

**МОНО- И ПОЛИЯДЕРНЫЕ ГЕТЕРОЛИГАНДНЫЕ КОМПЛЕКСОНАТЫ  
КОБАЛЬТА(II) В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ 2-АМИНОПРОПАНОВОЙ КИСЛОТЫ**

АЛАБДУЛЛА Г. Ф., КОРНЕВ В. И.

Удмуртский государственный университет, 426034, г. Ижевск, ул. Университетская, 1

**АННОТАЦИЯ.** Методом абсорбционной спектрофотометрии исследованы координационные равновесия в тройных системах, содержащих соль кобальта(II), этилендиаминтетрауксусную (ЭДТА) и 2-аминопропановую кислоты (Ala) при различных мольных соотношениях реагентов в широком диапазоне pH. Математическая обработка полученных данных позволила оценить возможность существования в растворе широкого спектра комплексных частиц и выделить из них те, учет которых достаточен для воспроизведения экспериментальных результатов. Была установлена стехиометрия в двойных и тройных системах полиядерных комплексонатов состава Co(II)-Ala-ЭДТА (2:2:1, 2:4:1, 3:6:1, 4:8:1), а также области pH их существования и константы устойчивости. Представлены возможные структуры образующихся комплексов.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** кобальт(II), комплексное соединение, комплексон, лиганд, константа устойчивости, спектрофотометрия, ЭДТА, аланин.

**ВВЕДЕНИЕ**

Одной из проблем координационной химии проблема исследования закономерностей образования гетеролигандных полиядерных комплексов. И особенно это важно в тех случаях, когда в координационной сфере находятся несколько ионов металлов и несколько объемных органических лигандов. В этом случае на первый план выходят вопросы взаимного влияния металлов и лигандов и их совместимости в внутренней координационной сфере. В таких системах наряду с моноядерными гетеролигандными комплексами наибольший интерес представляют би- и полиядерные гетеролигандные комплексы. Образование этих комплексов обусловлено тем, что полидентатный лиганд в ряде случаев не реализует полностью свою дентатность во внутренней координационной сфере одного центрального иона-комплексобразователя. Именно поэтому, моноядерный комплекс выступает в качестве своеобразного металлохелатного лиганда, способного координировать второй ион металла той же или иной природы [1 – 3]. В работах [4 – 6] нами изучены протеолитические равновесия в условиях образования моно- и биядерных комплексных соединений, образующихся в тройных системах, содержащих соль никеля (II), этилендиаминтетрауксусную кислоту (ЭДТА,  $\text{Edta}^{4-}$ ), диаминоэтан и дипиридил.

Целью настоящей работы является установление моделей комплексообразования и расчет констант устойчивости комплексов, образующихся в двойных а также тройных системах Co(II)-Ala-ЭДТА, содержащих комплексобразователь Co(II) и два лиганда, один из которых хелатирующий (аланин), а второй – одновременно и хелатирующий и мостиковый (ЭДТА). За основу исследования комплексообразования в двойных и тройных системах было принято изменение формы спектров поглощения и величины оптической плотности (A) раствора соли Co(II) в присутствии ЭДТА и аланина. По виду зависимостей  $A=f(\lambda)$  и  $A=f(\text{pH})$ , полученных для разных систем можно сделать вывод, что во всех изученных системах процессы комплексообразования протекают в широком диапазоне значений pH. Исследование равновесий в тройных системах представляет собой сложную задачу, поскольку во многом зависят от того, каким набором частиц описывается система. В используемых нами для расчета компьютерных программах [7, 8] вопрос о целесообразности учета той или иной комплексной формы металла или лиганда решался на основе минимизации критерия Фишера, учитывающего расхождения между экспериментальными и расчетными значениями оптических плотностей для каждого компонента системы. Программы с достаточной достоверностью позволяют оценить

параметры равновесной системы, их стехиометрию, а также рассчитать константы равновесия реакций и константы устойчивости комплексов. Первоначально нами были опробованы модели образования комплексов в тройных системах без учета полиядерного гетеролигандного комплексобразования. Сравнивая зависимости  $A=f(\lambda)$  и  $A=f(\text{pH})$  с экспериментальными, были выявлены отклонения, связанные с образованием моно- и полиядерных гетеролигандных комплексонатов. При расчетах использовали литературные данные по константам гидролиза ионов  $\text{Co(II)}$  [9], константам диссоциации ЭДТА [10] и Ala [11], а также константам устойчивости моноядерных однороднолигандных комплексов  $\text{Co(II)}$  с ЭДТА и аланином.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

