

УДК 548.736:546.561:614.84

**Н.М. Годованець, Б.М. Михалічко, О.М. Щербина** (Львівський державний університет безпеки життєдіяльності), **О.Б. Михалічко** (Львівський національний університет імені Івана Франка)

### АНІОННІ КОМПЛЕКСИ КУПРУМУ(I). СИНТЕЗ ТА КРИСТАЛІЧНА СТРУКТУРА $(\text{OC}_4\text{H}_8\text{NH}_2)[\text{Cu}_2\text{Cl}_3]$

Прямою взаємодією компонентів в системі  $\text{CuCl} - \text{OC}_4\text{H}_8\text{NH} - \text{HCl} - \text{H}_2\text{O}$  ( $\text{OC}_4\text{H}_8\text{NH}$  – морфолін) отримано та рентгеноструктурно вивчено кристалічний комплекс  $(\text{OC}_4\text{H}_8\text{NH}_2)[\text{Cu}_2\text{Cl}_3]$ . Кристали моноклінні, пр. гр.  $P2_1/c$ ,  $a = 11,543(5)$ ,  $b = 13,334(5)$ ,  $c = 6,188(3)$  Å,  $\beta = 93,44(3)^\circ$ ,  $V = 951(1)$  Å<sup>3</sup>,  $Z = 4$ . Комплексоутворення морфоліній хлориду з купрум(I) хлоридом супроводжується появою в кристалах катіонів морфолінію (внаслідок протонування атомів нітрогену молекул морфоліну) та полімерних фрагментів комплексних аніонів  $\{[\text{Cu}_2\text{Cl}_3]\}_n$ . Поряд з кулонієською взаємодією між іонами виникають міцні водневі зв'язки  $\text{N-H}\cdots\text{Cl}$  2,22(5) Å, що стабілізують структуру комплексу.

**Ключові слова:** синтез, кристалічна структура, купрум(I) хлорид, морфолін, аніонні купрохлоридні комплекси.

Непосредственным взаимодействием компонентов в системе  $\text{CuCl} - \text{OC}_4\text{H}_8\text{NH} - \text{HCl} - \text{H}_2\text{O}$  ( $\text{OC}_4\text{H}_8\text{NH}$  – морфолін) получен и рентгеноструктурно изучен кристаллический комплекс  $(\text{OC}_4\text{H}_8\text{NH}_2)[\text{Cu}_2\text{Cl}_3]$ . Кристаллы моноклинные, пр. гр.  $P2_1/c$ ,  $a = 11,543(5)$ ,  $b = 13,334(5)$ ,  $c = 6,188(3)$  Å,  $\beta = 93,44(3)^\circ$ ,  $V = 951(1)$  Å<sup>3</sup>,  $Z = 4$ . Комплексообразование хлорида морфолиния з хлоридом меди(I) сопровождается появлением в кристаллах катионов морфолиния (вследствие протонирования атомов азота молекул морфоллина) и полимерных фрагментов комплексных анионов  $\{[\text{Cu}_2\text{Cl}_3]\}_n$ . Наряду с кулоновским взаимодействием между ионами возникают прочные водородные связи  $\text{N-H}\cdots\text{Cl}$  2,22(5) Å, стабилизирующие структуру комплекса.

**Ключевые слова:** синтез, кристаллическая структура, хлорид меди(I), морфолін, анионные купрохлоридные комплексы.

#### Вступ

Солі купруму, зокрема, галогеніди вже давно використовуються як каталізатори багатьох перетворень органічних речовин [1]. Зокрема, завдяки своїй доступності купрум(I) хлориди і їхні концентровані водні розчини з  $\text{MCl}$  ( $\text{M}$  — катіони лужних металів, амонію та органічних амінів) широко застосовують в каталітичних перетвореннях ацетилену та його похідних [2]. Відмінна риса концентрованих водних розчинів — утворення поліядерних комплексних аніонів  $[\text{Cu}_m\text{Cl}_n]^{(n-m)-}$ , які беруть участь у каталітичних процесах, взаємодіючи з алкіновими вуглеводнями, утворюючи найрізноманітніші за складом та будовою проміжні комплекси [3].

