

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЯ Co(II) С ТРИГЛИЦИНОМ В ВОДНОМ РАСТВОРЕ

С.А. Бычкова, Г.Г. Горболетова, К.О. Фролова

Светлана Александровна Бычкова*, Галина Геннадьевна Горболетова, Ксения Олеговна Фролова
Кафедра аналитической химии, Ивановский государственный химико-технологический университет, Шереметевский пр., 10, Иваново, Российская Федерация, 153000
E-mail: bychkova_sv@mail.ru*, gorboletova@mail.ru, ksenya.fr.good98@gmail.com

Пептиды представляют собой обширный класс как природных, так и синтетических органических соединений, многие из которых обладают высокой и разносторонней физиологической активностью. Актуальность исследования комплексобразующих свойств трипептидов определяется большим значением этих соединений в биологических процессах, так как пептиды являются упрощенным фрагментом белков и широко применяются в различных отраслях фармацевтической промышленности. Одним из представителей низкомолекулярных трипептидов является глицил-глицил-глицин. В данной работе методом потенциометрического титрования было исследовано комплексобразование триглицина с ионами Co^{2+} при 298,15 К и $I = 0,2$ моль/л (KNO_3). Изучение комплексобразующих свойств триглицина с Co^{2+} проводили методом потенциометрического титрования при соотношениях $M:L = 1:1, 1:2, 1:5$. Для обработки экспериментальных данных использовалась универсальная программа "PHMETR", предназначенная для расчета констант равновесия с произвольным числом реакций по измеренной равновесной концентрации одной из частиц. Было установлено существование комплексов CoL^+ , CoH_2L , CoL_2 , $CoH_2L_2^-$, CoL_3^- , $CoH_3L_3^{4-}$, определены их константы устойчивости, предложены вероятные структуры образующихся комплексов. Результаты настоящего исследования показывают, что в процессах взаимодействия Co(II) с триглицином участвуют атомы кислорода и азота пептидной группы. Это существенно изменяет термодинамику процессов комплексобразования коротких пептидов по сравнению с аминокислотами. Полученные в настоящей работе константы устойчивости триглицинатов кобальта (II) позволяют осуществить математическое моделирование равновесий в многокомпонентных растворах, прогнозировать поведение систем в широком интервале концентраций и pH. Они могут составить основу для обобщений, касающихся строения и поведения низкомолекулярных пептидов в растворе, а также использованы для дальнейших исследований, в том числе калориметрических.

Ключевые слова: триглицин, пептид, кобальт, константа устойчивости

STUDY OF COMPLEX FORMATION OF Co (II) WITH TRIGLYCINE IN AQUEOUS SOLUTION

S.A. Bychkova, G.G. Gorboletova, K.O. Frolova

Svetlana A. Bychkova*, Galina G. Gorboletova, Kseniya O. Frolova
Department of Analytical Chemistry, Ivanovo State University of Chemistry and Technology, Sheremetievskiy ave., 10, Ivanovo, 153000, Russia
E-mail: bychkova_sv@mail.ru*, gorboletova@mail.ru, ksenya.fr.good98@gmail.com

Peptides are an extensive class of both natural and synthetic organic compounds, many of which have high and diverse physiological activity. The relevance of the study of the complexing properties of tripeptides is determined by the large value of these compounds in biological processes, since peptides are a simplified fragment of proteins and are widely used in various sectors of the pharmaceutical industry. One of the representatives of low molecular weight tripeptides is glycyl-glycyl-glycine. In this work, the complex formation of triglycine with Co^{2+} ions at 298.15 K and $I = 0.2$ mol/l (KNO_3) was studied by potentiometric titration. The study of the complexing properties of triglycine with Co^{2+} was carried out by the method of potentiometric titration with the ratios

M:L = 1:1, 1:2, 1:5. For processing the experimental data, the universal program PHMETR was used, designed to calculate equilibrium constants with an arbitrary number of reactions from the measured equilibrium concentration of one of the particles. The existence of CoL , CoH_1L , CoL_2 , $CoH_2L_2^{2-}$, CoL_3^{3-} , $CoH_3L_3^{4-}$ complexes was established. Their stability constants were determined. And the probable structures of the resulting complexes were proposed. The results of this study show that the oxygen and nitrogen atoms of the peptide group are involved in the processes of interaction between $Co(II)$ and triglycine. This significantly changes the thermodynamics of the complex formation of short peptides in comparison with amino acids. The stability constants of cobalt (II) triglycinates obtained in this work allow one to carry out mathematical modeling of equilibria in multicomponent solutions, to predict the behavior of systems in a wide range of concentrations and pH. They can form the basis for generalizations concerning the structure and behavior of low molecular weight peptides in solution, and used for further studies, including calorimetric ones.

