

DOI:10.26104/NNTIK.2022.1.6.022

Намазова Б.С., Байдинов Т.Б.

**CuCl<sub>2</sub>·2HCONH<sub>2</sub> – KCl – H<sub>2</sub>O СИСТЕМАСЫ 25°СДА ЖАНА КАТУУ  
ФАЗАЛАРДЫН КАСИЕТТЕРИ**

Намазова Б.С., Байдинов Т.Б.

**СИСТЕМА CuCl<sub>2</sub>·2HCONH<sub>2</sub> – KCl – H<sub>2</sub>O ПРИ 25°С  
И СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ ФАЗ**

*B. Namazova, T. Baidinov*

**CuCl<sub>2</sub>·2HCONH<sub>2</sub> – KCl – H<sub>2</sub>O SYSTEM AT 25°С AND  
PROPERTIES OF SOLID PHASES**

УДК: 546.526(575.2) (04)

Бул иш прикладдык маселени чечүүгө - жез (II) хлоридинин диформамиди жана калий хлоридинин негизинде биоактивдүү бирикмелерди синтездөөгө арналган. CuCl<sub>2</sub>·2HCONH<sub>2</sub> – KCl – H<sub>2</sub>O системасындагы гетерогендик тең салмактуулуктарды 25°Сда изилдөө үчүн эригичтиктин изотермиялык ыкмасы колдонулган. Натыйжада xCuCl<sub>2</sub>·2HCONH<sub>2</sub>:yKCl курамдагы катуу эритме пайда болгондугу аныкталган. Системада анын кристаллдашуусунун концентрациялык чеги аныкталып, катуу фазанын физико-химиялык касиеттери рентген-фазалык анализ жана ИК-спектроскопия аркылуу изилденген. Формамид менен жез хлоридинин ортосундагы химиялык байланыштын локализациясы координацияланган жана эркин абалдагы формамиддин ИК-спектрлериндеги сиңирүү тилкелеринин жылышынын негизинде аныкталды. Жез (II) хлоридинин диформамиди CuCl<sub>2</sub>·2HCONH<sub>2</sub> менен катуу эритменин xCuCl<sub>2</sub>·2HCONH<sub>2</sub>:yKCl ИК-спектрлеринин салыштырма анализ алардын бири-бири менен жакшы шайкеш келерин көрсөттү, б.а. кош бирикмеде да жана катуу эритмеде да металл-лиганддык байланыш формамиддин карбонил тобунун кычкылтек атому аркылуу пайда болот. Рентгендик фазалык анализ кошулмалардын индивидуалдуулугун көрсөтөт. Ошентип, эксперименталдык маалыматтар биз белгилеген катуу эритменин курамына жез (II) хлоридинин диформамиди жана калий хлориди кирет деп айтууга мүмкүндүк берет. Биологиялык активдүү зат катары жез (II) хлоридинин диформамидине CuCl<sub>2</sub>·2HCONH<sub>2</sub> жана xCuCl<sub>2</sub>·2HCONH<sub>2</sub>:yKCl катуу эритмесинне лабораториялык текшерүүлөр жүргүзүлдү. Сыноолордун натыйжасында бадыраңдын уруктарынын өнүү энергиясына жана өнүүсүнө препараттар оң таасир тийгизери аныкталды. Мында катуу эритмеде xCuCl<sub>2</sub>·2HCONH<sub>2</sub>:yKCl уруктун өнүү энергиясы 24%-ке, үрөндүн өнүп чыгуусу 18%га жогорулайт. Аякс F-2 сортундагы бадыраңдын уруктары жез (II) хлоридинин диформамиди жана катуу эритменин 0,01%дуу эритмелеринде жана салыштыруу үчүн дистирленген сууда чылганган.

**Негизги сөздөр:** жез (II) хлоридинин диформамиди, калий хлориди, эригичтик, катуу эритме, ИК-жутуу спектрлери, рентген-фазалык анализ, биологиялык активдүүлүк.