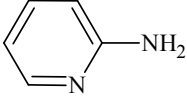
Окрім каталітичної дії солі купруму спроможні також ефективно

знижувати горючість ба, навіть, виявляти інгібуючу дію стосовно горіння органічних амінів, що у свою чергу окреслює широку перспективу використання сполук купруму для потреб пожежної безпеки. Так, однією із вирішальних стадій під час перебігу інгібування горіння нітрогенумісних вуглеводнів купрум(I) хлоридом [4] є хімічна взаємодія (комплексоутворення) [5] атомів  $d$ -металу з атомами N, яка супроводжується утворенням негорючих купрохлоридних  $\sigma$ -комплексів з органічними амінами [6].

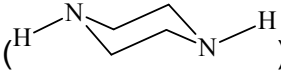
Поглибленому розумінню процесів, що відбуваються під час як каталітичних перетворень ненасичених органічних сполук у водних розчинах  $\text{MCl}$  і  $\text{CuCl}$ , так і інгібування горіння органічних амінів і нітрilів солями

купрум(І) [7], сприяє аналіз хімічного складу та кристалічної будови утворених координаційних сполук.

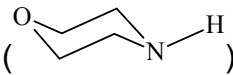
Проведене раніше вивчення комплексоутворення порошкоподібного купрум(І) хлориду з 2-

амінопіридином (  ) на

прикладі молекулярного  $\sigma$ -комплексу  $[\text{Cu}_2\text{Cl}_2(\text{NH}_2\text{C}_5\text{H}_4\text{N})]$  [8] та розчинів купрум(І) хлориду з піперазином

(  ) на прикладі аніонного комплексу  $(\text{H}_2\text{NC}_4\text{H}_8\text{NH}_2)[\text{CuCl}_3]$  [9] засвідчило, що атом нітрогену органічного аміну спроможний утворювати з атомом купрум(І) чи протоном  $\text{H}^+$  міцні координаційні зв'язки ( $E_{\text{хім. зв'язків}} \approx 200\text{--}280$  кДж) за донорно-акцепторним механізмом. При цьому внаслідок утворення  $\sigma$ -комплексу енергетичний стан органічного аміну у зв'язаному стані суттєво змінюється, що у підсумку є причиною зниження горючості N-умісних органічних речовин [10-12].

З огляду на це цікаво було вивчити стехіо- та стереохімічний аспект взаємодії горючого N-умісного вуглеводня з гідрохлоридним водним розчином  $\text{CuCl}$ . Як N-умісний вуглеводень нами був обраний морфолін

(  ) [13] – легкозаймиста речовина зі значним тепловмістом [14, 15], яка, до того ж, активно використовується у органічному синтезі, як розчинник, інгібітор корозії, компонент полірувальних паст, абсорбент для очищення газів від  $\text{CS}_2$  і  $\text{COS}$ , емульгатор (у комбінації з жирними кислотами), аналітичний реагент для визначення оксазолінів тощо.

**Мета роботи** – вивчити взаємодію купрум(І) хлориду з морфоліном у гідрогенхлоридному водному розчині та встановити точний

хімічний склад й будову продукту цієї взаємодії. Для досягнення мети нами був синтезований у вигляді якісних монокристалів аніонний купрум(І) хлоридний комплекс з катіоном морфолінію складу  $(\text{OC}_4\text{H}_8\text{NH}_2)[\text{Cu}_2\text{Cl}_3]$  та встановлена його кристалічна структура методом рентгеноструктурного аналізу (РСА).

### Експериментальна частина

Кристалічний комплекс  $(\text{OC}_4\text{H}_8\text{NH}_2)[\text{Cu}_2\text{Cl}_3]$  отримували безпосередньою взаємодією компонентів. Готували насичений водний розчин морфоліній хлориду: в хімічній склянці з водою розчиняли 0,1 моль (8,7 г) морфоліну, який нейтралізували концентрованою хлоридною кислотою. Розчин нагрівали до температури  $\sim 90^\circ\text{C}$  і розчиняли 0,2 моль (19,8 г)  $\text{CuCl}$ . Після охолодження реактора до кімнатної температури утворились безбарвні кристали  $(\text{OC}_4\text{H}_8\text{NH}_2)[\text{Cu}_2\text{Cl}_3]$ , придатні для РСА.

Зйомку монокристалу комплексу, який попередньо досліджували фотометодом, здійснювали на автоматичному дифрактометрі ДАРЧ ( $\text{MoK}_\alpha$ -випромінювання,  $\theta/2\theta$ -сканування). Відомості про кристали синтезованого комплексу, основні параметри зйомки і його рентгенографічні характеристики наведені в табл. 1.