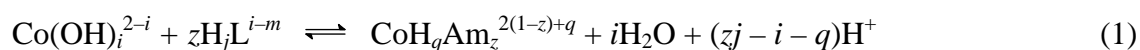
Исследование процессов комплексобразования проводили методом спектрофотометрического титрования с использованием специально изготовленной установки с кварцевыми стеклами и толщиной поглощающего слоя 1 см. Такая установка позволяет одновременно создавать и измерять величину pH раствора, определять его оптическую плотность и контролировать температуру опыта. Оптическую плотность растворов измеряли на спектрофотометре СФ-2000. В качестве раствора сравнения использовали дистиллированную воду. Активность ионов водорода измеряли на иономере И-160М с использованием рабочего электрода ЭС-10601/7 и электрода сравнения ЭСР-10101. Прибор калибровали при помощи стандартных буферных растворов, приготовленных из фиксаналов, и проверяли на стенде УПКП-1. Требуемое значение pH растворов создавали растворами NaOH и  $\text{HClO}_4$  марки ЧДА. Постоянство ионной силы ( $I \approx 0,2$ ) поддерживали раствором  $\text{NaClO}_4$  (ЧДА). Исследования проводили при комнатной температуре  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ . Рабочий раствор сульфата кобальта(II) готовили растворением соли  $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  в воде, точную концентрацию ионов  $\text{Co(II)}$  в растворе устанавливали комплексонометрически. Растворы ЭДТА и Ala готовили растворением препаратов марки ХЧ в дистиллированной воде. Математическую обработку результатов проводили с помощью программ CPRESSP [7] и НурСрес [8]. Модели комплексов построены с помощью программы ACD/Labs [12].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

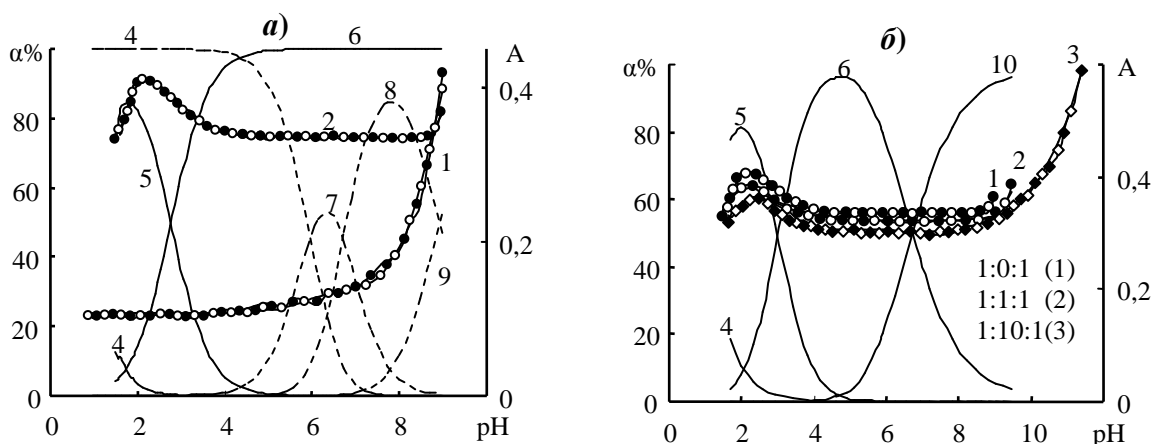
Моделирование равновесий в двойных и тройных системах проводили путем анализа ЭСП и кривых  $A=f(\text{pH})$ , полученных для различных длин волн в области 400 – 600 нм в соответствии с выбранной моделью комплексобразования. Во всех случаях модели без учета гетеролигандных полиядерных комплексов в соответствии с критерием Фишера попадают в критическую область. Произведенные расчеты показали, что в каждой из изученных систем необходимо учитывать образование таких комплексов. В ходе расчетов рассматривалось несколько моделей, состоящих из различных наборов частиц:  $[\text{Co}(\text{OH})_j]^{2-j}$  ( $j=0-3$ ),  $[\text{H}_i\text{Edta}]^{i-4}$  ( $i=0-4$ ),  $[\text{CoH}_i\text{Edta}]^{i-2}$  ( $i=0-2$ ),  $[\text{Co}(\text{OH})\text{Edta}]^{3-}$ ,  $[\text{CoAla}_n]^{2-n}$  ( $n=1-3$ ) и  $[\text{Co}_m\text{Ala}_n\text{Edta}]^{2m-4-n}$  ( $m=1-4$ ,  $n=1-8$ ).

Состав комплексонатов, образующихся в двойных и тройных системах зависит как от кислотности среды, так и от концентрационных соотношений компонентов системы. В системе  $\text{Co(II)}-\text{ЭДТА}$  в отсутствие Ala или при соотношении компонентов  $\text{Co(II)}-\text{Ala}-\text{ЭДТА}$  равном 1:1:1 при  $\text{pH} > 10$  выпадают осадки (рис. 1, кривые 1 и 2), что свидетельствует о гидролизе  $\text{Co(II)}$ . При десятикратном избытке аланина осадок не образуется (рис. 1, б, кривая 3).

Комплексообразование в двойных системах можно представить следующим общим уравнением (рис. 1);



Константы равновесия и константы устойчивости комплексов, образующихся в двойных системах представлены в таблице.

