

В. П. Андреев, Я. П. Нижник, С. Г. Тунина, Б. З. Белашев

ДОНОРНО-АКЦЕПТОРНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ГЕТЕРОАРОМАТИЧЕСКИХ  
N-ОКСИДОВ С ХЛОРИДАМИ МЕДИ И ЦИНКА

Получены и охарактеризованы 13 новых молекулярных комплексов N-оксидов пиридинов и хинолинов с  $\text{CuCl}_2$  и  $\text{ZnCl}_2$  состава 1 : 1 и 2 : 1. Их структура зависит от строения лиганда, природы металла и соотношения реагентов при комплексообразовании.

**Ключевые слова:** гетероароматические N-оксиды, донорно-акцепторные комплексы, пиридин, хинолин, хлориды меди и цинка.

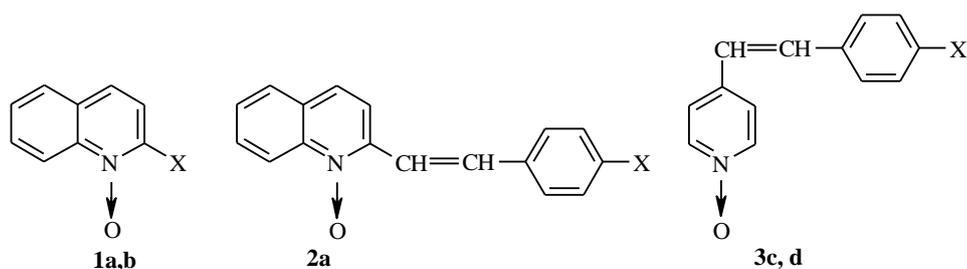
Данная работа является продолжением исследования структуры и свойств донорно-акцепторных комплексов N-оксидов пиридинов, хинолинов, изохинолина и акридина с  $\nu$ -акцепторами. Ранее нами было показано, что координация в них обычно осуществляется по атому кислорода группы  $\text{N}\rightarrow\text{O}$  с образованием стабильных комплексов состава 1:1. Исключение составляют аддукты N-оксида 4-нитрохинолина с  $\text{BF}_3$  (донорными центрами являются атомы кислорода нитрогруппы [1]), с  $\text{HCl}$ ,  $\text{HBr}$  и  $\text{AlCl}_3$  (быстро происходит замещение нитрогруппы на атом галогена [2]), а также комплексы N-оксидов 4-(4-диметиламиностирил)хинолина и пиридина, в которых вторые молекула  $\text{BF}_3$  или протон легко присоединяются к аминогруппе [3].

Поскольку указанные выше акцепторы являются в соответствии с принципом Пирсона жесткими кислотами, нам представлялось интересным изучить комплексообразование также с  $\text{Zn}^{2+}$  (пограничная кислота) и  $\text{Cu}^{2+}$  (мягкая кислота) [4], тем более, что галогениды этих металлов часто используют в органическом синтезе.

Согласно работам [5–7] N-оксиды пиридина и хинолина образуют с солями цинка и меди аддукты, строение которых зависит от типа аниона. Так, перхлорат или нитрат цинка образуют кристаллы состава  $\text{ZnL}_6\text{X}_2$  (где L – N-оксид, X – анион), а более основный хлорид-анион дает комплексы типа  $\text{ZnL}_2\text{X}_2$ ; с перхлоратом меди получены аддукты  $\text{CuL}_6\text{X}_2$  и  $\text{CuL}_4\text{X}_2$ , а с хлоридом и бромидом –  $\text{CuL}_2\text{X}_2$  и  $\text{CuLX}_2$ . Кроме того в работе [6] отмечается, что состав комплексов с  $\text{CuCl}_2$  и  $\text{CuBr}_2$  зависит и от основности лиганда. Если для N-оксида хинолина и его 6-метил- и 4-метилпроизводных авторам удалось получить только комплексы состава 1:1, то для менее основных нитро- и хлорпроизводных соотношение лиганд– $\text{CuX}_2$  составляет 2:3, 2:1, 1:1 или 3:4.

