

УДК 547.1'3.466:548.736

**СТРОЕНИЕ КРИСТАЛЛОВ N-(2-ГИДРОКСИЭТИЛ)-β-АЛАНИНА
И РАЦЕМИЧЕСКОЙ СМЕСИ КООРДИНАЦИОННЫХ СТЕРЕОИЗОМЕРОВ
N-(2-ГИДРОКСИЭТИЛ)-β-АЛАНИНАТО НИКЕЛЯ(II)**© 2008 А.В. Пестов¹, П.А. Слепухин¹, А.В. Вировец², Н.В. Подберезская^{2*}, Ю.Г. Ятлук¹¹Институт органического синтеза им. И.Я. Постовского УрО РАН, Екатеринбург²Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск

Статья поступила 11 мая 2007 г.

Взаимодействием основного карбоната никеля и N-(2-гидроксиэтил)-β-аланина синтезирован N-(2-гидроксиэтил)-β-аланинато никель(II). Методом РСА изучена структура хелатирующего агента и строение его никелевого комплекса. Ион никеля в полученном соединении находится в центре октаэдра из донорных атомов N и 2O двух тридентатных лигандов, каждый из которых имеет меридиональную конформацию. Лиганды располагаются вокруг центрального иона в ортогональных плоскостях. В результате такой координации двух лигандов происходит формирование двух стереоизомеров, совместная кристаллизация которых дает рацемат.

Ключевые слова: кристаллическая структура, N-(2-гидроксиэтил)-β-аланинато никель(II), стереоизомеры, рацемическая смесь.

ВВЕДЕНИЕ

β-Аланин входит в состав большого числа соединений с широким спектром биологической активности. Некоторые N-замещенные производные β-аланина усиливают процессы торможения в центральной нервной системе, являются антагонистами γ-аминомасляных и глициновых рецепторов и, таким образом, могут стать потенциальными препаратами для лечения эпилепсии [1]. β-Пептиды также являются важным классом биомедицинских и терапевтических препаратов, поскольку более устойчивы к энзиматической деградации, чем их α-аналоги [2]. Дипептид карнозин (β-аланил-L-гистидин) используется как эффективное средство, замедляющее старение, благодаря его антиоксидантным и хелатообразующим свойствам [3].

Известно, что N-(2-оксиэтил)-β-аланин (He-ala) является хорошим комплексообразователем для ряда ионов металлов [4], его использование основано на связывании ионов TcO_4^{2-} для дальнейшего введения в живой организм в качестве радиоактивной метки [5]. В работе [6] нами описана молекулярная и кристаллическая структура медного комплекса указанного лиганда.

Настоящее исследование является продолжением цикла работ о хелатообразующей способности производных β-аланина и посвящено рентгеноструктурному исследованию структуры лиганда и строению координационного соединения этого лиганда с никелем(II).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Синтез лиганда. N-(2-оксиэтил)-β-аланин (I) синтезировали по ранее разработанной методике [6]. Найдено, %: C 44,97, H 8,56, N 10,61. Вычислено для $C_5H_{11}NO_3$, %: C 45,13, H 8,27, N

* E-mail: yatluk@ios.uran.ru; podberesz@che.nsk.su

Т а б л и ц а 1

Основные кристаллографические данные и параметры эксперимента для структур I и II