Key words: triglycine, peptide, cobalt, stability constant

Для цитирования:

Бычкова С.А., Горболетова Г.Г., Фролова К.О. Исследование процессов комплексообразования $Co(II)$ с триглицином в водном растворе. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2020. Т. 63. Вып. 2. С. 21–25

For citation:

Bychkova S.A., Gorboletova G.G., Frolova K.O. Study of complex formation of $Co(II)$ with triglycine in aqueous solution. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* [Russ. J. Chem. & Chem. Tech.]. 2020. V. 63. N 2. P. 21–25

Такие распространенные биолиганды, как аминокислоты и пептиды, являются одними из наиболее эффективных частиц для связывания ионов металлов в физиологических условиях [1-3]. Комплексы переходных металлов с аминокислотами и пептидами представляют особый интерес, так как они участвуют в транспортировке ионов металлов в живых организмах, а также могут служить моделями металлопротеинов [4-9]. В последнее время металлокомплексы с аминокислотами и короткими пептидами все чаще используются в фармацевтике как диагностические агенты или химиотерапевтические препараты [10-12]. Кобальт в биологических системах служит прежде всего катализатором окислительно-восстановительных реакций [13-15].

Анализ литературных данных показывает, что современные исследования триглицинатов кобальта(II) отсутствуют. Результаты работ [16, 17], опубликованных в 1955 и 1957 г.г., расходятся между собой (табл. 1). Поэтому состав комплексов и численные значения констант устойчивости в системе Co^{2+} - триглицин (L) требуют дальнейшего уточнения и корректировки.

Целью настоящей работы было определение состава и констант устойчивости комплексов $Co(II)$ с триглицином на “фоне” нитрата калия.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

В работе использовали методы потенциометрического титрования и спектрофотометрический. Препарат глицил-глицил-глицина фирмы “Sigma” чистотой 99,9% дополнительной очистке не подвергали. Растворы пептида готовили по точной навеске. Для приготовления растворов

$Co(NO_3)_2$ использовали препарат марки «х.ч.», концентрацию устанавливали комплексонометрически. Заданное значение ионной силы ($I = 0,2$) поддерживали с помощью нитрата калия марки х.ч. Титрантом служил 0,1 М бескарбонатный раствор KOH [18]. Концентрация лиганда изменялась от $8 \cdot 10^{-3}$ до $8 \cdot 10^{-2}$ моль/л. Исследования проводили при соотношениях $Co:L = 1:1; 1:2; 1:3; 1:5; 1:10$.

Потенциометрическое титрование проходило по стандартной методике. Измерения ЭДС цепи

$Ag, AgCl, KCl_{нац} | HL^{\pm}, KNO_3, Co(NO_3)_2 |$ стеклян.эл-д проводили с помощью прибора «Мультитест» ИПЛ-311. Абсолютная погрешность измерения потенциала составляла не более 0,5 мВ. Равновесие считалось установившимся, если измеряемое значение ЭДС не изменялось в пределах 0,1 мВ в течение 5 мин. Температуру 298,15 К потенциометрической ячейки, титранта и электрода поддерживали с точностью $\pm 0,1$ °С с помощью воздушного и водяного термостатов.

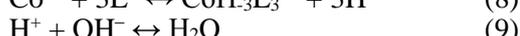
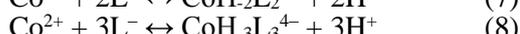
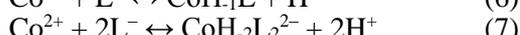
Градуировку стеклянного электрода проводили по стандартным растворам соляной кислоты при $I = 0,2$ (KNO_3). Полученная при обработке этих данных по методу наименьших квадратов величина $tg\alpha$ составляла 0,05833 В/ед рН. Для каждого соотношения металл : лиганд проводили по три – четыре параллельных опыта.

Спектры поглощения растворов $Co(NO_3)_2$ в присутствии глицил-глицил-глицина снимали на спектрофотометре СФ-56.