Однако представленные в литературе данные отрывочны и не дают ясной картины о причинах существования того или иного типа комплексов. Поэтому мы попытались оценить влияние различных факторов, в частности полярных и пространственных эффектов, на процесс координации.

В качестве объектов исследования были выбраны, с одной стороны, хлориды цинка и меди, образующие с N-оксидами пиридина соединения более простого состава, чем соли с анионами меньшей основности [5], а, с другой стороны, N-оксиды **1–3** без электроноакцепторных заместителей, снижающих основность лиганда, но с различным стерическим окружением около группы N→O, обычно принимающей участие в комплексообразовании.



a X = H, b X = Me, c X = OMe, d X = NMe<sub>2</sub>

Комплексы N-оксидов **1–3** нами были выделены в индивидуальном состоянии из соответствующих насыщенных этанольных растворов смеси донора и акцептора (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Характеристики молекулярных комплексов гетероароматических N-оксидов с CuCl<sub>2</sub> и ZnCl<sub>2</sub>

N-Оксид (D)	MeCl <sub>2</sub> (A)	D : A	Цвет	Т. пл., °С	Выход, %
<b>1a</b>	ZnCl <sub>2</sub>	2 : 1	Белый	198–200	72
	CuCl <sub>2</sub>	1 : 1*	Черно-коричневый	208–209	58
	CuCl <sub>2</sub>	2 : 1	Красный	175–177	74
<b>1b</b>	ZnCl <sub>2</sub>	2 : 1	Белый	220	60
	CuCl <sub>2</sub>	1 : 1	Красно-коричневый	166–167	61
	CuCl <sub>2</sub>	2 : 1	Зеленовато-коричневый	132	60
<b>2a</b>	ZnCl <sub>2</sub>	2 : 1	Серовато-желтый	222–223	70
	CuCl <sub>2</sub>	2 : 1	Коричневый	186–187	72
<b>3c</b>	ZnCl <sub>2</sub>	2 : 1	Желто-оранжевый	213–215	74
	CuCl <sub>2</sub>	1 : 1	Черно-коричневый	218–219	80
<b>3d</b>	ZnCl <sub>2</sub>	2 : 1	Ярко-красный	230–232	32
	ZnCl <sub>2</sub>	1 : 1	Оранжево-красный	225–235	76
	CuCl <sub>2</sub>	1 : 1**	Коричневый	—	75
	CuCl <sub>2</sub>	2 : 1	Черно-коричневый	145 (разл.)	60

\* Комплекс был синтезирован ранее [6], но его характеристики в работе не приведены.

\*\* Температуру плавления определить не удалось (не происходит резких видимых изменений состояния вещества).

Обнаружено, что с  $ZnCl_2$  N-оксиды **1a,b**, **2a** и **3c** образуют только комплексы с соотношением лиганд– $ZnCl_2$  2:1, а N-оксид **3d** также и 1:1. В случае же  $CuCl_2$  в зависимости от соотношения реагентов, вступающих в реакцию, образуются аддукты состава 2:1 и 1:1. Исключение составляют N-оксиды **2a** и **3c**, которые образуют только комплексы 2:1 или 1:1 соответственно. Мы зарегистрировали также существование и других типов аддуктов, которые не были выделены в индивидуальном состоянии. Так, после смешения N-оксидов **1a,b** и **2a** с  $CuCl_2$  выпадает желтый осадок, который в течение нескольких минут в зависимости от условий проведения эксперимента преобразуется в комплексы состава 2:1 или 1:1. При смешении растворов N-оксида **3c** и  $ZnCl_2$  первоначально выпадает небольшое количество бесцветных кристаллов, которые со временем дают комплекс состава 2:1. Следует отметить, что соединение **3c** имеет желтый цвет. Ранее нами было показано [3], что подобный гипсохромный эффект при взаимодействии стирильных производных N-оксидов с  $HCl$  и  $BF_3$  наблюдается в тех случаях, когда в комплексообразовании принимают участие одновременно группы  $N \rightarrow O$  и  $OCH_3$  (или  $N(CH_3)_2$ ), находящиеся в прямом резонансном сопряжении друг с другом, что связано с ослаблением процессов внутримолекулярного переноса заряда. Поэтому можно предположить, что в данном случае в реакционной смеси сначала с  $ZnCl_2$  образуется комплекс состава 1:2, который постепенно перегруппировывается в более устойчивый – 2:1.