Структуру комплексу розв'язували прямими методами за допомогою пакету програм CSD [16]. Для цього були локалізовані всі негідрогенові атоми і уточнювали модель кристалічної структури в ізотропному наближенні. Далі вводилась поправка на поглинання зразка за програмою DIFABS. Положення атомів гідрогену визначали на різницевих синтезах Фур'є. Координатні та теплові параметри атомів наведені в табл. 2.

**Таблиця 1** Кристалографічні характеристики і основні параметри зйомки моно-кристалу синтезованого комплексу

Хімічний склад комплексу	(OC <sub>4</sub> H <sub>8</sub> NH <sub>2</sub> )[Cu <sub>2</sub> Cl <sub>3</sub> ]
Просторова група симетрії	<i>P2<sub>1</sub>/c</i>
Параметри елементарної комірки:	
<i>a</i> , Å	11,543(5)
<i>b</i> , Å	13,334(5)
<i>c</i> , Å	6,188(3)
β, град	93,44(3)
<i>V</i> , Å <sup>3</sup>	951(1)
μ(МоК <sub>α</sub> ), см <sup>-1</sup>	54,13
ρ(екс.), г/см <sup>3</sup>	2,26(1)
ρ(теор.), г/см <sup>3</sup>	2,247(3)
<i>Z</i>	4
Розмір кристалу, мм	0,3×0,3×0,7
<i>F</i> (000)	632
2θ <sub>макс.</sub> , град	55
Кількість рефлексів	1556
Кількість незалежних рефлексів $ F \geq 4\sigma(F) ^*$	1408
Вагова схема ( <i>w</i> )	$[\sigma(F)^2 + 0,009\sigma(F)^2]^{-1}$
<i>R</i>	0,0570
<i>R<sub>w</sub></i>	0,0740

\* Введена поправка на фактори Лоренца і поляризації

**Таблиця 2** Координати атомів та їх теплові\* параметри в структурі (OC<sub>4</sub>H<sub>8</sub>NH<sub>2</sub>)[Cu<sub>2</sub>Cl<sub>3</sub>]

Атом	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>	<i>B</i> <sub>екв.</sub> , Å <sup>2</sup>
Cu(1)	0,4155(1)	0,2408(1)	0,0444(2)	5,99(5)
Cu(2)	0,1495(2)	0,2311(1)	0,9504(3)	6,66(5)
Cl(1)	0,0761(2)	0,1487(2)	0,2274(3)	3,62(5)
Cl(2)	0,5005(2)	0,1470(2)	0,3190(3)	3,44(5)
Cl(3)	0,2963(2)	0,1417(2)	0,7796(3)	3,56(5)
N	0,2829(6)	0,9889(6)	0,3229(13)	3,8(2)
O	0,8166(6)	0,1912(4)	0,8348(10)	3,9(2)
C(1)	0,7527(8)	0,1282(7)	0,9737(13)	3,8(2)
C(2)	0,6622(8)	0,0710(7)	0,843(2)	4,2(2)
C(3)	0,7944(7)	0,0732(7)	0,5451(13)	3,6(2)
C(4)	0,8774(8)	0,1302(7)	0,6918(15)	3,7(2)
H(1)	0,830(5)	0,033(4)	0,438(8)	0,4(10)
H(2)	0,331(6)	0,019(5)	0,389(10)	1,7(13)
H(3)	0,937(7)	0,069(6)	0,758(12)	3,5(18)
H(4)	0,619(7)	0,018(7)	0,899(13)	3,7(19)
H(5)	0,234(7)	0,051(6)	0,276(12)	3,5(18)
H(6)	0,747(6)	0,111(5)	0,467(10)	1,7(12)
H(7)	0,927(6)	0,187(6)	0,630(12)	2,7(15)
H(8)	0,725(15)	0,227(13)	0,018(30)	11,1(53)
H(9)	0,803(11)	0,094(9)	0,068(19)	7,0(28)
H(10)	0,633(6)	0,115(6)	0,812(11)	2,1(14)

\*Для негідрогенових атомів  $B_{екв} = \frac{1}{3} \sum_i \sum_j B_{ij} a_i^* a_j^* (\bar{a}_i \bar{a}_j)$ , для атомів H – *B*<sub>ізо</sub>