Экспериментальные данные обрабатывали по универсальной программе «PHMETR», предназначенной для расчета констант равновесия с произвольным числом реакций по измеренной равновесной концентрации одной из частиц [19].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В исследуемой системе Co(II) - триглицин возможно протекание следующих процессов:



В расчетах использовали константы диссоциации триглицина, полученные ранее [20]: $pK_1 = 3,25 \pm 0,01$, $pK_2 = 7,90 \pm 0,02$ при $I = 0,2$ (KNO_3), и константы ионизации воды на “фоне” KNO_3 [21]. Значения pK гидролиза частицы $CoOH^+$ было взято из работы [22].

Критерием адекватности выбранной модели служили различия между рассчитанными и экспериментальными величинами pH. Они были знакопеременными и не превышали погрешности эксперимента.

Расчеты показали, что при соотношении Co:L = 1:1 в растворе присутствуют только частицы CoL^+ и CoH_1L . При соотношениях Co:L = 1:2; 1:3 в растворе наряду с CoL^+ и CoH_1L присутствует частица CoL_2 , при соотношениях Co:L = 1:5; 1:10 дополнительно образуются $CoH_2L_2^{2-}$, CoL_3^- и $CoH_3L_3^{4-}$. Вследствие высоких коэффициентов корреляции между отдельными искомыми параметрами значения $\lg\beta(CoL^+)$ и $\lg\beta(CoH_1L)$ при некоторых соотношениях Co:L вводили в расчет как независимо полученные величины. Так как доля частицы $CoH_3L_3^{4-}$ в условиях эксперимента не превышала 10% из-за выпадения осадка в области pH около 10, то достоверно получить численное значение величины $\lg\beta(CoH_3L_3^{4-})$ не удалось. Найденные значения логарифмов констант устойчивости комплексов триглицина с Co^{2+} приведены в табл. 1 (для комплекса $CoH_3L_3^{4-}$ указана вероятная величина $\lg\beta$). Как видно, для различных соотношений металл : лиганд получены удовлетворительно совпадающие значения констант устойчивости для частиц одного состава.

Таблица 1

Константы устойчивости ($\lg\beta$) комплексов Co^{2+} с триглицином при 298,15 К, $I = 0,2$ (KNO_3) в водном растворе
Table 1. Stability constants ($\lg\beta$) of Co^{2+} complexes with triglycine at 298.15 K, $I = 0.2$ (KNO_3) in aqueous solution

Соотношение	CoL^+	CoH_1L	CoL_2	CoL_3^-	$CoH_2L_2^{2-}$	$CoH_3L_3^{4-}$
1:1	2,76±0,02	-4,52±0,02	-	-	-	-
1:2	2,72±0,02	-4,48±0,02	4,66±0,05	-	-	-
1:3	2,74±0,02	-4,51±0,02	4,56±0,05	-	-	-
1:5	-	-	4,70±0,03	7,11±0,03	-9,83±0,02	-19,69±0,22
1:10	-	-	4,49±0,10	7,15±0,05	-9,93±0,03	-19,49±0,20
Среднее	2,74±0,02	-4,50±0,02	4,60±0,05	7,13±0,05	-9,88±0,03	-19,59±0,22
25 °C $I = 0,15$ [16]	3,14	-	5,44	-	-	-
25 °C $I = 0$ [17]	2,98	-	4,59	-	-	-

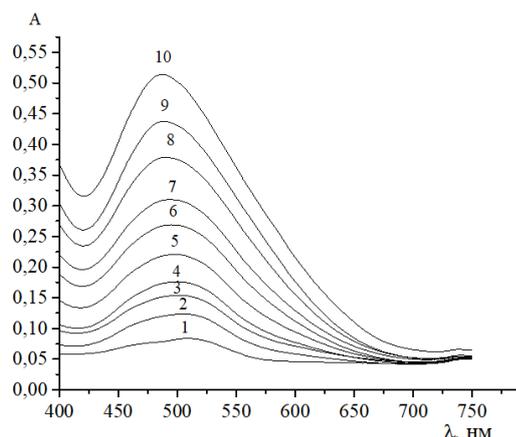


Рис. 1. Спектры поглощения иона Co^{2+} ($C^o(Co^{2+}) = 8 \cdot 10^{-3}$ моль/л) в присутствии триглицина ($C^o(L) = 4 \cdot 10^{-2}$ моль/л) при различных значениях pH: 1 – 5,46; 2 – 7,12; 3 – 7,46; 4 – 7,75; 5 – 8,01; 6 – 8,24; 7 – 8,62; 8 – 9,23; 9 – 9,56; 10 – 9,86