Данные электронной и ИК спектроскопии позволяют отнести все выделенные соединения к комплексам  $n, \nu$ -типа.

В ИК спектрах N-оксидов **1–3** присутствуют очень сильные полосы валентных колебаний в области  $1365–1250\text{ см}^{-1}$ , характерные для группы

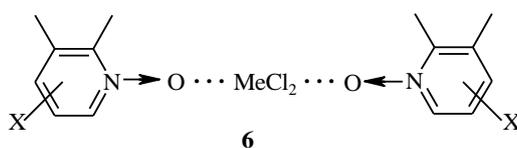
Т а б л и ц а 2

Данные ИК спектроскопии в КВт гетероароматических N-оксидов (D) и их молекулярных комплексов с  $ZnCl_2$  и  $CuCl_2$  (A)

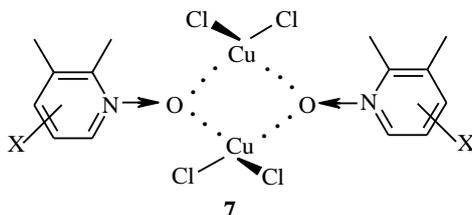
N-Оксид	MeCl <sub>2</sub>	D : A	Область колебаний связей ( $\nu$ , $\text{см}^{-1}$ )					
			N=O $\leftrightarrow$ N <sup>+</sup> –O <sup>–</sup>			Me–Cl		
<b>1a</b>	–	–	1310 с.	1267 с.	–	–	–	–
	$ZnCl_2$	2 : 1	1310 о.сл.	1270 ср.	1177 ср.	–	–	307 с.
	$CuCl_2$	1 : 1	1310 сл.	1272 ср.	1175 ср.	343 с	336 с.	–
	$CuCl_2$	2 : 1	1313 сл.	1270 ср.	1180 о. с.	350 сл.	–	320 ср
<b>1b</b>	–	–	1340 о. с.	1272 ср.	–	–	–	–
	$ZnCl_2$	2 : 1	1350 с.	1275 сл.	1188 о. с.	–	–	328 ср. 305 с.
	$CuCl_2$	1 : 1	1350 сл.	1277 о.сл.	1186 ср.	340 с.	–	310 с.
<b>2a</b>	$CuCl_2$	2 : 1	1350 ср.	1278 сл.	1187 с.	353 ср.	–	335 с. 305 с.
	–	–	1363 о. с.	1277 ср.	–	–	–	–
	$ZnCl_2$	2 : 1	1358 ср.	1281 сл.	1206 с.	–	–	–
<b>3c</b>	$CuCl_2$	2 : 1	1363 сл.	1285 о.сл.	1208 с.	340 с.	–	330 ср. 313 с.
	–	–	–	1250 о. с	–	–	–	–
<b>3d</b>	$ZnCl_2$	2 : 1	–	1250 с.	1210	–	–	325 сл. 310 сл.
	$CuCl_2$	1 : 1	–	1255 с.	1205 ср.	–	–	325 сл. 300 сл.
<b>3d</b>	–	–	–	1260 о. с.	–	–	–	–
	$ZnCl_2$	2 : 1	–	–	1207 с.	–	–	325 сл. 310 сл.
	$ZnCl_2$	1 : 1	–	–	1207 с.	–	–	330 ср. 311 сл.
	$CuCl_2$	1 : 1	–	–	1210 ш.	–	–	320 сл.
$CuCl_2$	2 : 1	–	–	1207 с.	–	–	323 сл.	

