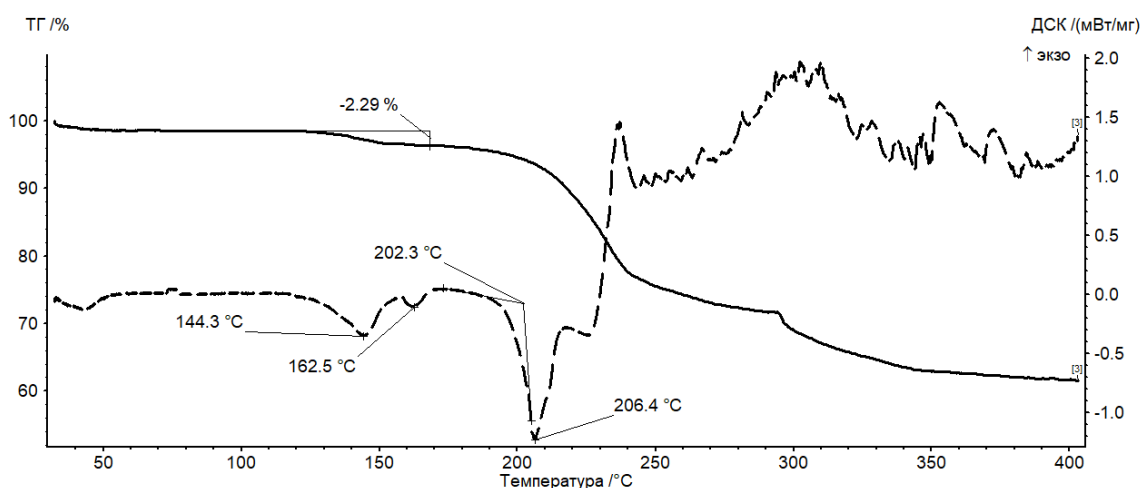


Рис. 6. Термограмма комплекса I
 Fig. 6. Thermogram of complex I