Характеристика	Соединение I	Соединение II
Брутто-формула	$C_5H_{11}NO_3$	$C_{10}H_{25}N_2NiO_{8,50}$
Формульный вес	133,15	368,03
Размер образца, мм	0,37×0,22×0,06	0,405×0,140×0,110
Сингония	Моноклинная	Ромбическая
Пространственная группа	$P2_1/c$	$P2_12_1$
$a, b, c, \text{Å}$	4,7026(3), 8,9659(6), 5,3636(9)	9,1063(4), 12,0840(4), 28,0614(13)
$\alpha, \beta, \gamma, \text{град.}$	$\beta = 92,694(5)$	
$V, \text{Å}^3$	647,06(7)	3087,9(2)
Z	4	8
$\rho, \text{г/см}^3$	1,367	1,583
$\mu, \text{мм}^{-1}$	0,112	1,300
$F(000)$	288	1560
$T, \text{К}$	295(2)	120(2)
Метод сканирования	ω - и ϕ -сканирование	
Интервал сканирования по θ , град.	2,63 – 26,36	1,45 – 27,50
Интервал индексов отражений	$-5 \leq h \leq 5, -10 \leq k \leq 11, -19 \leq l \leq 18$	$-11 \leq h \leq 11, -15 \leq k \leq 14, -36 \leq l \leq 20$
Общее число измеренных отражений	3113	11515
Число независимых отражений	1300 ($R(\text{int}) = 0,0204$)	5744 ($R(\text{int}) = 0,034$)
Число рефлексов с $I > 2\sigma(I)$	909	4527
Число параметров уточнения	126	388
GOOF	1,000	1,039
$R[I > 2\sigma(I)]$	$R_1 = 0,0307, wR_2 = 0,0618$	$R_1 = 0,0631, wR_2 = 0,1497$
R (по всем отражениям)	$R_1 = 0,0504, wR_2 = 0,0652$	$R_1 = 0,0855, wR_2 = 0,1630$
Остаточная электронная плотность (min/max), $e/\text{Å}^3$	-0,143/0,111	-0,652/0,861

10,52. Кристаллы лиганда получали при комнатной температуре медленной кристаллизацией из водного раствора.

Основной карбонат никеля получали известным методом [20].

Синтез N-(2-гидроксиэтил)- β -аланинато никеля(II) $[\text{Ni}(\text{He-ala})_2]$. Смесь 2,4 г (0,018 моль) N-(2-гидроксиэтил)- β -аланина, 6 г (0,021 моль) $(\text{NiOH})_2\text{CO}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ и 20 мл воды перемешивали в течение 48 ч при комнатной температуре, затем раствор фильтровали и промывали водой (3×5 мл). Кристаллы комплекса голубого цвета получали медленной кристаллизацией из фильтрата при комнатной температуре. Найдено, %: C 33,49; H 7,02; N 7,55; Ni 15,87. Вычислено для $C_{10}H_{22}N_2O_6Ni \cdot 2H_2O$, %: C 33,28; H 7,21; N 7,76; Ni 16,29.

Экспериментальный материал по соединению I для PCA был собран на дифрактометре Xcalibur 3, оборудованном CCD детектором (излучение $\text{MoK}\alpha$, графитовый монохроматор, 295(2) К, ω -сканирование, $2\theta_{\text{макс}} = 52^\circ$). Структура расшифрована прямым методом по программе SHELXS-97 [8] и уточнена по программе SHELXL-97 [8] методом наименьших квадратов в анизотропном (изотропном для атомов H) приближении до $R = 0,0307$ ($wR(F^2) = 0,0618$) для 909 отражений с $F^2 \geq 2\sigma$. Атомы водорода выявлены из разностных синтезов и уточнены независимо в изотропном приближении.

Дифракционный эксперимент для соединения II проведен по стандартной процедуре [7] на дифрактометре Bruker X8 Apex, оборудованном CCD детектором (λMo , графитовый монохроматор, 120(2) К, ω -сканирование, $2\theta_{\text{макс}} = 55^\circ$). Поправку на поглощение учитывали эмпирическим методом на основе интенсивности (SADABS, Bruker, 2005). Структура расшифрована прямым методом по программе SHELXS-97 [8] и уточнена по программе SHELXL-97 [8] ме-

Координаты атомов ($\times 10^4$) и их тепловые факторы ($\text{\AA}^2 \times 10^3$) для структур I и II