Fig. 1. Absorption spectra of Co^{2+} ion ($C^o(Co^{2+}) = 8 \cdot 10^{-3}$ mol/l) in the presence of triglycine ($C^o(L) = 4 \cdot 10^{-2}$ mol/l) at various pH values: 1 - 5.46; 2 - 7.12; 3 - 7.46; 4 - 7.75; 5 - 8.01; 6 - 8.24; 7 - 8.62; 8 - 9.23; 9 - 9.56; 10 - 9.86

Для подтверждения состава комплексов, образующихся в системе кобальт(II) – триглицин, использовали спектрофотометрический метод. Спектры поглощения растворов $Co(NO_3)_2$ в присутствии триглицина при соотношении Co:L = 1:5 и различных значениях pH приведены на рис. 1.

Согласно диаграмме равновесий в исследуемой системе (рис. 2) при pH = 5,5 в растворе присутствует комплексная частица CoL^+ . В спектре поглощения при данном значении pH наблюдается полоса небольшой интенсивности с максимальным поглощением при длине волны 510 нм (кривая 1). При увеличении pH раствора происходит рост оптической плотности и смещение максимума в коротковолновую часть спектра. На рис. 2 видно, что в интервале pH 5,5-9,0 в растворе образуются комплексные частицы состава CoH_1L , CoL_2 , CoL_3^- и

$\text{CoH}_2\text{L}_2^{2-}$. При дальнейшем увеличении pH положение максимума полос поглощения практически не изменяется, что связано с доминированием в этой области депротонированных комплексов состава $\text{CoH}_2\text{L}_2^{2-}$ и $\text{CoH}_3\text{L}_3^{2-}$.

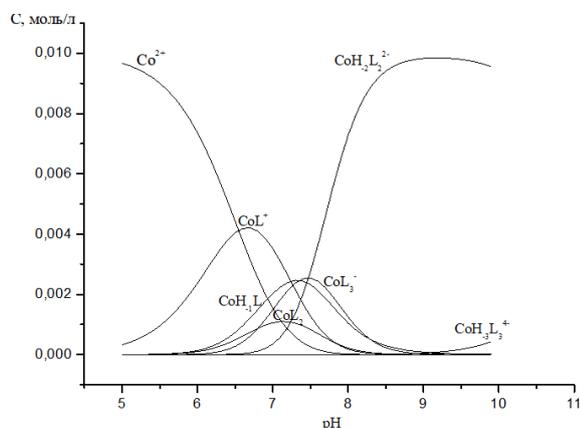
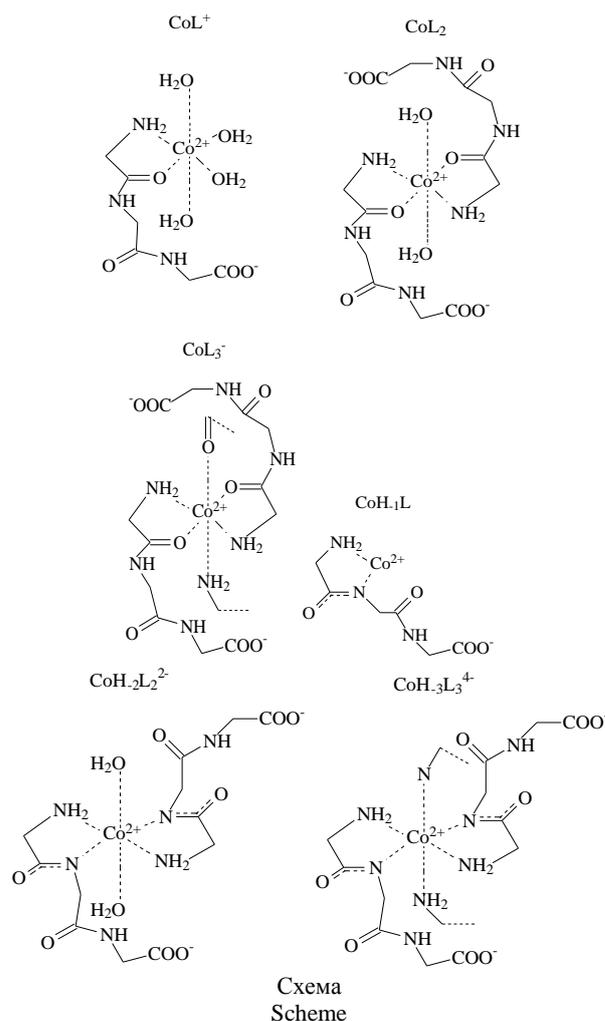