Данная работа посвящена к решению задачи прикладного характера – синтезу биоактивных препаратов на основе диформамида хлорида меди (II) и хлорида калия. Методом изотермической растворимости исследованы гетерогенные равновесия в системе CuCl<sub>2</sub>·2HCONH<sub>2</sub> – KCl – H<sub>2</sub>O при 25°С. В результате выявлено образование твердого раствора состава xCuCl<sub>2</sub>·2HCONH<sub>2</sub>:yKCl. Определены концентрационные пределы кристаллизации его в системе и исследованы физико-химические свойства твердой фазы методами рентгенофазового анализа и ИК-спектроскопии. О локализации химической связи между формамидом и хлоридом меди судили по смещению

полос поглощения в ИК-спектрах координированного и свободного формамида. Сравнительный анализ ИК спектров диформамида хлорида меди (II) CuCl<sub>2</sub>·2HCONH<sub>2</sub> и твердого раствора xCuCl<sub>2</sub>·2HCONH<sub>2</sub>:yKCl показал, что они хорошо согласуются между собой т.е. в двойном соединении и в твердом растворе связь металл-лиганд осуществляется через атом кислорода карбонильной группы формамида. Рентгенофазовый анализ свидетельствует об индивидуальности соединений. Таким образом, экспериментальные данные позволяют говорить, что в состав твердого раствора входят диформамид хлорида меди (II) и хлорид калия. Проведены лабораторные испытания диформамида хлорида меди CuCl<sub>2</sub>·2HCONH<sub>2</sub> и твердого раствора xCuCl<sub>2</sub>·2HCONH<sub>2</sub>:yKCl в качестве биологически активного вещества. Результаты испытаний показывают о положительном влиянии препаратов на энергию прорастания и всхожесть семян огурцов. При этом энергия прорастания семян в случае твердого раствора увеличивается на 24%, а всхожесть семян на 18%. Семена огурца сорта Аякс F-2 замачивали в 0,01%-ном растворе диформамида хлорида меди (II) и твердого раствора и для контроля в дистиллированной воде.

**Ключевые слова:** диформамид хлорида меди (II), хлорид калия, растворимость, твердый раствор, ИК-спектры, рентгенофазовый анализ, биологическая активность.

This work is devoted to solving an applied problem - the synthesis of bioactive drugs based on diformamide copper (II) chloride and potassium chloride. Heterogeneous equilibria in the CuCl<sub>2</sub>·2HCONH<sub>2</sub> - KCl - H<sub>2</sub>O system at 25°С have been investigated by the isothermal solubility method. As a result, the formation of a solid solution of the composition xCuCl<sub>2</sub>·2HCONH<sub>2</sub>:yKCl was revealed. The concentration limits of its crystallization in the system were determined, and the physicochemical properties of the solid phase were investigated by X-ray phase analysis and IR spectroscopy. The localization of the chemical bond between formamide and copper chloride was judged by the shift of absorption bands in the IR spectra of coordinated and free formamide. Comparative analysis of the IR spectra of copper (II) chloride diformamide CuCl<sub>2</sub>·2HCONH<sub>2</sub> and solid solution xCuCl<sub>2</sub>·2HCONH<sub>2</sub>:yKCl showed that they are in good agreement with each other, i.e. in the double compound and in solid solution, the metal-ligand bond is carried out through the oxygen atom of the carbonyl group of formamide. X-ray phase analysis indicates the individuality of the compounds. Thus, the experimental data allow us to say that the composition of the solid solution includes copper (II) chloride diformamide and potassium chloride. Laboratory tests of copper chloride diformamide CuCl<sub>2</sub>·2HCONH<sub>2</sub> and a solid solution of xCuCl<sub>2</sub>·2HCONH<sub>2</sub>:yKCl as a biologically active substance were carried out. The test results show a positive effect of the preparations on the germination energy and germination of cucumber seeds. In this case, the seed germination energy in the case of a solid solution increases by 24% and seed germination by 18%. Seeds of cucumber variety Ajax F-2 were

soaked in a 0,01% solution of diformamide copper (II) chloride and solid solution, for control, in distilled water.