**Результати та їх обговорення** су аніонних купрохлоридних комплексу. Кристали цього комплексу (OC<sub>4</sub>H<sub>8</sub>NH<sub>2</sub>)[Cu<sub>2</sub>Cl<sub>3</sub>] належить до кла- побудовані з дискретних одноза-

рядних катіонів морфолінію  $[\text{OC}_4\text{H}_8\text{NH}_2]^+$  та полімерних купрум(I) хлоридних аніонних фрагментів  $[\text{Cu}_2\text{Cl}_3^{2-}]_n$ . Будову структурного фрагменту комплексу  $[(\text{OC}_4\text{H}_8\text{NH}_2)\text{Cu}_2\text{Cl}_3]_n$  показано на рис. 1.

Комплексний аніон  $\text{Cu}_2\text{Cl}_3^-$  формується у вигляді ланцюгів, в якому атоми купруму(I) перебувають у тетраедричному оточенні з атомів хлору (табл. 3).

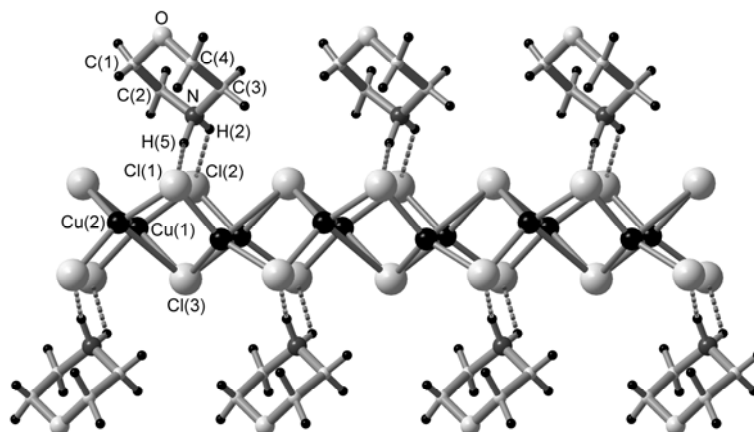


Рис. 1. Фрагмент структури комплексу  $(\text{OC}_4\text{H}_8\text{NH}_2)[\text{Cu}_2\text{Cl}_3]$

Координаційні тетраедри атомів  $\text{Cu}(1)$  і  $\text{Cu}(2)$  сполучаються між собою через ребра, причому таке об'єднання відбувається як вздовж

ланцюга (вісь  $[001]$ ), так і перпендикулярно до нього. В результаті в структурі виникають здвоєні ланцюги  $[\text{Cu}_2\text{Cl}_3^-]_n$  (рис. 1).

Таблиця 3 Довжини зв'язків ( $d$ ) і валентні кути ( $\omega$ ) в структурі  $(\text{OC}_4\text{H}_8\text{NH}_2)[\text{Cu}_2\text{Cl}_3]$