АТОМ	x	y	z	$U_{\text{ЭКВ}}^*$	АТОМ	x	y	z	$U_{\text{ЭКВ}}^*$
I									
O2	4603,0(19)	7990,2(9)	2127(5)	38,9(3)	H3B	-390(3)	4765(15)	2192(8)	40(3)
N1	2488(2)	5612,6(12)	3046(6)	30,1(3)	H4A	-660(3)	4936(15)	3786(8)	44(4)
O3	2356(2)	8139(10)	4163,3(7)	44,8(3)	H2A	1270(3)	5769(14)	941(9)	45(4)
O1	4709(2)	7829,4(10)	692,4(6)	52(3)	H2B	3870(3)	5071(16)	1426(7)	41(4)
C3	666(3)	5675,4(16)	2228,6(8)	33,8(3)	H4B	2250(3)	5241(14)	4331(8)	42(4)
C2	2446(3)	5863,1(15)	1441,6(9)	35,4(3)	H1A	3610(3)	6452(17)	3052(8)	47(4)
C1	4019(2)	7335,5(13)	1410,2(8)	31,2(3)	H1B	3680(3)	4721(19)	3012(9)	60(4)
C4	917(3)	5609,8(15)	3869(9)	37,6(3)	H3	3220(3)	7890(18)	4679(12)	74(6)
C5	0(3)	7160,7(15)	4098,1(10)	40,1(3)	H5A	-1310(3)	7565(14)	3637(9)	42(4)
H3A	-630(3)	6517(14)	2287(7)	32(3)	H5B	-910(3)	7110(13)	4642(9)	41(3)
II									
Ni1	9734,7(9)	673,5(7)	8726,6(3)	21,1(2)	C14	11359(10)	-1370(6)	8919(3)	37(2)
Ni2	10154,7(9)	-665(7)	11192,6(3)	21,0(2)	C15	9333(9)	-1004(6)	9517(3)	26,4(17)
N11	11642(7)	-235(5)	8770(2)	26,1(14)	C17	7925(11)	2367(8)	9079(3)	52(3)
N12	7940(7)	1694(5)	8667(2)	22,7(13)	C18	6600(11)	1093(8)	8549(4)	52(2)
N21	8308(7)	279(5)	11112(2)	28,7(15)	C19	6605(9)	559(8)	8101(3)	44(2)
N22	11864(7)	-1736(5)	11273(2)	25,8(14)	C20	7692(10)	-359(6)	8019(3)	31,9(19)
O14	10454(6)	1932(4)	9201,1(16)	22,5(11)	C21	7464(9)	-888(7)	11753(3)	35(2)
O11	10932(6)	1503(6)	8196(2)	47,1(17)	C22	7558(10)	290(7)	11570(3)	40(2)
O12	8842(6)	-180(4)	9289,7(16)	24,6(11)	C23	8688(11)	1411(6)	10943(3)	43(2)
O13	8632(7)	-1457(5)	9849(2)	41,7(15)	C24	9310(10)	1409(6)	10438(3)	39(2)
C16	9386(11)	2804(7)	9206(3)	42(2)	C25	10727(9)	827(6)	10345(3)	30,2(18)
O15	8874(6)	-400(5)	8248,0(18)	33,8(14)	C26	10394(10)	-2847(6)	10733(3)	32,7(18)
O16	7405(7)	-1072(5)	7702(2)	44,4(15)	C27	11271(10)	-2865(6)	11183(3)	37,4(19)
O21	8912(7)	-1343(5)	11750,2(19)	40,4(15)	C28	12675(10)	-1657(6)	11713(3)	36(2)
O22	11157(6)	51(4)	10607,3(17)	29,1(12)	C29	13346(9)	-478(7)	11781(3)	35(2)
O23	11464(7)	1140(5)	9990(2)	44,0(16)	C30	12260(9)	486(7)	11847(3)	37(2)
O24	9329(6)	-1954(4)	10746,8(17)	24,6(11)	O1W	10097(9)	2759(5)	7520(2)	51,1(17)
O25	11018(6)	452(5)	11652,0(19)	36,8(14)	O2W	4702(9)	-2172(6)	7599(2)	61(2)
O26	12680(8)	1295(6)	12095(3)	62(2)	O3W	8751(7)	-3779(5)	9610(2)	46,2(15)
C11	12387(11)	1090(8)	8161(3)	48(3)	O4W	14022(9)	671(6)	9509(3)	77(2)
C12	12388(12)	-115(9)	8314(3)	50(3)	O5W	6348(8)	-191(5)	10218(3)	67(2)
C13	10827(10)	-1489(7)	9414(3)	36(2)	O12	8842(6)	-180(4)	9289,7(16)	24,6(11)