**Key words:** diformamide copper (II) chloride, potassium chloride, solubility, solid solution, IR spectra, X-ray phase analysis, and biological activity.

**Введение.** Повышение урожайности различных сельскохозяйственных культур осуществляется путем применения различных химических соединений – стимуляторов роста и развития растений, полученных на основе формамида и неорганических солей [1,2,3]. Однако соединения формамида с неорганическими солями с содержанием компонентов минеральных удобрений изучено недостаточно. Известно, что медь и калий являются «биометаллами», а формамид жидким азот содержащим удобрением. В связи с этим вызывает интерес исследование взаимодействия координационного соединения хлорида меди на основе формамида с хлоридом калия в насыщенных водных растворах. Следует ожидать, что новые соединения, синтезированные на основе диформамида хлорида меди (II) ( $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{HCONH}_2$ ) и хлорида калия будут обладать полезными свойствами для растений и найдут практическое применение.

Целью настоящей работы является исследование фазовых равновесий в системе  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{HCONH}_2 - \text{KCl} - \text{H}_2\text{O}$  при  $25^\circ\text{C}$  для определения наличия или отсутствия в системе новых твердых фаз на основе компонентов системы. Выбор определялся важным значением солей калия и меди для растений, а также формамида, как азотосодержащего вещества с биологически активными свойствами. Система рассматривается как физико-химическая основа для синтеза биологически активных веществ. Данные о растворимости и фазовых равновесий в системе в доступной нам литературе не обнаружены, изотерма вышеуказанной системы изучается впервые.

**Материалы и методы исследования.** Изучение системы  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{HCONH}_2 - \text{KCl} - \text{H}_2\text{O}$  содержащей диформамида хлорида меди, хлорида калия и воды проводилось в виде тройной системы методом растворимости при  $25^\circ\text{C}$ . В качестве исходных компонентов использованы  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{HCONH}_2$  как самостоятельный компонент, который был синтезирован согласно [4], реактивы – хлористый калий, формамид марки «х.ч.» и «ч» соответственно. Равновесие в системе устанавливалось при непрерывном перемешивании смеси жидких и твердых фаз в термостате через 22-24 часа. Момент установления равновесия в системе контролировали сходимостью результатов химического анализа последних двух проб в жидкой фазе.

Содержание ионов меди определяли трилонометрическим титрованием [5], а азот формамида – методом Кьельдаля [6]. Хлор – ионы определяли методами Мора и Фольгарда [7]. Найденные процентные содержания ионов металлов связывались в соли. Идентификацию твердых фаз (в масс. %) проводили методом «остатков» Скрейнемаккера [8]. ИК спектры поглощения твердых фаз записывали на спектрофотометре Nicolet IR-1200 в виде таблеток с бромистым калием. Рентгенофазовый анализ выполняли на установке ДРОН 2,0 ( $\text{CuK}_\alpha$  излучение, Ni – фильтр).

**Результаты исследования и их обсуждение.**  
**Система  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{HCONH}_2 - \text{KCl} - \text{H}_2\text{O}$  при  $25^\circ\text{C}$ .**  
Изотерма растворимости системы  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{HCONH}_2 - \text{KCl} - \text{H}_2\text{O}$  при  $25^\circ\text{C}$  характеризуется тремя ветвями кристаллизации (рис. 1, табл. 1). В пределах первой ветви (от точки 1 до точки 7) из равновесных растворов кристаллизуется исходная соль диформамид хлорида меди (II)  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{HCONH}_2$ . Процесс кристаллизации  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{HCONH}_2$  заканчивается в эвтонической точке, равновесный раствор которого содержит 14,98%  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{HCONH}_2$  и 13,04% KCl.