Зв'язок	$d$ , Å	Кут	$\omega$ , град
$\text{Cu}(1)\text{--Cl}(2)$	2,283(6)	$\text{Cl}(2)\text{--Cu}(1)\text{--Cl}(2)^*$	128,8(1)
$\text{Cu}(1)\text{--Cl}(2)^*$	2,304(6)	$\text{Cl}(2)\text{--Cu}(1)\text{--Cl}(3)$	113,5(1)
$\text{Cu}(1)\text{--Cl}(3)$	2,461(2)	$\text{Cl}(2)\text{--Cu}(1)\text{--Cl}(3)^*$	97,6(1)
$\text{Cu}(1)\text{--Cl}(3)^*$	2,589(2)	$\text{Cl}(3)\text{--Cu}(1)\text{--Cl}(3)^*$	113,9(1)
		$\text{Cl}(3)\text{--Cu}(1)\text{--Cl}(2)^*$	100,8(1)
		$\text{Cl}(3)^*\text{--Cu}(1)\text{--Cl}(2)^*$	101,9(1)
$\text{Cu}(2)\text{--Cl}(1)$	2,246(6)	$\text{Cl}(1)\text{--Cu}(2)\text{--Cl}(1)^*$	132,2(1)
$\text{Cu}(2)\text{--Cl}(1)^*$	2,249(6)	$\text{Cl}(1)\text{--Cu}(2)\text{--Cl}(3)$	114,0(1)
$\text{Cu}(2)\text{--Cl}(3)$	2,372(6)	$\text{Cl}(1)\text{--Cu}(2)\text{--Cl}(3)^*$	89,0(1)
$\text{Cu}(2)\text{--Cl}(3)^*$	3,081(6)	$\text{Cl}(3)\text{--Cu}(3)\text{--Cl}(3)^*$	101,0(1)
		$\text{Cl}(3)\text{--Cu}(2)\text{--Cl}(1)^*$	109,8(1)
		$\text{Cl}(3)^*\text{--Cu}(2)\text{--Cl}(2)^*$	100,6(1)
$\text{O--C}(1)$	1,437(5)	$\text{C}(1)\text{--O--C}(4)$	109,5(3)
$\text{O--C}(4)$	1,414(6)	$\text{O--C}(1)\text{--C}(2)$	110,5(3)
$\text{C}(1)\text{--C}(2)$	1,481(9)	$\text{O--C}(4)\text{--C}(3)$	110,3(3)
$\text{C}(4)\text{--C}(3)$	1,489(9)	$\text{C}(4)\text{--C}(3)\text{--N}$	109,1(3)
$\text{N--C}(3)$	1,505(6)	$\text{C}(1)\text{--C}(2)\text{--N}$	110,3(3)
$\text{N--C}(2)$	1,476(5)	$\text{C}(2)\text{--N--C}(3)$	111,4(3)
$\text{N--H}(5)$	1,05(5)		
$\text{N--H}(2)$	0,82(5)		
$\text{H}(5)\cdots\text{Cl}(1)$	2,22(5)	$\text{N--H}(5)\cdots\text{Cl}(1)$	159(4)
$\text{H}(2)\cdots\text{Cl}(2)$	2,63(6)	$\text{N--H}(2)\cdots\text{Cl}(2)$	136(5)

\* – атом, симетрично розмножений за допомогою відповідних елементів симетрії

Такі самі здвоєні ланцюги вперше були виявлені в структурі  $\text{Cs}[\text{Cu}_2\text{Cl}_3]$  [17]. На противагу аніону  $\text{Cu}_2\text{Cl}_3^-$  в структурі з'являється катіон морфолінію з конформацією «крісло», який утворюється внаслідок протонування (донорно-акцепторна взаємодія  $\text{H}^+ \leftarrow \text{N}$ ) атома нітрогену. Між обома структурними фрагментами  $[\text{Cu}_2\text{Cl}_3]^-$  і  $[\text{OC}_4\text{H}_8\text{NH}_2]^+$  виникає міцна електростатична (кулонівська) взаємодія, яка призводить до утворення іонних кристалів  $(\text{OC}_4\text{H}_8\text{NH}_2)[\text{Cu}_2\text{Cl}_3]$ . Аксонометричну проекцію елементарної комірки структури комплексу показано на рис. 2.

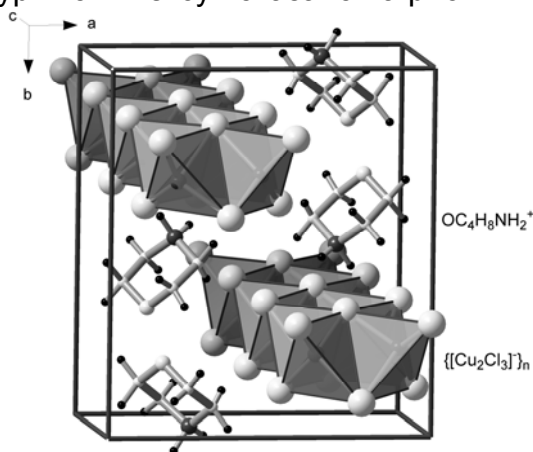


Рис. 2. Укладка складових структурних одиниць  $[\text{Cu}_2\text{Cl}_3]^-$  і  $\text{OC}_4\text{H}_8\text{NH}_2^+$  в елементарній комірці кристалів  $(\text{OC}_4\text{H}_8\text{NH}_2)[\text{Cu}_2\text{Cl}_3]$

Атоми гідрогену протонованої аміногрупи органічного ліганду утворюють міцні водневі зв'язки типу  $\text{N}-\text{H} \cdots \text{Cl}$  ( $\text{N}-\text{H}(5) \cdots \text{Cl}(1)$  2,22(5) Å), що свідчить про напрямлений характер іонної взаємодії [18]. Ці зв'язки поруч з іонними лише посилюють зв'язування горючого морфоліну з негорючою неорганічною складовою комплексу.