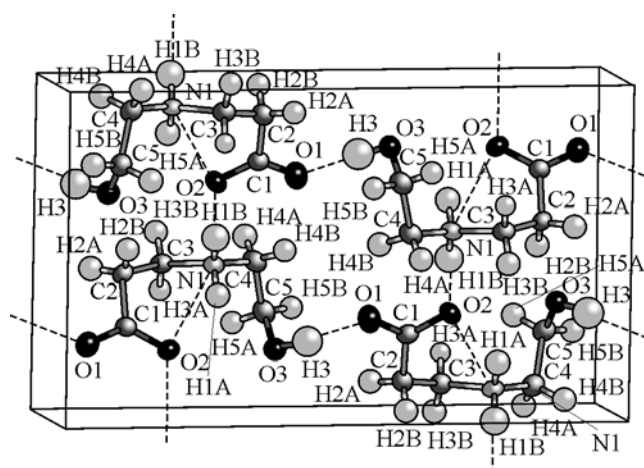
* $U_{\text{ЭКВ}}$ определены как одна треть следа ортогонализованного тензора U_{ij} .

тодом наименьших квадратов в анизотропном (изотропном для атомов H) приближении до $R = 0,0631$ ($wR(F^2) = 0,1497$) для 4527 отражений с $F^2 \geq 2\sigma$. Атомы водорода на атомах углерода и азота локализованы геометрически и уточнены методом наездника. Остальные атомы водорода локализовать не удалось. Основные кристаллографические данные соединений I и II приведены в табл. 1, координаты неводородных атомов и их температурные факторы — в табл. 2.

ОПИСАНИЕ СТРУКТУР И ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Высокие комплексообразующие свойства N-(2-гидроксиэтил)- β -аланина обусловлены, прежде всего, способностью образовывать пяти- и шестичленные хелатные циклы. При этом в комплексах возможны только две конформации лиганда: меридиональная и граневая, из которых

Рис. 1. Конформация N-(2-гидроксиэтил)- β -аланина в кристаллическом состоянии



последняя термодинамически более стабильна [9]. Однако лиганд без координационного центра имеет конформацию типа аптекарских весов, по форме близкую к меридиональной, которая стабилизируется в конденсированной фазе благодаря образованию полимерной цепи за счет межмолекулярных водородных связей ($H \dots O$ 1,797, $O-H$ 0,901, $O \dots O$ 2,693 Å, угол $O-H \dots O$ 172,70°, $O1 \dots O3\#$ 2,693 Å, внутримолекулярный контакт $N1 \dots O2$ 2,767 Å). Хелатообразующий агент, как и большинство аминокислот, существует в виде внутренней соли, поэтому ориентационно молекулы расположены по типу "голова—хвост" (рис. 1).

При образовании никелевого комплекса два лиганда, образуя октаэдрическое окружение центрального иона, выполняют тридентатную функцию, замыкая по два сопряженных по связи $Ni-N$ хелатных цикла: шестичленный β -аланинатыный и пятичленный этаноламинный. В результате в данном комплексе лиганды имеют меридиональную конформацию, т.е. с ионом никеля N-(2-гидроксиэтил)- β -аланин реагирует в конформации, приближающейся к таковой для свободного лиганда, и с большинством атомов, лежащих практически в одной плоскости. Из этой плоскости выходят только атомы углерода, связанные с атомами азота, и карбоксильная часть аланинового фрагмента лиганда. Величины избранных длин связей и валентных углов в кристаллах соединений **I** и **II** приведены в табл. 3. Пределы изменения длин связей и валентных углов в четырех кристаллографически независимых лигандах двух комплексов никеля(II), отсутствующие в этой таблице, приведены далее в соответствии с типами этих связей и углов: $N-C$ 1,413(10) — 1,457(10) Å; $C-C$ шестичленных хелатных циклов 1,497(12)—1,439(11) Å, исключение составляют более короткая связь $C(18)-C(29)$ 1,413(12) и более длинная $C(28)-C(19)$ 1,563(12) Å; в пятичленных хелатных циклах связи $C-C$ меняются в более узких пределах 1,474(13)—1,518(14) Å; межатомные расстояния $C-O$ карбоксигрупп практически выравнены 1,254(9)—1,265(8) Å, пределы изменения $C-O$ в гидроксогруппах шире 1,419(11)—1,452(9) Å; валентные углы при атомах N ($C-N-Ni$, $C-N-C$) меняются в пределах 106,7(5)—117,7(7)°, углы $C-O_{гидрокс}-Ni$ 108,8(4)—111,4(5), $C-O_{карбокс}-Ni$ 129,8(5)—130,4(6), $N-C-C$ 108,6(6)—114,9(7), $C-C-C$ 115,9(7)—118,9(8), $O-C-C$ 107,9(7)—110,3(6) и 115,6(7)—121,9(7), $O-C-O$ 117,3(8)—122,6(8)°.