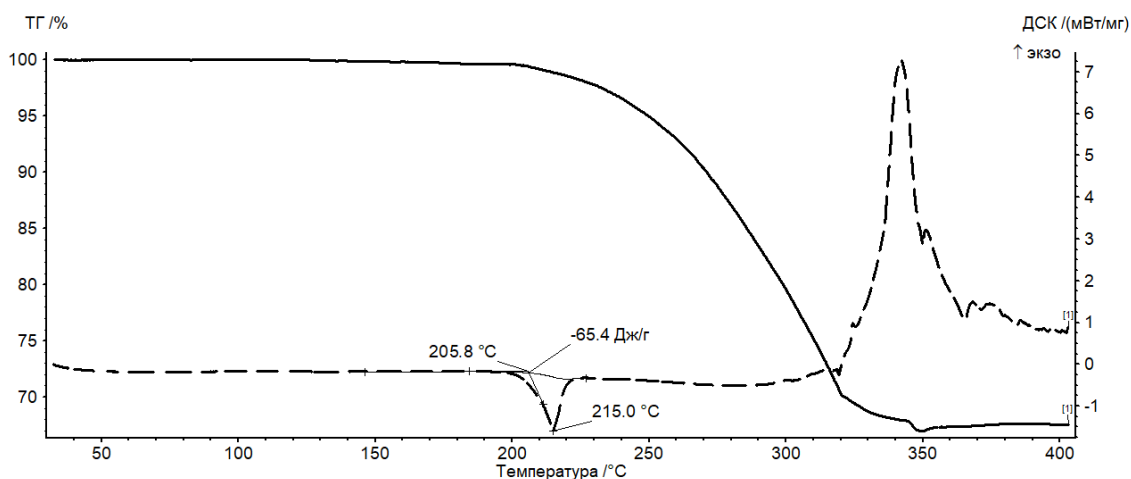
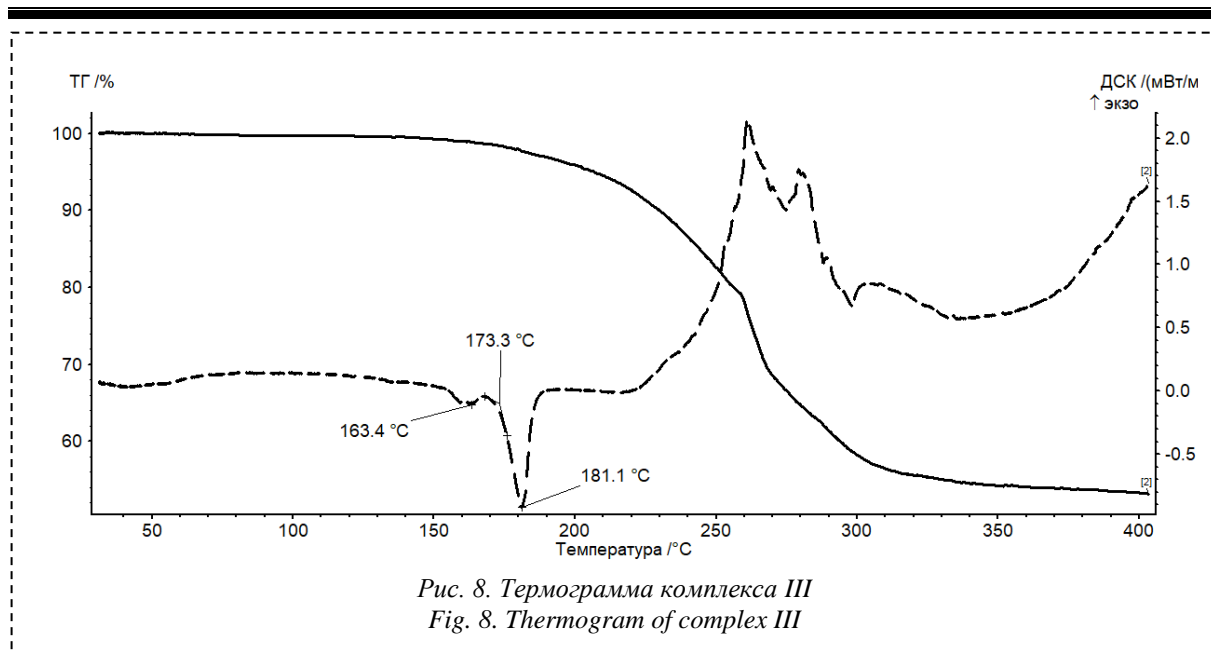