Варто зазначити, що у раніше дослідженого купрум(I) хлоридного комплексу з 2-амінопіридином [8], де функція акцепторів електронної пари аміногрупи належить атомам  $\text{Cu}(I)$ , спостерігається зовсім інший характер побудови структурних фрагментів комплексу. В кристалічній ґратці  $[\text{Cu}_2\text{Cl}_2(\text{NC}_5\text{H}_4\text{NH}_2)]$  формуються

нескінченні неорганічні фрагменти  $(\text{Cu}_4\text{Cl}_4)_n$ , в яких частина атомів купруму(I)  $\sigma$ -координується з атомом нітрогену ароматичного ядра молекули 2-амінопіридину; в межах полімерного фрагменту  $\{[\text{Cu}_4\text{Cl}_4(\text{NC}_5\text{H}_4\text{NH}_2)_2]_n\}$  з'являються внутрішньо-молекулярні водневі зв'язки, а самі фрагменти утримуються в кристалах комплексу слабкими міжмолекулярними зв'язками.

## Висновки

Дослідження процесу комплексоутворення, що відбувається в системі  $\text{CuCl} - \text{OC}_4\text{H}_8\text{NH} - \text{HCl} - \text{H}_2\text{O}$  засвідчило, що взаємодія концентрованого гідрохлоридного водного розчину  $\text{CuCl}$  з морфоліном зумовлює утворення кристалічного аніонного комплексу  $(\text{OC}_4\text{H}_8\text{NH}_2)[\text{Cu}_2\text{Cl}_3]$ , в якому на 1 моль горючої органічної речовини припадає 2 моль негорючої неорганічної солі. В кристалічній ґратці цієї сполуки формуються полімерні комплексні аніони  $[\text{Cu}_2\text{Cl}_3]^-$  і дискретні катіони  $\text{OC}_4\text{H}_8\text{NH}_2^+$ , виникнення яких зумовлене протонуванням атомів нітрогену органічного ліганду; складові одиниці комплексу утримуються в структурі силами електростатичної взаємодії, яка завдяки водневим зв'язкам  $\text{N}-\text{H} \cdots \text{Cl}$  суттєво посилюється. Все це якнайкраще сприяє міцному утримуванню легкозаймистого N-умісного вуглеводню в кристалічній ґратці комплексної сполуки та є причиною ефективного зниження горючості органічних амінів. Тому на практиці процеси комплексоутворення солей купруму з нітрогенумісними вуглеводнями з успіхом можна використовувати для підвищення пожежної безпеки хімічних виробництв, зокрема, для зберігання й транспортування в безпечній формі (зв'язаних у комплекс) легкозаймистих амінів чи нітрилів, необхідних потребам різних хіміко-технологічних циклів.