Два кристаллографически независимых комплекса в **II** упакованы в кристалле таким образом, что атомы никеля и их ближайшее окружение (первая координационная сфера) достаточно точно следуют центросимметричной пространственной группе $Pbca$, которая "нарушается" для остальных атомов структуры. На рис. 2. хорошо виден псевдо-центр инверсии между молекулами в **II**. При этом дифракционные данные подтверждают отсутствие систематических погасаний в зонах $0kl$, $h0l$ и $hk0$: отражения, которые должны погаснуть вследствие наличия скользящих плоскостей, наблюдаемые, но систематически слабее остальных.

К сожалению, из-за неудачи с локализацией атомов водорода в **II** объективно судить о межмолекулярных связях нельзя. Тем не менее, анализ укороченных контактов $O \dots N$ и $O \dots O$ показывает, что в кристалле имеется разветвленная сетка водородных связей между молекула-

Значения основных длин связей d , Å и валентных углов ω , град. в соединениях I и II

Связь	d	Угол	ω	Угол	ω
I					
O2—C1	1,2666(14)	C3—N1—C4	115,23(11)	C—N—H*	106,5(8)
N1—C3	1,4877(16)	C5—O3—H3	103,2(10)		110,5(8)
N1—C4	1,4943(15)	N1—C3—C2	111,14(11)	O—C—H*	106,6(7)
O3—C5	1,4130(16)	C3—C2—C1	114,33(11)		110,4(8)
O1—C1	1,2455(14)	O1—C1—O2	123,38(11)	N—C—H*	106,8(7)
C3—C2	1,5120(18)	O1—C1—C2	119,07(11)		107,3(8)
C2—C1	1,5152(17)	O2—C1—C2	117,54(11)	C—C—H*	107,3(8)
C4—C5	1,5025(18)	N1—C4—C5	110,82(11)		112,7(8)
N1—H1A	0,918(15)	O3—C5—C4	111,01(11)	H1A—N1—H1B	110,0(12)
N1—H1B	0,978(16)			H—C—H*	107,1(10)
O3—H3	0,902(18)				110,6(11)
C—H*	0,928(13)				
	0,986(14)				
II					
Ni1—N11	2,059(6)	N—Ni1—O*	81,8(2)	N—Ni2—O*	81,8(2)
Ni1—N12	2,054(6)		94,9(2)		94,7(2)
Ni1—O14	2,125(5)	O—Ni1—O*	86,7(2)	O—Ni2—O*	87,8(2)
Ni1—O11	2,100(6)		92,1(3)		93,2(2)
Ni1—O12	2,054(5)	O12—Ni1—O11	172,0(2)	O22—Ni2—O21	173,5(2)
Ni1—O15	2,025(5)	O15—Ni1—O14	173,4(2)	N22—Ni2—N21	174,5(2)
Ni2—N21	2,045(6)	N12—Ni1—N11	175,1(2)	O25—Ni2—O24	175,0(2)
Ni2—N22	2,037(6)				
Ni2—O21	2,098(6)				
Ni2—O22	2,069(5)				
Ni2—O24	2,134(5)				
Ni2—O25	2,026(6)				

*Приведены минимальные и максимальные значения межатомных расстояний и валентных углов данного типа.

ми комплексов и сольватными молекулами воды. В частности, молекулы в псевдо-центросимметричном димере связаны друг с другом через посредство водородных связей COO...OH и NH...O(H₂)...OOC с расстояниями O...O 2,58, 2,75 и O...N 3,19 Å.