N→O (табл. 2). В то же время в спектрах их комплексов с ZnCl<sub>2</sub> и CuCl<sub>2</sub> указанные полосы уменьшают интенсивность или исчезают совсем (аддукты с N-оксидом **3d**) и появляются новые в области 1175–1210 см<sup>-1</sup> за счет образования донорно-акцепторной связи кислород–металл, что согласуется с данными для аддуктов N-оксида пиридина [5]. Кроме того, в области 350–300 см<sup>-1</sup> возникают полосы поглощения, обусловленные наличием связей металл–хлор [6].

В электронных спектрах комплексов N-оксидов **1a,b** и **2a** с ZnCl<sub>2</sub> и CuCl<sub>2</sub> состава 2:1 (табл. 3) в этаноле, хлороформе и хлористом метиле положение длин волн полос поглощения практически не меняется, но наблюдается значительный гиперхромный эффект, что может быть вызвано увеличением длины цепи сопряжения в структуре соединения **6** по сравнению с исходными гетероароматическими соединениями.



Электронные спектры комплексов N-оксидов **1a,b** с CuCl<sub>2</sub> состава 1:1 в этаноле почти идентичны спектрам самих N-оксидов, но в хлористом метиле проявляется сильный гипохромный эффект. Для аналогичных аддуктов с N-оксидами пиридинов в литературе предлагаются структуры типа **7** [8].



Для N-оксида **2a** подобный комплекс синтезировать не удалось даже при 4-кратном избытке CuCl<sub>2</sub>. На наш взгляд, это вызвано стерическими причинами – близостью к донорному центру N→O стирильной группы, занимающей значительно больший объем, чем группа CH<sub>3</sub> и особенно атом водорода. В этом случае энергетически должно быть менее выгодно комплексообразование с CuCl<sub>2</sub> со стороны этого заместителя, и поэтому при любых соотношениях донора и акцептора образуется аддукт состава 2:1.

Особое место занимают N-оксиды **3c,d**, которые, в отличие от рассмотренных выше, обладают, во-первых, пространственно более доступной для комплексообразования группой N→O (отсутствуют конденсированная система и заместители в положении 2), во-вторых, электронодонорными группами OCH<sub>3</sub> и N(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, находящимися в прямом резонансном сопряжении с N-оксидной функцией, но не оказывающими на нее стерического влияния и, в третьих, дополнительным гетероатомом (кислород или азот), способным образовывать молекулярные комплексы *n,v*-типа на противоположных концах молекулы.

Электронные спектры N-оксидов (D) и их комплексов с ZnCl<sub>2</sub> и CuCl<sub>2</sub> (A)