Рис. 2. Диаграмма распределения частиц в системе Co(II) – триглицин ($C^{\circ}(\text{Co}^{2+}) = 0,01$ моль/л; $C^{\circ}(\text{L}) = 0,05$ моль/л)
 Fig. 2. Chart of distribution of particles in the Co(II) system - triglycine ($C^{\circ}(\text{Co}^{2+}) = 0.01$ mol/l; $C^{\circ}(\text{L}) = 0.05$ mol/l)

Вероятные структуры комплексов Co(II) с триглицином приведены на схеме.

Работа выполнена в НИИ Термодинамики и кинетики химических процессов Ивановского государственного химико-технологического университета в рамках Государственного задания (базовая часть), проект № 4.7104.2017/89.



ЛИТЕРАТУРА

1. Sanna D., Ágoston C. G., Giovanni Micera, Sóvágó I. The effect of the ring size of fused chelates on the thermodynamic and spectroscopic properties of peptide complexes of copper(II). *Polyhedron*. 2001. V. 20. P. 3079. DOI: 10.1016/S0277-5387(01)00918-4.
2. Лыткин А.И., Черников В.В., Крутова О.Н. Стандартные энтальпии образования DL- α -аланил-глицил-глицина и продуктов его диссоциации в водных растворах. *Журн. физ. хим.* 2018. Т. 92. № 1. С. 70. DOI: 10.7868/S0044453718010144.
3. Лыткин А.И., Черников В.В., Крутова О.Н. Термодинамические характеристики реакций ступенчатой диссоциации DL- α -аланил-глицил-глицина в водном растворе. *Журн. физ. хим.* 2017. Т. 91. № 7. С. 1167. DOI: 10.7868/S0044453717070214.
4. Bukharov M.S., Shtyrlin V.G., Mukhtarov A.S., Mamin G.V. Study of structural and dynamic characteristics of copper(II) amino acid complexes in solutions by combined EPR and NMR relaxation methods. *Phys. Chem. Chem. Phys.* 2014. V. 16. P. 9411. DOI: 10.1039/c4cp00255e.
5. Deschamps P., Kulkarni P., Gautam-Basak M., Sarkar B. The saga of copper(II)-L-histidine. *Coord. Chem. Rev.* 2005. V. 249. P. 895. DOI: 10.1016/j.ccr.2004.09.013.
6. Srisuknimit V., Qiao Y., Schaefer K., Kahne D., Walker S. Peptidoglycan Cross-Linking Preferences of Staphylococcus aureus Penicillin-Binding Proteins Have Implications for Treating

REFERENCES

1. Sanna D., Ágoston C. G., Giovanni Micera, Sóvágó I. The effect of the ring size of fused chelates on the thermodynamic and spectroscopic properties of peptide complexes of copper(II). *Polyhedron*. 2001. V. 20. P. 3079. DOI: 10.1016/S0277-5387(01)00918-4.
2. Lytkin A.I., Chernikov V.V., Krutova O.N. Thermodynamics of Dissolution of Crystalline Racemic Tartaric and Glutaric Acids and Isatin in KOH Aqueous Solutions at 298.15 K. *Russ. J. Phys. Chem.* 2018. V. 92. N 1. P. 81-84. DOI: 10.1134/S0036024418010144.
3. Lytkin A.I., Chernikov V.V., Krutova O.N. Thermodynamic characteristics of step dissociation reactions of DL- α -alanyl-glycylglycine in aqueous solution. *Zhurn Fizich. Khim.* 2017. V. 91. N 7. P. 1167 (in Russian). DOI: 10.7868/S0044453717070214.
4. Bukharov M.S., Shtyrlin V.G., Mukhtarov A.S., Mamin G.V. Study of structural and dynamic characteristics of copper(II) amino acid complexes in solutions by combined EPR and NMR relaxation methods. *Phys. Chem. Chem. Phys.* 2014. V. 16. P. 9411. DOI: 10.1039/c4cp00255e.
5. Deschamps P., Kulkarni P., Gautam-Basak M., Sarkar B. The saga of copper(II)-L-histidine. *Coord. Chem. Rev.* 2005. V. 249. P. 895. DOI: 10.1016/j.ccr.2004.09.013.
6. Srisuknimit V., Qiao Y., Schaefer K., Kahne D., Walker S. Peptidoglycan Cross-Linking Preferences of Staphylococcus aureus Penicillin-Binding Proteins Have Implications for Treating MRSA Infections. *J. Am. Chem. Soc.* 2017. V. 139. P. 9791. DOI: 10.1021/jacs.7b04881.