Нами проведено сравнение основных параметров никелевых комплексов для производных β-аланина и этаноламина, результаты которого представлены в табл. 4. Сравнение длин связей в зависимости от изменения структуры β-аланина показывает, что N-замещение вызывает уменьшение длины как связи Ni—O_{карбокс}, так и Ni—N. Изменение структуры этаноламина демонстрирует, что N-замещение вызывает увеличение длины связи Ni—O_{гидрокс} и уменьшение связи Ni—N.

Ранее нами была определена молекулярная и кристаллическая структура медного комплекса N-(2-гидроксиэтил)-β-аланина [Cu(He-ala)₂] [6]. В структуре этого комплекса тридентатно-хелатный лиганд He-ala находится в граневой конформации. Сравнение строения никелевого и медного комплексов показывает, что незначительное уменьшение ионного радиуса и скачок в

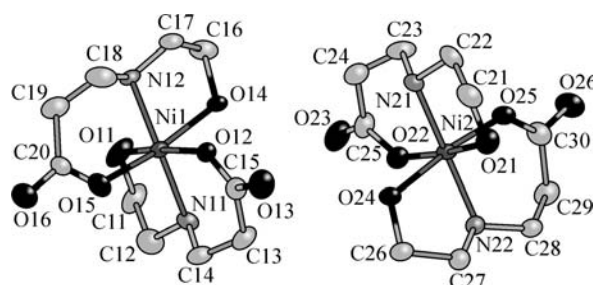


Рис. 2. Строение [Ni(He-ala)₂], атомы водорода не показаны

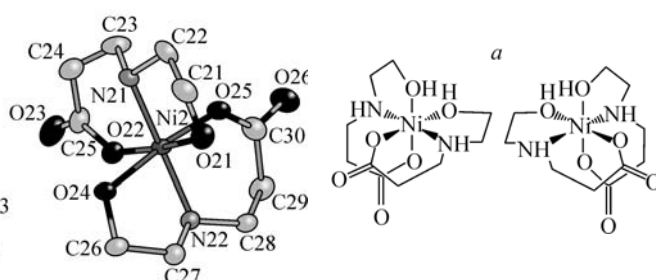


Рис. 3. Схематическое строение энантимерных форм [Ni(He-ala)₂]

Т а б л и ц а 4

Длины основных связей, Å в никелевых комплексах

Комплекс	Ni—O (карбоксильный)	Ni—O (гидроксильный)	Ni—N	Литература
[Ni(β-ala) ₂ (H ₂ O) ₂]	2,085	—	2,075	[10]
[Ni(diCM-ala)(H ₂ O) ₂]·H ₂ O	2,054	—	2,070	[11]
[Ni(He-ala) ₂]·2,5H ₂ O	2,026—2,069	2,097—2,134	2,037—2,045	[Наст. работа]
[Ni ₂ (He-diala) ₂ (H ₂ O) ₂]·3H ₂ O	2,039	2,053—2,104	2,031	[12]
[Ni(ea) ₂ (ea')]ClO ₄	—	2,075	2,081	[13]
[Ni(He-edia) ₂]·Cl ₂	—	2,170	2,078	[14]
[Ni(Me-diea) ₂]·Cl ₂	—	2,068—2,104	2,081	[15]

П р и м е ч а н и е. (diCM-ala) — N-(2-карбоксиэтил)иминодиуксусная кислота; (He-ala) — N-(2-гидроксиэтил)-β-аланин; (ea) — этаноламин; (ea') — 2-аминоэтанолато; (He-edia) — N-(2-гидроксиэтил)этилендиамин; (Me-diea) — N-метил-диэтаноламин.

заполнении *d*-уровня металла (Cu→Ni) приводят к существенным изменениям конформации лиганда.