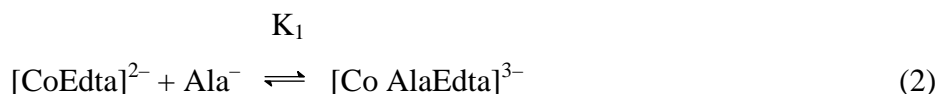


*a)* для системы Co(II)–ЭДТА и Co(II)– Ala; *б)* для системы Co(II)– Ala–ЭДТА.  
 Экспериментальные и расчетные кривые (1, 2, 3),  $\text{Co}^{2+}$  (4),  $[\text{CoHEDta}]^{-1}$  (5),  $[\text{CoEdta}]^{2-}$  (6),  $[\text{CoAla}]^{+}$  (7),  $[\text{CoAla}_2]$  (8),  $[\text{CoAla}_3]^{-}$  (9),  $[\text{CoAlaEdta}]^{3-}$  (10),  $C_{\text{Co}^{+2}} = 2,5 \cdot 10^{-3}$  моль/дм<sup>3</sup>  $\lambda = 490$  нм

**Рис. 1. Зависимость оптической плотности и долей накопления комплексов от pH для двойных и тройных систем**

Из рис. 1, б следует, что для образования комплекса состава  $[\text{CoAlaEdta}]^{3-}$  требуется избыток аланина. Максимальная доля образования комплекса состава 1:1:1 наблюдается при  $\text{pH} > 10$ , хотя начало его формирования происходит при  $\text{pH} > 5$ . В кислой среде преобладают протонированные и средние комплексонаты кобальта (II).

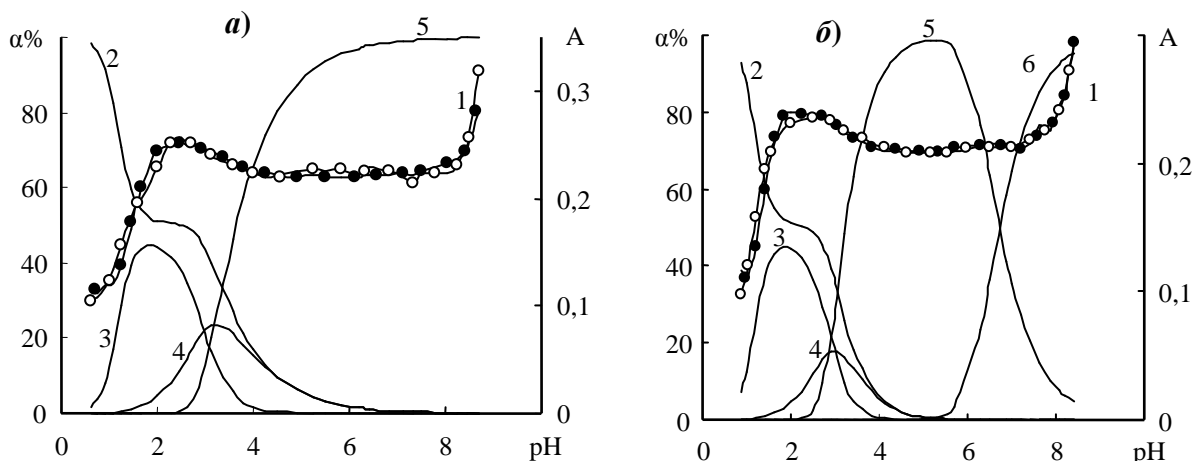
Процесс образования гетеролигандных комплексов происходит по уравнению:



Присоединение аланина к комплексу  $[\text{CoEdta}]^{2-}$ , в котором нет свободных валентностей, возможно только в том случае, если происходит размыкание металлохелатных циклов ЭДТА. Причем в первую очередь размыкаются два аланиновых цикла, принадлежащих одному и тому же атому азота. Затем разрывается и координационная связь самого атома азота. Освобожденные координационные места в комплексе  $[\text{CoEdta}]^{2-}$  занимаются аланином. При соотношении компонентов в системе Co(II)–Ala–ЭДТА равном 2:2:1 формируется комплекс  $[(\text{CoAla})\text{Edta}(\text{CoAla})]^{2-}$  по уравнению:



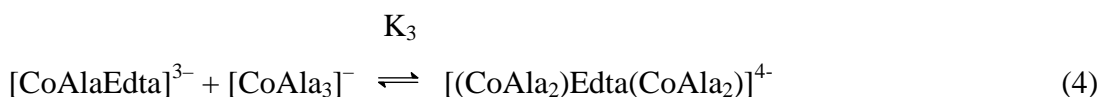
Наибольшая доля накопления этого комплекса достигает 100 %, при  $\text{pH} > 6$ . Для данного соотношения в кислой среде в начале образуется комплекс  $[\text{CoHEDta}]^{-}$  в области  $1,0 < \text{pH} < 4,0$  ( $\alpha = 46$  % при  $\text{pH} = 2$ ), а затем комплекс  $[\text{CoEdta}]^{2-}$  при  $1,0 < \text{pH} < 6,0$  ( $\alpha = 18$  % при  $\text{pH}_{\text{opt}} = 3$ ) (рис. 2, а).