- MRSA Infections. *J. Am. Chem. Soc.* 2017. V. 139. P. 9791. DOI: 10.1021/jacs.7b04881.
7. **Bukharov M.S., Shtyrlin V.G., Mamin G.V., Stapf S.** Structure and Dynamics of Solvation Shells of Copper(II) Complexes with N,O-Containing Ligands. *Inorg. Chem.* 2015. V. 54. P. 9777. DOI: 10.1021/acs.inorgchem.5b01467.
 8. **Li H., Jiang J., Luo Y.** Identification of the protonation site of gaseous triglycine: the cis-peptide bond conformation as the global minimum. *Phys. Chem. Chem. Phys.* 2017. V. 19. P. 15030. DOI: 10.1039/c7cp01997a.
 9. **Marsh B.M., Zhou J., Garand E.** Vibrational spectroscopy of isolated copper(II) complexes with deprotonated triglycine and tetraglycine peptides. *RSC Adv.* 2015. V. 5. P. 1790. DOI: 10.1039/C4RA09655J.
 10. **Aljazzar S.O.** Equilibrium studies on mixed ligand complexes of copper (II) ion with drug fluoxetine. HCL and glycine oligopeptides using potentiometric titration technique. *Int. J. Pharm. Scien. Rev. Res.* 2016. V. 37. P. 105.
 11. **Gielen M., Tiekink E.R.T.** *Metallotherapeutic Drugs and Metal-Based Diagnostic Agents. The Use of Metals in Medicine.* Wiley: Chichester. 2005. Hambley TW, Metal-Based Therapeutics, Science. 584 p.
 12. **Zhang CX, Lippard S.J.** New metal complexes as potential therapeutics. *Curr. Opin. Chem. Biol.* 2003. V. 7. N 4. P. 481. DOI: 10.1016/S1367-5931(03)00081-4.
 13. **Pacheco P.H., Smichowski P., Polla G., Martinez L.D.** Solid phase extraction of Co ions using L-tyrosine immobilized on multiwall carbon nanotubes. *Talanta.* 2009. V. 79(2). P. 249. DOI: 10.1016/j.talanta.2009.03.050.
 14. **Zhang X.-C., Huang Y., Fan Yue, Cheng X.** Comparative Study for Oxygenation Properties of Cobalt Complexes with Hsitidine, Histidinol and Histamine. *Chin. J. Inorg. Chem.* 2013. V. 29. N 11. P. 2387. DOI: 10.3969/j.issn.1001-4861.2013.00.353.
 15. **Esakku S., Selvam A., Joseph K., Palanivelu K.** Assessment of heavy metal species in decomposed municipal solid waste. *Chem. Spec. Bioavail.* 2005. V. 17. P. 95. DOI: 10.3184/095422905782774883.
 16. **Li N.C., Doody B.E., White J.M.** Some Metal Complexes of Glycine Peptides, Histidine and Related Substances. *J. Am. Chem. Soc.* 1957. 79. P. 5859–5863. DOI: 10.1021/ja01579a006.
 17. **Evans W.P., Monk C.B.** Electrolytes in solutions of amino acids. Part 6. - Dissociation constants of some triglycinates by e.m.f. and pH measurements. *Trans. Faraday Soc.* 1955. 51. P. 1244-1250. DOI: 10.1039/TF9555101244.
 18. **Карякин Ю.В.** Чистые химические вещества. М.: Химия. 1974. 217 с.
 19. **Бородин В.А., Васильев В.П., Козловский Е.В.** Обработка результатов потенциометрического исследования комплексообразования в растворах на ЭЦВМ. *Ж. неорг. химии.* 1986. Т. 31. № 1. С. 10.
 20. **Горболетова Г.Г., Метлин А.А., Бычкова С.А.** Термодинамика комплексообразования ионов Ni^{2+} с триглицином в водном растворе. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2016. Т. 59. № 2. С. 57.
 21. **Васильев В.П., Лобанов Г.А.** Теплота ионизации воды в растворах некоторых I-И электролитов при 250 °С. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 1969. Т. 12. № 6. С. 740-743.