Рис. 7. Термограмма комплекса II
 Fig. 7. Thermogram of complex II

анион $[\text{Cu}_2\text{Cl}_6]^{2-}$ и удалению двух молекул хлороводорода. Затем соединение плавится при 202,3°C с последующим разложением.



Комплекс II устойчив до 215°C. Плавление на кривой ДСК наблюдается при 205,8°C, рассчитана энтальпия плавления, 37,74 кДж/моль (Рис. 7).

Аналогично комплексу I, в соединении III при 163°C начинается перестройка структуры с удалением бромоводорода. Полученное соединение с известным анионом $[\text{Cu}_2\text{Br}_6]^{2-}$ плавится при температуре 173,3°C, после чего происходит термическое разложение, сопровождающееся экзотермическим пиком на кривой ДСК и падением массы на кривой ТГ (Рис. 8).

Предварительные лабораторные эксперименты показывают, что процесс изомеризации углеводородов C_{7+} (при использовании в течение 3 часов в качестве гетерогенного катализатора указанных комплексов) приводит к существенному снижению температуры процесса (до 80°C) и увеличению степени конверсии исходного сырья (до 40%_{масс}). Наблюдается также образование циклических продуктов, что свидетельствует о частичном крекинге сырья.

Таким образом, синтезированы новые комплексы меди(II) и кобальта(II) с 2-амино-5-бром-3-метилпиридином в кислой среде различного состава: $(\text{HL})_4[\text{Cu}_2\text{Cl}_8]$ (I), $(\text{HL})_2[\text{CoCl}_4]$ (II) и $(\text{HL})_2[\text{CuBr}_4]$ (III); методом РСА установлена их кристаллическая структура. Показано, что I является димером, в котором каждый координационный полиэдр $[\text{CuCl}_4]$ достраивается до октаэдра CuCl_5Br за счет атомов хлора соседнего аниона и атома брома органической молекулы, а комплексы II и III имеют изотипное строение с координационным тетраэдром $[\text{M}(\text{HL})_4]^{2-}$. Проведено ИК-спектроскопическое исследование новых комплексов, а также изучены их термические свойства. Показано, что в отличие от комплекса кобальта(II), соединения меди(II) – комплексы I и II – термически стабильны лишь до 140 и 160°C, соответственно, а при более высоких температурах анионы трансформируются в более стабильную структуру $[\text{Cu}_2\text{Hal}_6]^{2-}$, с последующим их инконгруэнтным плавлением. Доказано каталитическое влияние полученных комплексов на процессы изомеризации и крекинга углеводородов в условиях термической стабильности координационных соединений.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ясакова Е. А., Ситдикова А. В., Ахметов А. Ф. Нефтегазовое дело. 2010. Т. 1.
2. Бушуев М. Б., Кривопапов В. П., Пересыпкина Е. В., Вировец А. В., Шведенков Ю. Г., Шелудякова Л. А., Семиколенова Н. В., Захаров В. А., Ларионов С.В. Координационная химия. 2009. Т. 35. N. 8. С. 606-617.
3. Titi A., Warad I., Tillard M., Touzani R., Messali M., El Kodadi M., Eddike D., Zarrouk A. Journal of Molecular Structure. 2020. T. 1217. С. 128422.
4. Jia X., Peng P., Cui J., Xin N., Huang X. Asian Journal of Organic Chemistry. 2018. T. 7. N. 6. С. 1093-1100.
5. Dgachi S., Rahmouni F., Soran A., Saoudi M., Nemes G., Naili H. Journal of Molecular Structure. 2021. T. 1244. С. 130996.

6. Drissi N., Dakhlaoui I., Karoui K., Zaghrioui M., Jomni F. Applied Organometallic Chemistry. 2022. T. 36. N. 5. C. e6621.
7. Dgachi S., Salah A. M. B., Turnbull M. M., Bataille T., Naili H. Journal of Alloys and Compounds. 2017. T. 726. C. 315-322.
8. Шакирова О. Г., Проценко А. Н. Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2017. Т. 119. N. 1. С. 97-101.
9. Проценко А. Н., Шакирова О. Г. Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2017. Т. 119. N. 1. С. 116-121.
10. Gatfaoui S., Issaoui N., Noureddine O., Roisnel T., Marouani H. Journal of the Iranian Chemical Society. 2021. T. 18. N. 9. C. 2331-2343.
11. Vishwakarma A. K., Kumari R., Ghalsasi P. S., Arulsamy N. Journal of Molecular Structure. 2017. T. 1141. C. 93-98.
12. Sadok I. B. H., Hajlaoui F., Karoui K., Audebrand N., Roisnel T., Zouari N. Journal of Molecular Structure. 2019. T. 1186. C. 118-126.
13. Tounsi A., Elleuch S., Hamdi B., Zouari R., Salah A. B. Journal of Molecular Structure. 2017. T. 1141. C. 512-523.
14. Coffey T. J., Landee C. P., Robinson W. T., Turnbull M. M., Winn M., Woodward F. M. Inorganica Chimica Acta. 2000. T. 303. N. 1. C. 54-60.
15. Ковальчукова О. В., Палкина К. К., Страшнова С. Б., Зайцев Б. Е. Координационная химия. 2008. Т. 34. N. 11. С. 837-842.
16. Chang J. C., Ho W. Y., Sun I. W., Chou Y. K., Hsieh H. H., Wu T. Y. Polyhedron. 2011. T. 30. N. 3. C. 497-507.
17. Olshin P. K., Myasnikova O. S., Kashina M. V., Gorbunov A. O., Bogachev N. A., Kompanets V. O., Mereshchenko A. S. Chemical Physics. 2018. T. 503. C. 14-19.
18. Shakirova O., Protsenko A., Protsenko A., Kuratieva N., Fowles A., Turnbull M. Inorganica Chimica Acta. 2020. T. 500. C. 119246.

© 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

STUDY OF NEW HALIDE'S COPPER(II) AND COBALT(II) COMPLEX WITH 2-AMINO-5-BROMO-3-METHYL PYRIDINE: SYNTHESIS, STRUCTURE, PROPERTIES

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), nitrogen-containing heterocyclic cation, X-ray diffraction analysis, IR spectroscopy, DSC, TG.

Abstract.