Граневая конформация лиганда обеспечивает симметричное строение комплекса, в то время как его меридиональное расположение в комплексе обеспечивает возможность формирования хирального центра для центрального иона. Следовательно, исходя из соображений о "левой и правой перчатке", из ахирального интермедиата могут быть получены как "левый", так и "правый" комплексы [16, 17]. Теоретически такая возможность обусловлена несимметричным строением тридентатного лиганда. Примеры расчета количества возможных хиральных и ахиральных конформаций координационных многогранников комплексообразующего металла, образованных моно- или полидентатными лигандами, приводит автор [18]. Число возможных изомеров зависит от количества независимых лигандов и координационного числа. Два одинаковых тридентатных лиганда в октаэдре занимают шесть координационных мест и могут расположиться двумя позиционно различными способами: меридиональным и граневым. В первом случае образуется единственный хиральный изомер, для которого возможны парные энантимерные конформации. При расположении лигандов в граневых позициях образуются два изомера — хиральный и ахиральный [18]. Действительно, в структуре полученного никелевого комплекса сосуществуют два кристаллографически независимых стереоизомера, а в целом кристалл представляет собой рацемическую смесь этих стереоизомеров (рис. 3, а). Строение *цис*-[Ni(He-ala)₂] легко описать с помощью яблока Зефирова [19] (см. рис. 3, б), если рассматривать плодоножку и остаток цветоноса как эквивалентные дополнительные вершины (помимо двугранных углов).

Подводя итог, следует отметить, что несимметричное строение лиганда позволяет формировать стереоизомерные октаэдрические комплексные соединения, если лиганд находится в

граневой конформации, что и было продемонстрировано на никелевом, в отличие от медного, комплексе N-(2-гидроксиэтил)-β-аланина. Каким образом зависит реализуемая конформация лиганда от типа центрального иона, остается пока непонятным и требует дальнейших исследований структуры и устойчивости координационных соединений с несимметричными триден-тантными лигандами, производными β-аланина.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Bueno G.J. et al.* // *Bioorg. Med. Chem.* – 2003. – **11**. – P. 87.
2. *Hook D.F. et al.* // *Chem. Bio. Chem.* – 2004. – **5**. – P. 691.
3. *Hipkiss A.R., Brownson C.* // *Cell. Mol. Life Sci.* – 2000. – **57**. – P. 747.
4. *Uhlig E., Linke D.Z.* // *Anorg. Allg. Chem.* – 1964. – **331**. – S. 112.
5. EP 0569132.
6. *Pestov A.V. et al.* // *Acta Crystallogr.* – 2005. – **C61**. – P. m510.
7. SMART (control) and SAINT (integration) software, version 5.0. – Bruker ASX Inc., Madison, WI, 1997.
8. *Sheldrich G.M.* SHELX-97, release 97-2. – Germany, University of Goettingen, 1997.
9. *Bersuker I.B.* Electronic structure and properties of transition metal compounds: Introduction to the theory. – N. Y.: John Wiley & Sons, 1996. – P. 353 – 357.
10. *Jose P., Pant L.M., Biswas A.B.* // *Acta Crystallogr.* – 1964. – **17**. – P. 24.
11. *Гладких О.П., Польшова Т.Н., Порай-Кошиц М.А., Позняк А.Л.* // *Координац. химия.* – 1991. – **17**. – P. 945.
12. *Гладких О.П., Позняк А.Л., Польшова Т.Н., Порай-Кошиц М.А.* // *Журн. неорган. химии.* – 1997. – **42**. – P. 1482.
13. *Bertrand J. A., Eller P. G., Fujita E. et al.* // *Inorg. Chem.* – 1979. – **18**. – P. 2419.
14. *Nieminen K.* // *Inorg. Chim. Acta.* – 1986. – **119**. – P. 61.
15. *Wilson S., Hendrickson D., Rheingold A.L.* // *Private Communication.* – 2005.
16. *King R.B.* // *Chirality.* – 2001. – **13**. – P. 465.
17. *King R.B.* // *Ann. N. Y. Acad. Sci.* – 2003. – **988**. – P. 158.
18. *Соколов В.И.* Введение в теоретическую стереохимию. – М.: Наука, 1979.
19. *Зефирова Н.С.* // *Сорос. образов. журн.* – 1996. – № 7. – С. 33.
20. *Карякин Ю.Б., Ангелов И.И.* Чистые химические реактивы. – М.: Химия, 1974.