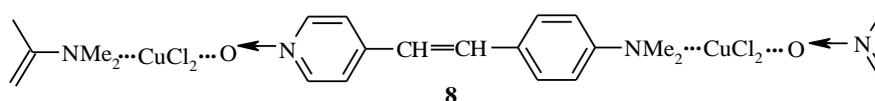
N-Оксид	MeCl <sub>2</sub>	D : A	Растворитель*	$\lambda_{\max}$ , нм (lg $\epsilon$ )	
1	2	3	4	5	
<b>1a</b>	–	–	96% этанол	210 пл; 231 (4.60); 325 (3.84); 340 пл (3.79)	
			Хлороформ	250 пл; 325 (3.82); 335 (3.89); 350 пл (3.83)	
			CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	247 (4.03); 327 пл (3.77); 339 (3.80); 355 пл (3.69)	
	ZnCl <sub>2</sub>	2 : 1	96% этанол	207 (4.26); 231 (5.08); 318 пл (4.13); 326 (4.14); 340 пл (4.08)	
			Хлороформ	247 (4.57); 324 (4.28); 336 (4.33); 350 (4.22)	
			CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	242 пл (3.93); 245 (3.94); 250 пл; 270 пл; 313 пл; 322 (3.88); 335 (3.88)	
	CuCl <sub>2</sub>	1 : 1	96% этанол	207 (4.06); 231 (4.87); 318 пл (3.88); 326 (3.89); 340 пл (3.82)	
			CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	250 пл (3.34); 326 (3.15); 340 (3.17); 354 (3.11); 379 (2.83)	
	CuCl <sub>2</sub>	2:1	96% этанол	207 (4.02); 230 (4.57); 320 (3.83); 338 (3.80)	
			CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	250 пл (4.34); 326 (4.06); 339 (4.08); 354 (4.03); 380 (3.55)	
	<b>1b</b>	–	–	96% этанол	213 пл; 230 пл; 237(4.60); 319(3.79); 328 пл
				Хлороформ	310 (3.81); 321 (3.85); 343 пл (3.13)
CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>				245 (4.36); 326 пл (3.51); 335 (3.85); 345 пл (3.47)	
ZnCl <sub>2</sub>		2 : 1	96% этанол	208 (4.40); 230 (4.88); 236 (4.94); 316 (4.15); 327 (4.09)	
			Хлороформ	246 (4.59); 327 (4.14); 342 пл (4.08)	
			CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	248 (4.23); 314 (4.24); 326 (4.22)	
CuCl <sub>2</sub>		1 : 1	96% этанол	208 (4.23); 230 пл (4.54); 236 (4.58); 310 (3.84); 331 пл (3.71); 368 пл	
			CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	250 пл (3.72); 313 (3.56); 318 (3.57); 323 (3.56); 347 (3.35); 385 (3.20)	
CuCl <sub>2</sub>		2 : 1	96% этанол	230 (4.95); 236 (5.01); 316 (4.19); 328 (4.14)	
			CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	250 пл (4.34); 326 (4.06); 339 (4.08); 354 (4.03); 380 (3.55)	
<b>2a</b>		–	–	96% этанол	202 (4.26); 208 пл; 237 (4.23); 247 пл; 300 (4.54); 308 (4.55); 350 пл (4.35); 360 (4.16)
				Хлороформ	243 (4.26); 302 пл; 311 (4.62); 352 пл (4.28); 365 (4.32)
	CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>			245 (4.19); 307 (4.57); 312 (4.56); 355 пл (4.16); 367 (4.18)	
	ZnCl <sub>2</sub>	2 : 1	96% этанол	203 (4.51); 208 пл; 237 (4.54); 247 пл; 297 пл (4.78); 307 (4.81); 350 пл (4.62); 363 (4.65)	
			Хлороформ	245 (4.43); 310 (4.78); 353 пл (4.43); 367 (4.47)	
			CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	245 (4.44); 307 (4.79); 365 (4.61)	
	CuCl <sub>2</sub>	2 : 1	96% этанол	207 (4.52); 237 (4.59); 247 пл; 299 пл (4.87); 307 (4.90); 350 пл (4.67); 362 (4.70)	
			CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	242 (4.77); 305 (5.12); 314 (5.11); 353 (4.85); 367 (4.86)	
	<b>3c</b>	–	–	96% этанол	211 (3.92); 227 (3.95); 237 (3.92); 356 (4.52)
				Хлороформ	363 (4.81); 380 пл
				CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	245 (3.91); 360 (4.66); 380 пл
		ZnCl <sub>2</sub>	2 : 1	96% этанол	201 (4.59); 222 пл; 226 (4.50); 238 пл; 357 (4.94)
Хлороформ				247 (4.04); 362 (4.78)	
CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>				246 (3.48); 253 пл; 345 пл (3.93); 360 (3.96); 374 (3.98); 380 пл (3.96)	
CuCl <sub>2</sub>		1 : 1	96% этанол	201 (4.20); 225 (4.07); 238пл; 357 (4.62)	
			CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	242 (3.46); 360 (3.83)	
<b>3d</b>		–	–	96% этанол	207 (4.28); 223 пл; 243 пл; 272 пл; 303 пл; 346 (4.16) 420 (4.37)
				Хлороформ	247 (3.89); 340 (4.22); 408 (4.31)
				CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	247 (3.95); 255 пл; 286 (3.81); 307 пл (3.95); 318 (4.00); 330пл (3.98); 403 (4.57)