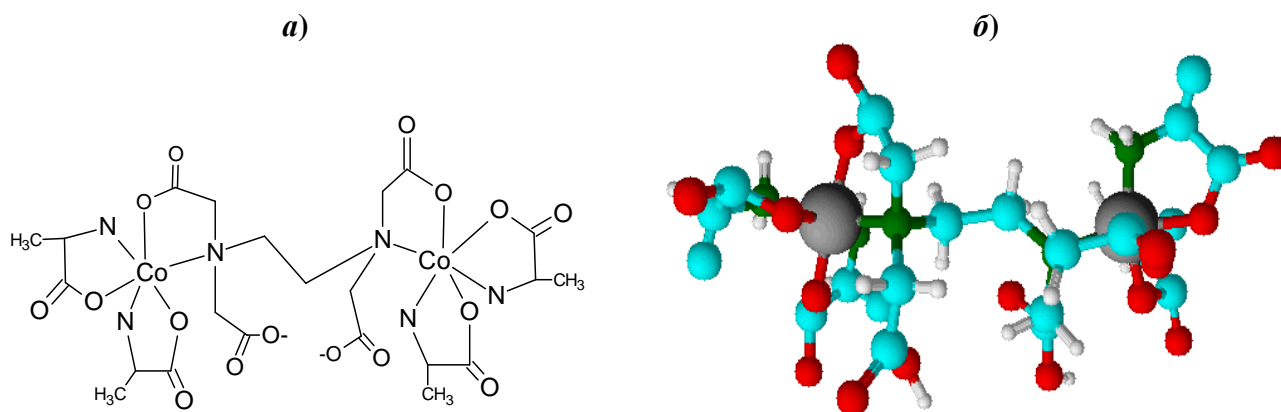
*a)* для состава 2:2:1, *б)* для состава 2:4:1.  
 Экспериментальные и расчетные кривые (1)  $\text{Co}^{2+}$  (2),  $[\text{CoHEDta}]^{3-}$  (3),  $[\text{CoEDta}]^{2-}$  (4),  $[(\text{CoAla})_2\text{Edta}]^{2-}$  (5),  $[(\text{CoAla})_2\text{Edta}]^{4-}$  (6),  $C_{\text{Co}^{+2}}=2,5 \cdot 10^{-3}$  моль/дм<sup>3</sup>  $\lambda=490$  нм

**Рис. 2.** Зависимость мольных долей накопления комплексов и оптической плотности растворов от pH для системы Co(II)–Ala–ЭДТА

Математическая обработка кривых  $A=f(\text{pH})$  при соотношении компонентов 2: 4 :1 показала, что в кислой среде до  $\text{pH} \approx 4,0$  образуется только этилендиаминтетраацетаты кобальта мольного состава 1:1. В интервале  $0,0 < \text{pH} < 3,0$  половина ионов кобальта (II) находится в свободном состоянии. При  $\text{pH} > 3,0$  образуются биядерные гетерологигаидные комплексы. Причем в начале формируется комплекс  $[(\text{CoAla})_2\text{Edta}]^{2-}$  доля накопления которого составляет 100 % при  $\text{pH}_{\text{опт}} = 5 - 6$ . При дальнейшем повышении pH образуется комплекс  $[(\text{CoAla})_2\text{Edta}]^{4-}$ . При  $\text{pH}=7,0$  доля накопления обоих комплексов составляют по 50 %, (а при  $\text{pH} > 7,0$  резко возрастает доля накопления комплекса  $[(\text{CoAla})_2\text{Edta}]^{4-}$ , достигая 96 % при  $\text{pH}=8,4$  (рис. 2, б). Формирование этого комплекса вероятно протекает по уравнению:

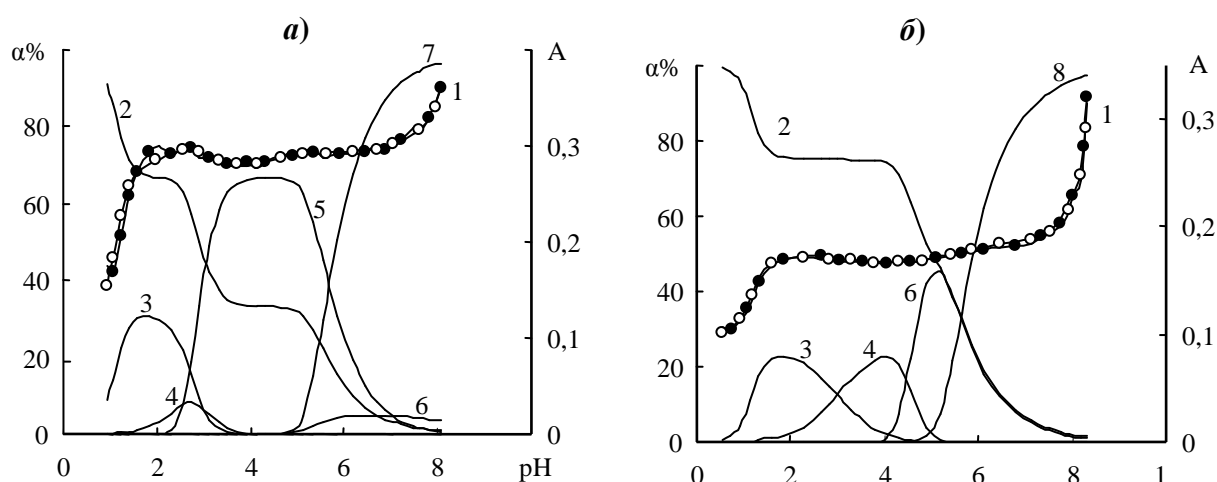


Схематическое строение (а) и модель комплекса  $[(\text{CoAla})_2\text{Edta}(\text{CoAla}_2)]^{4-}$  (б), построенная согласно 3D оптимизации имеют следующий вид:



Константы равновесия реакций и константы устойчивости комплексов кобальта(II) с исследуемыми лигандами для  $I \approx 0,2$  (NaClO<sub>4</sub>),  $T = (20 \pm 2)$  °C

Комплекс	Co <sup>2+</sup>		Критерий Фишера
	$lg \beta$	$lg K_i$	
[CoEdta] <sup>2-</sup>	16,31±0,06	16,31±0,06	2,20·10 <sup>-2</sup>
[CoAla] <sup>+</sup>	4,38±0,09	4,38±0,09	1,40·10 <sup>-2</sup>
[CoAla <sub>2</sub> ]	8,06±0,06	8,06±0,10	1,40·10 <sup>-2</sup>
[CoAla <sub>3</sub> ] <sup>-</sup>	9,64±0,06	9,64±0,12	1,40·10 <sup>-2</sup>
[CoAlaEdta] <sup>3-</sup>	21,17±0,05	4,86±0,10	3,22·10 <sup>-3</sup>
[(CoAla)Edta(CoAla)] <sup>2-</sup>	34,52±0,06	10,15±0,11	1,10·10 <sup>-2</sup>
[(CoAla <sub>2</sub> )Edta(CoAla <sub>2</sub> )] <sup>4+</sup>	44,25±0,10	13,44±0,11	5,44·10 <sup>-3</sup>
[(CoAla <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> Edta(CoAla <sub>2</sub> )] <sup>4+</sup>	58,66±0,15	6,35±0,16	2,20·10 <sup>-2</sup>
[(CoAla <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> Edta(CoAla <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> ] <sup>4+</sup>	71,55±0,26	4,83±0,21	5,48·10 <sup>-3</sup>



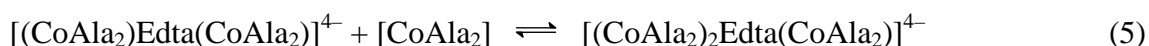
а) для состава 3:6:1, б) для состава 4:8:1

Экспериментальные и расчетные кривые (1), Co<sup>2+</sup> (2), [CoHEDta]<sup>-</sup> (3), [CoEDta]<sup>2-</sup> (4), [(CoAla)Edta(CoAla)]<sup>2-</sup> (5), [(CoAla<sub>2</sub>)Edta(CoAla<sub>2</sub>)]<sup>4+</sup> (6), [(CoAla<sub>2</sub>)<sub>2</sub>Edta(CoAla<sub>2</sub>)]<sup>4+</sup> (7), [(CoAla<sub>2</sub>)<sub>2</sub>Edta(CoAla<sub>2</sub>)<sub>2</sub>]<sup>4+</sup> (8),  $C_{Co^{2+}} = 2,5 \cdot 10^{-3}$  моль/дм<sup>3</sup>  $\lambda = 490$  нм

Рис. 3. Зависимость мольных долей накопления комплексов и оптической плотности растворов от pH для системы Co(II)–Ala–ЭДТА при соотношении компонентов 3:6:1 (а) и 4:8:1(б)