The article presents a method for predicting the indicators of thermal-oxidative stability, including the optical density and volatility of motor oils according to abbreviated temperature information, the method is based on the use of an analytical model for calculating the indicators of thermal-oxidative stability according to two temperatures for the third temperature, as well as determining the temperature range of the performance of motor oils, including the temperatures of the beginning of the processes of oxidation and evaporation and the critical temperatures of these processes, which makes it possible to compare them and select more heat-resistant ones, removing the laboriousness of experimental studies. This method allows you to expand the information content of using KIXX G1 5W-40 SN / CF engine oil, as well as increase the service life, thereby increasing the environmental component when using georesources, engine oil can be used for a longer time without losing its declared properties.

This method of predicting the indicators of thermal-oxidative stability, which involves the use of a temperature control device, a photometric device, and electronic scales, allows expanding information on the quality of motor oils, including the temperatures of the onset of oxidation and evaporation processes, the critical temperatures of these processes, and the temperature range of application. The established linear dependence of the decimal logarithm of the temperature control time during oxidation and evaporation of the studied engine oil on temperature, which allows predicting the decimal logarithms of the temperature control time of the oxidation and evaporation processes for any temperature, and the calculation of antilogarithms determines the temperature control time.

For citation: Protsenko A.N., Shulyak D.A., Protsenko A.E., Shakirova O.G. Study of new halide's copper(II) and cobalt(II) complex with 2-amino-5-bromo-3-methyl pyridine: synthesis, structure, properties. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2023; 1(155):62-70. (In Russ., abstract in Eng.). doi: 10.26730/1999-4125-2023-1-62-70

REFERENCES

1. Yasakova E.A., Sitdikova A.V., Akhmetov A.F. *Oil and gas business*. 2010; 1.
2. Bushuev M.B., Krivopalov V.P., Peresyphkina E.V., Virovec A.V., Shvedenkov Yu. G., Sheludyakova L. A., Semikolenova N. V., Zaharov V. A., Larionov S.V. *Russian Journal Of Coordination Chemistry*. 2009; 35(8):597-608.
3. Titi A., Warad I., Tillard M., Touzani R., Messali M., El Kodadi M., Eddike D., Zarrouk A. *Journal of Molecular Structure*. 2020; 1217:128422.
4. Jia X., Peng P., Cui J., Xin N., Huang X. *Asian Journal of Organic Chemistry*. 2018; 7(6):1093-1100.
5. Dgachi S., Rahmouni F., Soran A., Saoudi M., Nemes G., Naili H. *Journal of Molecular Structure*. 2021; 1244:130996.
6. Drissi N., Dakhlaoui I., Karoui K., Zaghrioui M., Jomni F. *Applied Organometallic Chemistry*. 2022; 36(5):e6621.
7. Dgachi S., Salah A. M. B., Turnbull M. M., Bataille T., Naili H. *Journal of Alloys and Compounds*. 2017; 726:315-322.
8. Shakirova O.G., Protsenko A.N. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2017; 119(1):97-101.

9. Protsenko A.N., Shakirova O.G. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2017; 119(1):116-121.
10. Gatfaoui S., Issaoui N., Noureddine O., Roisnel T., Marouani H. *Journal of the Iranian Chemical Society*. 2021; 18(9):2331-2343.
11. Vishwakarma A.K., Kumari R., Ghalsasi P.S., Arulsamy N. *Journal of Molecular Structure*. 2017. T. 1141. C. 93-98.
12. Sadok I.B.H., Hajlaoui F., Karoui K., Audebrand N., Roisnel T., Zouari N. *Journal of Molecular Structure*. 2019; 1186:118-126.
13. Tounsi A., Elleuch S., Hamdi B., Zouari R., Salah A.B. *Journal of Molecular Structure*. 2017; 1141:512-523.
14. Coffey T.J., Landee C.P., Robinson W.T., Turnbull M.M., Winn M., Woodward F. M. *Inorganica Chimica Acta*. 2000; 303. N. 1. C. 54-60.
15. Kovalchukova O.V., Palkina K.K., Strashnova S.B., Zaitsev B.E. *Russian Journal of Coordination Chemistry*. 2008; 34(11):830-835.
16. Chang J.C., Ho W.Y., Sun I. W., Chou Y.K., Hsieh H.H., Wu T.Y. *Polyhedron*. 2011; 30(3):497-507.
17. 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.
18. Shakirova O., Protsenko A., Protsenko A., Kuratieva N., Fowles A., Turnbull M. *Inorganica Chimica Acta*. 2020; 500:119246.

© 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.