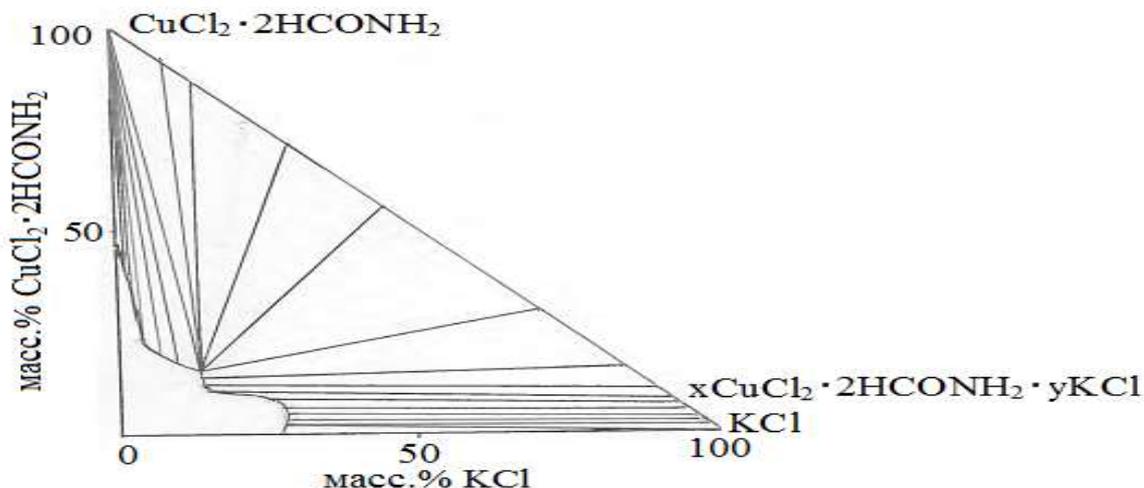


Рис. 1. Изотерма растворимости системы  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{HCONH}_2 - \text{KCl} - \text{H}_2\text{O}$  при  $25^\circ\text{C}$ .

Вторая ветвь соответствует выделению из равновесных растворов твердой фазы переменного состава  $x\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{HCONH}_2 \cdot y\text{KCl}$ . Переменный состав образующейся твердой фазы доказывается расходящимися веером лучами Скрейнемакера, соединяющими фигуративные точки жидких и твердых фаз.

Концентрационные пределы выделения твердо-

го раствора не очень широкие: по диформамиду хлорида меди  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{HCONH}_2$  – от 13,87% до 2,91% и от 12,90% до 27,01% по хлориду калия.

Кристаллизация хлорида калия в твердую фазу происходит на третьей ветви растворимости, которая проявляется единственным лучом Скрейнемакера на изотерме растворимости.

Таблица 1

Данные по растворимости в системе  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{HCONH}_2 - \text{KCl} - \text{H}_2\text{O}$  при 25°C

№	Состав жидкой фазы, масс. %		Состав твердой фазы, масс. %		Молекулярный состав твердых фаз
	$\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{HCONH}_2$	KCl	$\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{HCONH}_2$	KCl	
1.	47,82	-	-	-	$\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{HCONH}_2$
2.	42,76	1,03	61,92	0,79	
3.	33,59	2,48	68,77	1,04	
4.	25,81	4,39	65,20	2,18	
5.	20,03	6,80	61,33	3,49	
6.	18,05	8,53	65,64	3,81	
7.	14,98	13,04	61,27	6,25	
8.	14,61	12,97	56,11	10,09	$\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{HCONH}_2 + x\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{HCONH}_2 \cdot y\text{KCl}$
9.	14,45	13,04	55,62	12,91	
10.	14,50	13,00	56,48	25,19	
11.	14,55	13,02	43,91	46,01	
12.	14,60	12,81	27,18	60,29	
13.	13,87	12,90	15,99	78,08	$x\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{HCONH}_2 \cdot y\text{KCl}$
14.	12,51	13,09	11,00	61,08	
15.	11,77	13,87	9,81	70,38	
16.	8,51	25,02	7,49	75,04	
17.	7,00	27,04	6,04	85,03	
18.	4,78	28,00	4,14	87,02	
19.	4,00	27,84	3,77	89,11	
20.	2,91	27,01	1,98	90,65	
21.	2,52	27,58	0,87	92,33	$x\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{HCONH}_2 \cdot y\text{KCl} + \text{KCl}$
22	-	26,42	-	100,0	KCl