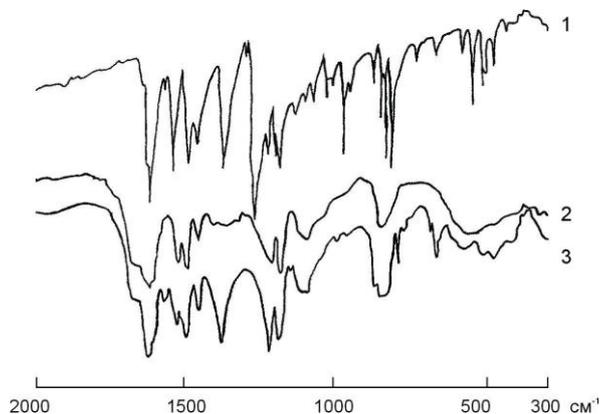
1	2	3	4	5
	ZnCl <sub>2</sub>	2 : 1	96% этанол Хлороформ CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	207 (4.49); 224 (4.37); 253 (4.12); 307 (4.20); 408 (4.83) 243; 263 пл; 301; 420 245 (4.08); 265 (4.12); 299 (4.18); 403 пл (4.64); 419 (4.66); 437 (4.66)
	ZnCl <sub>2</sub>	1 : 1	96% этанол Хлороформ CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	204 (4.27); 223 пл (4.10); 253 пл; 280 (4.12); 407 (4.36) 250; 285; 322; 405 246 (3.66); 260 пл (3.65); 291 пл; 302 (3.71); 319 пл; 420 (4.37)
	CuCl <sub>2</sub>	1 : 1	96% этанол Хлороформ	208; 270; 307 пл; 345–360 пл; 405пл 252 пл; 278; 385–420 пл
	CuCl <sub>2</sub>	2 : 1	96% этанол CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	224 (4.48); 255 пл (4.23); 304 (4.29); 407 (4.81) 253 пл; 320–333 пл (3.90); 405 (4.38)

\* Ввиду плохой растворимости в хлороформе медных комплексов электронные спектры в этом растворителе не снимали; при съемке спектров насыщенных растворов не определяли коэффициенты экстинкции.

В отличие от других случаев комплекс N-оксида **3c** с CuCl<sub>2</sub> состава 2:1 не удается получить даже при 4-кратном избытке лиганда. При этом выделяется аддукт состава 1:1. Кроме того, электронные спектры аддукта N-оксида **3c** (подобно **1a,b** и **2a**) с ZnCl<sub>2</sub> состава 2:1 по положению полос поглощения почти не изменяются при комплексообразовании. Однако значения коэффициентов экстинкции сильно зависят от используемого растворителя: в этаноле проявляется гиперхромный, в хлороформе – нулевой, а в хлористом метиле – гипохромный эффекты. Возможно, это связано с различной способностью данных растворителей образовывать водородные связи (этанол >> хлороформ > хлористый метиле) и наличием метокси-группы в лиганде. В то же время для комплексов N-оксида **3d** с CuCl<sub>2</sub> и ZnCl<sub>2</sub> состава 2:1 во всех случаях в электронных спектрах наблюдается гиперхромный эффект, для длинноволновой полосы в этаноле – гипохромный, а в хлороформе и хлористом метиле – батохромный (особенно сильный с ZnCl<sub>2</sub>) сдвиги.

Закономерности, наблюдающиеся в электронных спектрах аддукта N-оксида **3c** с CuCl<sub>2</sub> состава 1:1, подобны описанным выше для N-оксидов **1a,b** (структура типа **7**); тогда как при образовании комплекса такого же состава с N-оксидом **3d** спектры претерпевают большие изменения. Тот факт, что этот аддукт не имеет четкой температуры плавления, плохо растворим даже в CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> и в длинноволновой области электронных спектров имеет широкие полосы поглощения (уширение полос наблюдается и в ИК спектре, рисунок), по-видимому, указывает на комплексообразование как по атому кислорода группы N→O, так и по атому азота диметиламиногруппы, вероятно, с образованием цепочек различной степени полимеризации типа **8**.