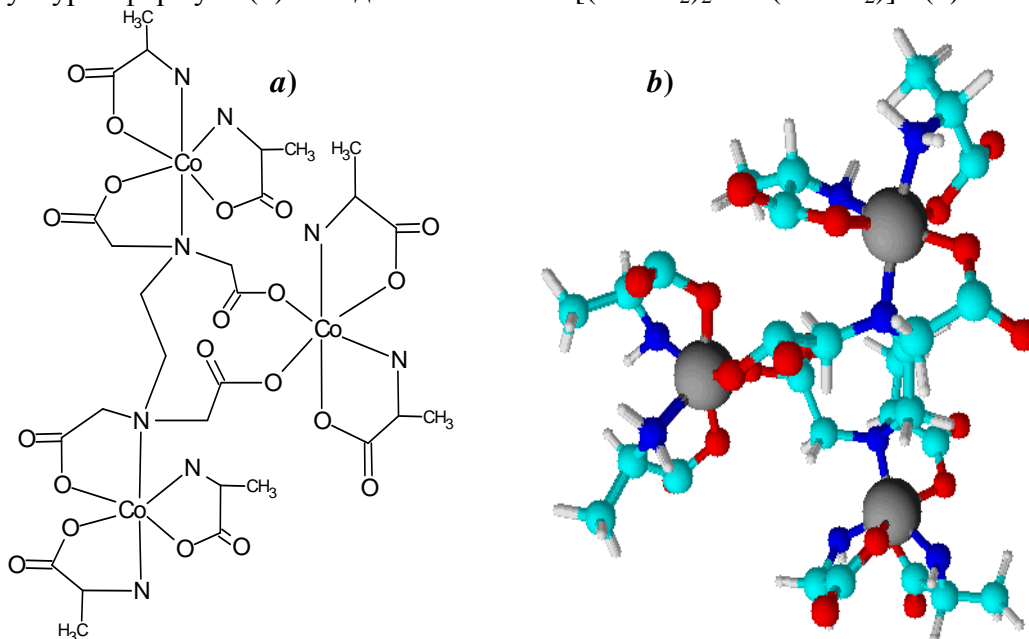
Анализ кривых  $A=f(pH)$  для системы Co(II)–Ala–ЭДТА и ЭСП с соотношением компонентов 3:6:1 показал, что в данной системе в кислой среде преобладают моноядерные комплексы кобальта с ЭДТА, а также незакомплексованные ионы Co<sup>2+</sup> (рис. 3, а). При  $pH > 2,0$  формируется комплекс [(CoAla)<sub>2</sub>Edta]<sup>2-</sup> с максимальной долей накопления равной 62 % (при  $pH = 4$ ). Дальнейшее повышение pH приводит к разрушению этого комплекса и образованию комплексоната [(CoAla<sub>2</sub>)<sub>3</sub>Edta]<sup>4-</sup> по схеме:

$K_4$



Координационные сферы двух ионов Co(II) в трехъядерном комплексе связаны между собой диаминоэтановым мостиком комплексона. Третий ион Co(II) присоединяется к комплексу за счет двух ковалентных связей карбоксильных групп ЭДТА. Октаэдрические сферы всех ионов Co(II) содержат по две молекулы аланина.

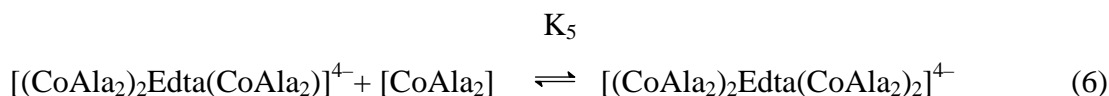
Структурная формула (а) и модель комплекса  $[(\text{CoAla}_2)_2\text{Edta}(\text{CoAla}_2)]^{4-}$  (б) имеют вид:



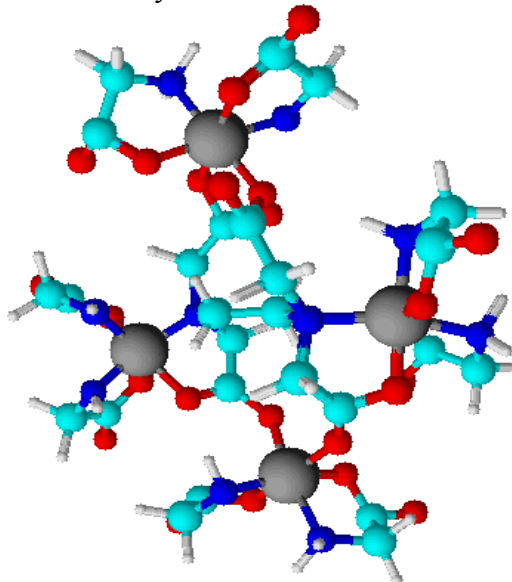
Моделирование процессов комплексообразования в системе  $\text{Co(II)}-\text{Ala}-\text{ЭДТА}$  в соотношении 4:8:1 показало, что в сильно кислой среде образуются мооядерные комплексы  $\text{Co(II)}$  с ЭДТА. При  $\text{pH} > 4,0$  в растворе формируется гетероядерные комплексы состава  $[(\text{CoAla}_2)_2\text{Edta}(\text{CoAla}_2)]^{4-}$  (рис. 3, б).

При  $\text{pH} > 5,0$  в растворе накапливается комплекс  $[(\text{CoAla}_2)_2\text{Edta}(\text{CoAla}_2)]^{4-}$  с максимальной долей накопления 100 % при  $\text{pH} > 8,0$ .