Инфракрасная спектроскопия широко используется для исследования химических соединений. Для установления присутствия формамида в полученном твердом растворе, а именно определения места координации его с атомом меди были исследованы ИК-спектры поглощения твердого раствора  $x\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{HCONH}_2 \cdot y\text{KCl}$  в области  $400-4000 \text{ см}^{-1}$ . ИК-спектры поглощения регистрировали на спектрометре с

использованием обычной методики растирание образцов и прессованием с бромидом калия.

В таблице 2 дано отнесение колебательных частот, найденных в ИК спектрах поглощения твердого раствора  $x\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{HCONH}_2 \cdot y\text{KCl}$ , а также формамида ( $\text{HCONH}_2$ ), диформамида хлорида меди (II) ( $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{HCONH}_2$ ) взятые из литературы [4] для сопоставления. Отнесение частот проведено согласно [9-11].

Таблица 2

Колебательные частоты ( $\text{cm}^{-1}$ ) в ИК – спектрах поглощения формамида, диформамида хлорида меди (II), твердого раствора  $x\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{HCONH}_2 \cdot y\text{KCl}$  и их отнесение.

Отнесение	$\text{HCONH}_2$ [4]	$\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{HCONH}_2$ [4]	$x\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{HCONH}_2 \cdot y\text{KCl}$
$\delta$ (OCN)	605	625, 665	627, 663
$\delta$ ( $\text{NH}_2$ )	670	785	769
$\delta$ (CH)	925	1060	1057
$\delta$ ( $\text{NH}_2$ )	1055	1097	1098
$\nu$ (CN)	1309	1353	1367
$\delta$ (CH)	1348	1370	1410
$\delta$ ( $\text{NH}_2$ )	1615	1585	1579
$\nu$ (CO)	1710	1690	1682
$\nu$ (CH)	2883	2940	2359
$\nu_s$ (NH)	3200	3220	3217
$\nu_{as}$ (NH)	3345	3275	3265
	3450	3410	3393

На ИК-спектрах полученного твердого раствора  $x\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{HCONH}_2 \cdot y\text{KCl}$  обнаруживаются все полосы, характерные для свободного формамида. При сопоставлении ИК спектров  $\text{HCONH}_2$ ,  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{HCONH}_2$  и  $x\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{HCONH}_2 \cdot y\text{KCl}$  наблюдается смещение по сравнению со спектром свободного формамида полос поглощения отнесенных к валентным колебаниям  $\nu(\text{CO})$  группы в длинноволновую область от 1710 до 1690 и 1682  $\text{cm}^{-1}$ , а  $\nu(\text{C-N})$  группы в коротковолновую область от 1309 до 1353 и 1367  $\text{cm}^{-1}$  соответственно.