ИК спектры (KBr) N-оксида **3d** (1) и его комплекса с  $\text{CuCl}_2$ , 1 : 1, сразу после образования кристаллов (2) и через несколько суток стояния реакционной смеси (3)

Для N-оксида **3d** удалось получить с  $\text{ZnCl}_2$  комплекс состава 1:1, имеющий те же особенности, что и аналогичный комплекс с  $\text{CuCl}_2$  (широкий интервал температуры плавления, сильно отличающиеся от исходного N-оксида электронные спектры, содержащие плато и проявляющие гипохромный эффект в хлористом метиле, а также пониженную растворимость по сравнению с другими аддуктами, включающими цинк). Повидимому, строение данного комплекса аналогично структуре **8**.

Литературные и полученные нами данные позволяют сделать вывод о том, что строение стабильных молекулярных комплексов гетероароматических N-оксидов с такими  $\nu$ -акцепторами как  $\text{HCl}$ ,  $\text{BF}_3$ ,  $\text{ZnCl}_2$  и  $\text{CuCl}_2$  зависит от природы лиганда (его основности, электронных и пространственных эффектов заместителей, количества и типа донорных центров) и акцептора (жесткости всей молекулы или составляющих ее ионов), а также от соотношения реагентов в реакционной смеси и продолжительности реакции. При этом увеличению числа типов аддуктов способствуют уменьшение основности N-оксида и жесткости кислоты Льюиса.

В дальнейшем предполагается детальное исследование полученных впервые комплексов методом РСА.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

ИК спектры зарегистрированы на приборе Specord M-80 в таблетках KBr, электронные спектры поглощения – на приборе Specord UV-vis в 96% этаноле, хлороформе и хлористом метиле. N-Оксиды пиридина и хинолина **1a,b**, **2a** и **3c,d** синтезируют описанными ранее методами [3, 9]. Их молекулярные комплексы с хлоридами меди и цинка получают смешением теплых насыщенных растворов реагентов в стехиометрических соотношениях. Выпавший осадок промывают спиртом и эфиром и высушивают на воздухе. Аддукт N-оксида **3d** с  $\text{ZnCl}_2$  состава 1:1 получают высушиванием этанольного раствора реагентов в соотношении 1:10. Избыток хлорида цинка отмывают спиртом.

Стехиометрическое соотношение лиганда и галогенида металла определяют методом комплексонометрического титрования ионов  $\text{Cu}^{2+}$  или  $\text{Zn}^{2+}$  с индикатором ксилоловым оранжевым в ацетатном буфере при pH 5 [10].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В. П. Андреев, А. В. Рыжаков, *ХТС*, 1087 (1994).
2. В. П. Андреев, Е. Г. Калистратова, А. В. Рыжаков, *ХТС*, 516 (1996).
3. В. П. Андреев, Е. Г. Батоцыренова, А. В. Рыжаков, Л. Л. Родина, *ХТС*, 1093 (1998).
4. А. С. Днепровский, Т. И. Темникова, *Теоретические основы органической химии*, Химия, Ленинград, 1991, 379, 418.
5. R. G. Garvey, J. H. Nelson, R. O. Ragsdale, *Coord. Chem. Rev.*, **3**, 375 (1968).
6. R. Whyman, D. B. Copley, W. H. Hatfield, *J. Am. Chem. Soc.*, **89**, 3135 (1967).
7. M. R. Kidd, R. S. Sager, W. H. Watson, *Inorg. Chem.*, **6**, 946 (1967).
8. В. П. Андреев, А. В. Рыжаков, А. К. Морозов, О. О. Алексеева, Л. Л. Родина, *ХТС*, 760 (1995).
9. E. Ochiai, *Aromatic Amine Oxides*, Elsevier, New York, 1967, 444.
10. Г. Шварценбах, Г. Флашка, *Комплексонометрическое титрование*, Химия, Москва, 1970, 360.

Петрозаводский государственный университет,  
Петрозаводск 185640, Россия  
e-mail: andreev@mainpgu.karelia.ru

Поступило в редакцию 25.11.99