Процесс комплексообразования последнего можно представить следующим общим уравнением:



Октаэдрические сферы всех четырех ионов металлов в данном комплексе связаны между собой молекулой ЭДТА, которая образует по две ковалентные связи с каждым из ионов кобальта(II). Из них четыре связи образуются за счет депротонирования карбоксильных групп ЭДТА. Еще четыре координационных связи возникают за счет двух атомов азота и двух атомов кислорода карбоксильных групп. Координационные сферы кобальта также содержат по две молекулы аланина. модель тетраядерного гетеролигандного комплексоната кобальта(II) имеет следующий вид:



Константы равновесия реакций и константы устойчивости моно-, ди- и тетраядерных гетеролигандных комплексов кобальта(II) с ЭДТА и аланином, представлены в таблице.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барханова Н. Н., Фридман А. Я., Дятлова Н. М. Одно- и двухядерные соединения этилендиаминтетраацетатов никеля, кобальта и меди с ионами глицина и оксалата в растворе // Журнал неорганической химии. 1973. Т. 18, № 2. С. 432-435.
2. Барханова Н. Н., Фридман А. Я., Дятлова Н. М. Образование смешанных соединений переходных металлов с этилендиамином и этилендиаминтетрауксусной кислотой // Журнал неорганической химии. 1972. Т. 17, № 11. С. 2982-2988.
3. Фридман А. Я., Барханова Н. Н., Вшивцева О. Е. Образование смешанных полиядерных комплексных соединений никеля(II) и меди(II) с этилендиаминтетраацетат-ионом и бидентатными лигандами в растворе // Журнал неорганической химии. 1981. Т. 26, № 7. С. 1792-1799.
4. Корнев В. И., Булдакова Н. С. Протолитические и координационные равновесия в водных растворах солей никеля(II), этилендиаминтетрауксусной кислоты и диаминоэтана // Химическая физика и мезоскопия. 2012. Т. 14, № 2. С. 285-291.
5. Булдакова Н. С., Корнев В. И., Кропачева Т. Н. Моделирование равновесий в водных растворах солей никеля(II) в присутствии 2,2'-дипиридила // Вестник Удмуртского университета. Физика. Химия. 2012. Вып. 4. С. 75-81.
6. Корнев В. И., Булдакова Н. С. Протолитические равновесия в водных растворах этилендиаминтетраацетата никеля(II) и диаминоэтана // Бутлеровские сообщения. 2012. Т. 31, № 8. С. 30-35.
7. Сальников Ю. И., Глебов А. Н., Девятков Ф. В. Полиядерные комплексы в растворах. Казань : Изд-во Казан. ун-та, 1989. 288 с.
8. Gans P., Sabatini A., Vacca A. Investigation of Equilibria in Solution. Determination of Equilibrium Constants with the Hyperquad Suite of Programs // Talanta, 1996, vol. 43, no. 10, pp. 1739-1753.
9. Лурье Ю. Ю. Справочник по аналитической химии. М. : Химия, 1979. 480 с.
10. Терешин Г. С., Тананаев И. В. Производство растворимости этилендиаминтетрауксусной кислоты // Журнал аналитической химии. 1961. Т. 16, № 5. С. 523-526.
11. El-Sherif A. A. Mixed-Ligand Complexes of 2-(Aminomethyl)benzimidazole Palladium(II) with Various Biologically Relevant Ligands // Journal of Solution Chemistry, 2006, vol. 35, no. 9, pp. 1287-1301.
12. URL: <http://www.acdlabs.com> (дата обращения 18.12.2015).

---

## MONO- AND POLYNUCLEAR OF HETEROLIGAND COMPLEXONATES COBALT (II) IN AQUEOUS SOLUTIONS OF 2-AMINOPROPANOIC ACID

Alabdullah Ghusoon Faidhi, Kornev V. I.

Udmurt State University, Izhevsk, Russia

**SUMMARY.** Coordination equilibria in binary and ternary systems containing Co(II) salt, ethylenediaminetetraacetic (EDTA) and 2-aminopropanoic (alanine, Ala) acids were investigated by absorption spectrophotometry at different molar ratios of the reactants over a wide pH range. The mathematical processing of the obtained data based on Fisher's criteria allowed to evaluate the possibility of the existence in the solution of a wide spectrum of complex particles and to identify those which are sufficient to reproduce the experimental results. Stoichiometry of polynuclear complexes Co(II)-Ala-EDTA (2:2:1, 2:4:1, 3:6:1, 4:8:1), the pH range of their existence and stability constants were determined. Studying of the absorption spectra as well as the dependency  $A = f(\text{pH})$  and  $A = f(C)$  revealed the formation of mononuclear complexes  $[\text{CoEdta}]^{2-}$  ( $\lg\beta = 16,31 \pm 0,06$ ),  $[\text{CoAla}]^+$  ( $\lg\beta = 4,38 \pm 0,09$ ),  $[\text{CoAla}_2]$  ( $\lg\beta = 8,06 \pm 0,06$ ),  $[\text{CoAla}_3]$  ( $\lg\beta = 9,64 \pm 0,06$ ),  $[\text{CoAlaEdta}]^{3-}$  ( $\lg\beta = 21,17 \pm 0,05$ ), binuclear complexes  $[(\text{CoAla})\text{Edta}(\text{CoAla})]^{2-}$  ( $\lg\beta = 34,52 \pm 0,06$ ),  $[(\text{CoAla}_2)\text{Edta}(\text{CoAla}_2)]^{4+}$  ( $\lg\beta = 44,25 \pm 0,10$ ), trinuclear complex  $[(\text{CoAla}_2)_2\text{Edta}(\text{CoAla}_2)]^{4+}$  ( $\lg\beta = 58,66 \pm 0,15$ ) and tetranuclear complex  $[(\text{CoAla}_2)_2\text{Edta}(\text{CoAla}_2)_2]^{4+}$  ( $\lg\beta = 71,55 \pm 0,26$ ) (all given constants are valid for a temperature of  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$  and the ionic strength of the solution  $I = 0,2$  ( $\text{NaClO}_4$ )). Possible structures of the formed complexes are given.