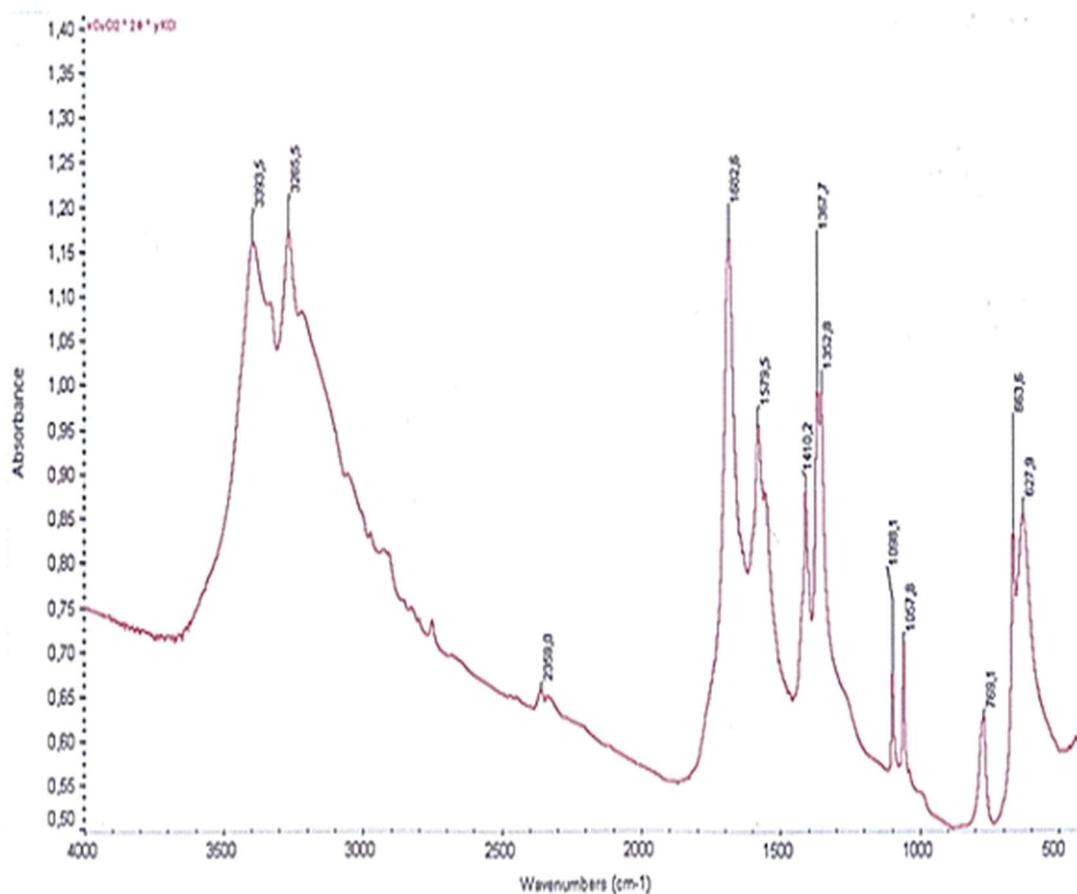


Рис. 2. ИК-спектры поглощения  $x\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{HCONH}_2 \cdot y\text{KCl}$ .

Такие смещения вызваны координацией формамида через карбонильный кислород, т.е. в двойном соединении и в твердом растворе связь металл-лиганд осуществляется через атом кислорода карбонильной группы формамида. Смещение деформационного колебания группы  $\delta(\text{OCN})$  свободного формамида ( $605 \text{ см}^{-1}$ ) на высокочастотную область в случае  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{HCONH}_2$  на  $625, 665 \text{ см}^{-1}$ , а в  $x\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{HCONH}_2 \cdot y\text{KCl}$  на  $627, 663 \text{ см}^{-1}$  также указывает на образование координационной связи с ионом меди через атом кислорода. Следовательно, образование твердых растворов  $x\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{HCONH}_2 \cdot y\text{KCl}$  в состав которого входит  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{HCONH}_2$  подтверждается и данными ИК спектров поглощения. Результаты рентгенофазового анализа (рис. 3, табл. 3) также подтверждают образование твердых растворов.