## Список використаної літератури

1. Темкин О.Н. Гомогенный металлокомплексный катализ. Кинетические аспекты / О.Н. Темкин. — М.: Академкнига, 2008. — 918 с.
2. Темкин О.Н. Ацетилен: Химия. Механизмы реакций. Технология / О.Н. Темкин, Г.К. Шестаков, Ю.А. Трегер — М.:Химия, 1991. — 416 с.
3. Мыхаличко Б.М. Полиядерные комплексы галогенидов меди(I): координационная химия и каталитические превращения алкинов / Б.М. Мыхаличко, О.Н. Темкин, М.Г. Мыськив // Успехи химии. — 2000. — Т. 69, № 11. — С. 1042–1070.
4. Годованець Н. Комплексоутворення в системі купрум(I) хлорид – N-вмісний органічний ліганд як ефективний чинник інгібування процесу горіння органічних амінів / Н. Годованець, Ю. Межерицька, Б. Михалічко, В. Баланюк, О. Щербина, Г. Винявська // Зб. Наук. Праць дванадцяті наукової конференції «Львівські хімічні читання – 2009» — Львів, 2009. — С. Д18.
5. Годованець Н.Н. Влияние процесса комплексообразования солей меди с аминами и нитрилами на снижение горючести N-содержащих органических веществ / Н.Н. Годованець, О.Н. Щербина, Г.Ф. Вынявская, Б.М. Мыхаличко // Сб. матер. международной научно-практической конференции «Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации». — Ч. 2. — Гомель, 2010. — С. 163–165.
6. Ксандопуло Г.И. Влияние комплексных соединений олова, сурьмы и меди с аминами на горючесть эпоксидных смол / Г.И. Ксандопуло, С.П. Чувашева, К.М. Гибов // Матер. совещ. «Механизм ингибирования цепных газовых реакций». — Алма-Ата, 1971. — С. 229–235.
7. Годованець Н.М. Стереохімічний та термохімічний аналіз сполук купрум(I) як основа пошуку ефективних інгібіторів горіння органічних речовин / Н.М. Годованець, О.М. Щербина, О.В. Меньшикова, Б.М. Михалічко // Матер. міжнародної науково-практичної конференції «Пожежна безпека-2007». — Черкаси, 2007. — С. 36–37.
8. Годованець Н.М. Пошук інгібіторів горіння органічних амінів на основі комплексних сполук Cu(I). Синтез та кристалічна структура  $\sigma$ -комплексу купрум(I) хлориду з 2-амінопіридином складу  $[\text{Cu}_2\text{Cl}_2(\text{NH}_2\text{C}_5\text{H}_4\text{N})]$  / Н.М. Годованець, Ю.В. Межерицька, Б.М. Михалічко, О.М. Щербина, Ю.І. Сливка // Пожежна безпека. — 2008. — № 12. — С. 55–60.
9. Годованець Н.М. Утворення комплексу  $(\text{H}_2\text{NC}_4\text{H}_8\text{NH}_2)[\text{CuCl}_3]$  в системі CuCl–піперазин–HCl як ефективний чинник інгібування горіння органічних амінів / Н.М. Годованець, Б.М. Михалічко, О.М. Щербина // Пожежна безпека. — 2009. — № 14. — С.84–91.
10. Годованець Н.М. Квантово-хімічне обчислення теплотворної спроможності купрум(I) хлоридного комплексу з 2-амінопіридином складу  $[\text{Cu}_2\text{Cl}_2(\text{NC}_5\text{H}_4\text{NH}_2)]$  / Н.М. Годованець, Б.М. Михалічко, О.М. Щербина // Пожежна безпека. — 2008. — № 13. — С. 108–112.
11. Годованець Н.М. Квантово-хімічний та термохімічний аналізи горючих властивостей аніонного комплексу  $(\text{H}_2\text{NC}_4\text{H}_8\text{NH}_2)[\text{CuCl}_3]$  / Н.М. Годованець, Б.М. Михалічко, О.М. Щербина // Пожежна безпека. — 2009. — № 15. — С. 61–66.
12. Годованець Н.Н. Влияние процесса комплексообразования на снижение горючести анилина в солянокислом водном растворе хлорида меди(I) / Н.М. Годованець, Б.М. Михалічко, О.М. Щербина, Г.Ф. Вынявская // Пожарная безопасность. — 2010. — № 4. — С. 70–76.
13. Джилкрист Т. Н. Химия гетероциклических соединений / Т. Н. Джилкрист. — М.: Мир, 1996. — 464 с.
14. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : [справочник / под ред.: А. Н. Баратова, А. Я. Корольченко]. — М.: Химия, 1990. — Ч. 1. — 496 с.; 1990. — Ч. 2. — 384 с.
15. Химическая энциклопедия : в 5 т. — М.: БРЭ, 1992. — Т. 3. — 641 с.
16. Аксельруд Л.Г. Пакет программ для структурного анализа кристаллов – CSD. Общее описание / Л.Г. Аксельруд, Ю.Н. Гринь, П.Ю. Завалий и др. — Львов, 1990.
17. Brink C. The crystal structure of  $\text{CsCu}_2\text{Cl}_3$  and  $\text{CsAg}_2\text{I}_3$  / Brink C., Binnendijk N.F., van dt Linde J. // Acta Crystallogr. — 1954. — Vol. 7, N 2. — P. 176–180.
18. Desiraju G.R. Hydrogen Bridges in Crystal Engeniering. Interaction without Borders / Desiraju G.R. // Acc. Chem. Res. — 2002. — Vol. 35. — P. 565–573.

Надійшла до редколегії 21.10.2011

© Годованець Н.М., Михалічко Б.М., Щербина О.М., Михалічко О.Б. , 2012