**KEYWORDS:** complex compounds, complexon, ligand, stability constant, spectrophotometry, EDTA, alanine.

## REFERENCES

1. Barhanova N. N., Fridman A. Ja., Djatlova N. M. Odno- i dvujadernye soedinenija jetilendiamintetraacetatov nikelja, kobal'ta i medi s ionami glicina i oksalata v rastvore [Single- and dual-core compound ethylenediaminetetraacetates nickel, cobalt and copper with glycine and oxalate ions in solution]. *Zhurnal neorganicheskoj himii*, 1973, vol. 18, no. 2, pp. 432-435.
2. Barhanova N. N., Fridman A. Ja., Djatlova N. M. Obrazovanie smeshannyh soedinenij perehodnyh metallov s jetilendiaminom i jetilendiamintetrauksusnoj kislotoj [Formation of mixed transition metal compounds with ethylenediamine and ethylenediaminetetraacetic acid]. *Zhurnal neorganicheskoj himii*, 1972, vol. 17, no. 11, pp. 2982-2988.
3. Fridman A. Ja., Barhanova N. N., Vshivceva O. E. Obrazovanie smeshannyh polijadernyh kompleksnyh soedinenij nikelja(II) i medi(II) s jetilendiamintetraacetat-ionom i bidentatnymi ligandami v rastvore [Formation of mixed polynuclear complex compounds of nickel (II) and copper (II) ion with EDTA and bidentate ligands in solution]. *Zhurnal neorganicheskoj himii*, 1981, vol. 26, no. 7, pp. 1792-1799.
4. Kornev V. I., Buldakova N. S. Protoliticheskie i koordinacionnye ravnovesija v vodnyh rastvorah solej nikelja(II), jetilendiamintetrauksusnoj kisloty i diaminojetana [Protolytic and coordination equilibria in water solutions of nickel(II) salts, ethylenediaminetetraacetic acid and diaminoethan]. *Himicheskaja fizika i mezoskopija*, 2012, vol. 14, no. 2, pp. 285-291.
5. Buldakova N. S., Kornev V. I., Kropacheva T. N. Modelirovanie ravnovesij v vodnyh rastvorah solej nikelja(II) v prisutstvii 2,2'-dipiridila [Equilibria modeling in nickel(II) with 2,2-dipyridyl water solutions]. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Fizika. Himija*, 2012, vol. 4, pp. 75-81.
6. Kornev V. I., Buldakova N. S. Protoliticheskie ravnovesija v vodnyh rastvorah jetilendiamintetraacetata nikelja(II) i diaminojetana [Protolytic equilibria in water solutions of nickel(II) salts, ethylenediaminetetraacetic acid and diaminoethan]. *Butlerovskie soobshhenija*, 2012, vol. 31, no. 8, pp. 30-35.
7. Sal'nikov Ju. I., Glebov A. N., Devjatov F. V. *Polijadernye komplekсы v rastvorah* [Polynuclear complexes in solutions]. Kazan: Publ. Kazan. un-ta. 1989, 288 p.
8. Gans P., Sabatini A., Vacca A. Investigation of Equilibria in Solution. Determination of Equilibrium Constants with the Hyperquad Suite of Programs // *Talanta*, 1996, vol. 43, no. 10, pp. 1739-1753.
9. Lur'e Ju. Ju. *Spravochnik po analiticheskoj himii* [Handbook of Analytical Chemistry]. Moscow: Himija, 1979. 480 p.
10. Tereshin G. S., Tananaev I. V. Proizvedenie rastvorimosti jetilendiamintetrauksusnoj kisloty [The solubility product of ethylenediaminetetraacetic acid]. *Zhurnal analiticheskoj himii*, 1961, vol. 16, no. 5, pp. 523-526.
11. El-Sherif A. A. Mixed-Ligand Complexes of 2-(Aminomethyl)benzimidazole Palladium(II) with Various Biologically Relevant Ligands. *Journal of Solution Chemistry*, 2006, vol. 35, no. 9, pp. 1287-1301.
12. URL: <http://www.acdlabs.com> (accessed December 18, 2015).

---

Алабдулла Гусун Файди, аспирант УдГУ, e-mail: [ghsoon82@gmail.com](mailto:ghsoon82@gmail.com)

Корнев Виктор Иванович, доктор химических наук, профессор кафедры фундаментальной и прикладной химии УдГУ, тел. (3412)91-64-34, e-mail: [nah@uni.udm.ru](mailto:nah@uni.udm.ru)