Таблица 3

Данные рентгенофазового анализа твердых фаз системы  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{HCONH}_2 - \text{KCl} - \text{H}_2\text{O}$

$\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{HCONH}_2$		$x\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{HCONH}_2 \cdot y\text{KCl}$	
$d, \text{Å}$	$I/I_0, \%$	$d, \text{Å}$	$I/I_0, \%$
4,1829	51,8	3,3543	5,89
3,9549	92,6	<b>3,1382</b>	100
3,8047	44,4	2,4629	9,46
3,5758	100	<b>2,2241</b>	23,53
3,1425	66,6	2,0127	2,94
3,0460	61,1	<b>1,8197</b>	6,65
2,9766	47,2	1,7429	1,85
2,9459	30,5	<b>1,5771</b>	5,38
2,8828	43,5	1,5597	3,53
2,5369	64,8	1,5037	0,71
2,5136	38,89	1,4234	1,98
2,4207	25,9	<b>1,4093</b>	10,68
2,2648	35,2	1,2863	5,89
2,1118	37,0	1,1647	0,81
2,0394	25,0	1,1624	0,79
2,0059	37,0	1,1147	1,87
1,9544	34,2	1,1045	1,43
1,9247	25,9		
1,9057	35,2		
1,8783	64,8		
1,8611	33,3		
1,8406	37,0		
1,8112	38,9		
1,7442	33,3		
1,6819	24,1		
1,4769	29,6		
1,4559	13,0		
1,3956	13,0		
1,3440	20,4		
1,2730	13,0		
1,1500	18,4		
1,1143	18,5		

Как видно из таблицы 3 дифрактограммы твердого раствора  $x\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{HCONH}_2 \cdot y\text{KCl}$  отличаются от соответствующих данных дифрактограммы хлорида меди (II)  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{HCONH}_2$ . Межплоскостные расстояния и интенсивность характеризующие кристаллические решетки каждого из соединений отличаются друг от друга, которые позволяют утверждать наличие собст-

венной кристаллической решетки. В работе [12] приведена рентгенограмма KCl, где найдены межплоскостные расстояния ( $d, \text{Å}$ ): 1,41, 1,57, 1,82, 2,22 и 3,14. Очень близкие значения на эти межплоскостные расстояния проявляются и в рентгенограмме  $x\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{HCONH}_2 \cdot y\text{KCl}$ , (в таблице 3 они выделены) указывая на присутствие KCl в составе твердого раствора.

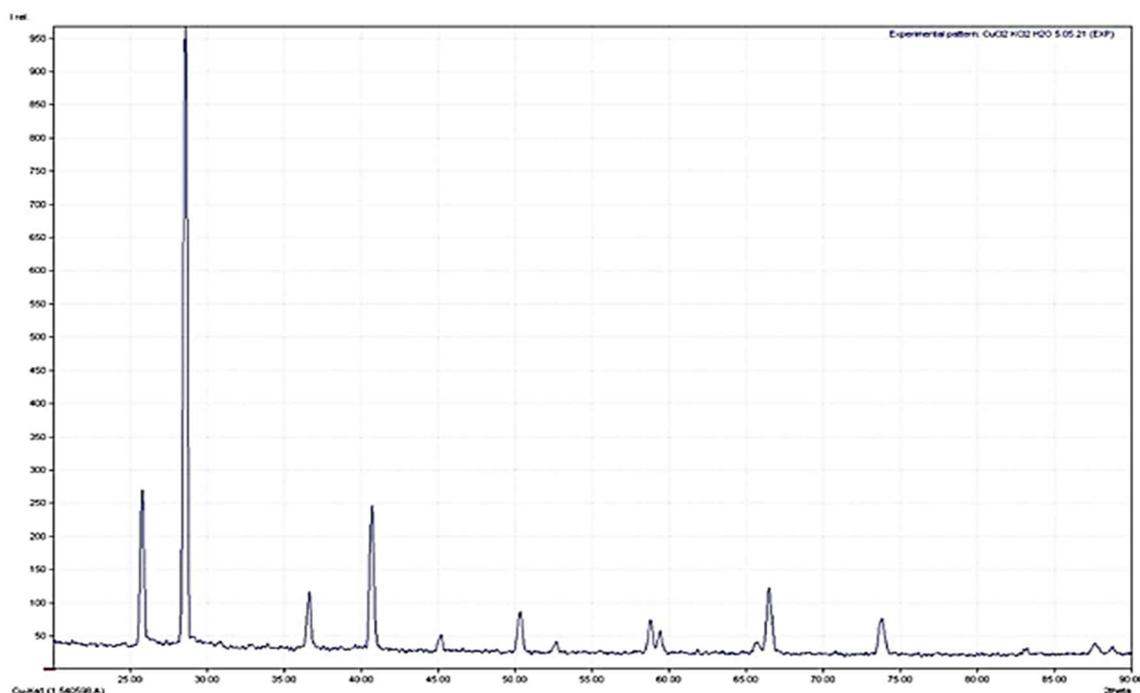


Рис. 3. Рентгенограмма  $x\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{HCONH}_2 \cdot y\text{KCl}$ .

Нами были проведены лабораторные испытания соединения  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{HCONH}_2$  и твердого раствора  $x\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{HCONH}_2 \cdot y\text{KCl}$  в качестве биологически активных веществ. Предпосевная обработка семян огурцов сорта «Аякс F-2» растворами  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{HCONH}_2$  и твердого раствора  $x\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{HCONH}_2 \cdot y\text{KCl}$  показали, что твердый раствор лучше способствует увеличению энергии прорастания на 24% и всхожесть семян на 18% по сравнению с контролем которым служила вода. Наиболее эффективной концентрацией твердого раствора оказалось 0,01%-ная концентрация.

#### Литература:

1. Фролова Е.А. Взаимодействие в системе  $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2 - \text{HCONH}_2 - \text{H}_2\text{O}$  / Журнал неорганической химии. 2008. - Т.53. - №6. - С.1017-1019.
2. Фролова Е.А. Изотерма растворимости системы  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 - \text{HCONH}_2 - \text{H}_2\text{O}$  // Журнал неорганической химии. 2009. - Т.54. - №11. - С. 1907-1909.
3. Фролова Е.А. Система нитрат меди – формамид – вода при 25°C / Журнал неорганической химии. 2011. - Т.56. - №11. - С.1895-1898.
4. Байдинов Т.Б., Байчалова С.Б., Иманакунов Б.И. Координационные соединения меди (II) с формамидом. / Журнал неорганической химии. 1985. - Т.30. - №8. - С. 2184-2187.
5. Иванов В.М., Рудометкина Т.Ф. Применение этилендиаминтетраацетата натрия в химическом анализе. М.: Моск. гос. ун-т им. М.В. Ломоносова, 2019. - С. 19-21.
6. Величко Н.А., Шанина Е. В. Пищевая химия: уч. пособие. Краснояр. гос. аграр. ун-т, Красноярск. 2010. - С. 16-17.
7. Лебедева М.И. Аналитическая химия: учебное пособие Тамбов: изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. -160 с.
8. Аносов В.Я., Озерова М.И., Фиалков Ю.Я. Основы физико-химического анализа. - М.: Наука. 1976. - 504 с.
9. Парпиев Н.А., Цинцадзе Г.В., Харитонов Ю.Я. и др. Координационные соединения металлов с формамидом. - Ташкент, ФАН, 1980. - 113 с.
10. Цинцадзе Г.В., Харитонов Ю.Я., Цивадзе А.Ю., Кузнецов С.Л., Церетели К.Н. Расчет и интерпретация колебательных спектров формамида, N,N-диметилформамида, ацетамида, N,N-диметилацетамида и комплексов йодида цинка на их основе. //Координационная химия, 1996. - Т.22. - №7.
11. Накамото К. Инфракрасные спектры и спектры КР неорганических и координационных соединений. - М.: Мир, 1991. - С. 536 с., ил.
12. Хазиханова Б.Х. Метафосфат калия на основе хлорида калия и соли Грэма в системе  $\text{K, Na/Cl, PO}_3 - \text{H}_2\text{O}$ . / Вестник КазНУ. Серия химическая №4 (64), 2011. - С. 209-212.