 22. **Назаренко В.А., Антонович В.П., Невская Е.М.** Гидролиз ионов металлов в разбавленных растворах. М.: Атомиздат. 1979. 120 с.
 7. **Bukharov M.S., Shtyrlin V.G., Mamin G.V., Stapf S.** Structure and Dynamics of Solvation Shells of Copper(II) Complexes with N,O-Containing Ligands. *Inorg. Chem.* 2015. V. 54. P. 9777. DOI: 10.1021/acs.inorgchem.5b01467.
 8. **Li H., Jiang J., Luo Y.** Identification of the protonation site of gaseous triglycine: the cis-peptide bond conformation as the global minimum. *Phys. Chem. Chem. Phys.* 2017. V. 19. P. 15030. DOI: 10.1039/c7cp01997a.
 9. **Marsh B.M., Zhou J., Garand E.** Vibrational spectroscopy of isolated copper(II) complexes with deprotonated triglycine and tetraglycine peptides. *RSC Adv.* 2015. V. 5. P. 1790. DOI: 10.1039/C4RA09655J.
 10. **Aljazzar S.O.** Equilibrium studies on mixed ligand complexes of copper (II) ion with drug fluoxetine. HCL and glycine oligopeptides using potentiometric titration technique. *Int. J. Pharm. Scien. Rev. Res.* 2016. V. 37. P. 105.
 11. **Gielen M., Tiekink E.R.T.** *Metallotherapeutic Drugs and Metal-Based Diagnostic Agents. The Use of Metals in Medicine.* Wiley: Chichester. 2005. Hambley TW, Metal-Based Therapeutics, Science. 584 p.
 12. **Zhang CX, Lippard S.J.** New metal complexes as potential therapeutics. *Curr. Opin. Chem. Biol.* 2003. V. 7. N 4. P. 481. DOI: 10.1016/S1367-5931(03)00081-4.
 13. **Pacheco P.H., Smichowski P., Polla G., Martinez L.D.** Solid phase extraction of Co ions using L-tyrosine immobilized on multiwall carbon nanotubes. *Talanta.* 2009. V. 79(2). P. 249. DOI: 10.1016/j.talanta.2009.03.050.
 14. **Zhang X.-C., Huang Y., Fan Yue, Cheng X.** Comparative Study for Oxygenation Properties of Cobalt Complexes with Hsitidine, Histidinol and Histamine. *Chin. J. Inorg. Chem.* 2013. V. 29. N 11. P. 2387. DOI: 10.3969/j.issn.1001-4861.2013.00.353.
 15. **Esakku S., Selvam A., Joseph K., Palanivelu K.** Assessment of heavy metal species in decomposed municipal solid waste. *Chem. Spec. Bioavail.* 2005. V. 17. P. 95. DOI: 10.3184/095422905782774883.
 16. **Li N.C., Doody B.E., White J.M.** Some Metal Complexes of Glycine Peptides, Histidine and Related Substances. *J. Am. Chem. Soc.* 1957. 79. P. 5859–5863. DOI: 10.1021/ja01579a006.
 17. **Evans W.P., Monk C.B.** Electrolytes in solutions of amino acids. Part 6. - Dissociation constants of some triglycinates by e.m.f. and pH measurements. *Trans. Faraday Soc.* 1955. 51. P. 1244-1250. DOI: 10.1039/TF9555101244.
 18. **Karyakin Yu.V.** Pure chemicals. M.: Khimiya. 1974. 217 p. (in Russian).
 19. **Borodin V.A., Vasilyev V.P., Kozlovsky E.V.** Processing the results of a potentiometric study of complexation in solutions on a digital computer. *Zhurn. Neorg. Khim.* 1986. V. 31. N 1. P. 10 (in Russian).
 20. **Gorboletova G.G., Metlin A.A., Bychkova S.A.** Thermodynamics of complexation of Ni^{2+} ions with triglycine in aqueous solution. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2016. V. 59. N 2. P. 57 (in Russian).
 21. **Vasil'ev V.P., Lobanov G.A.** The heat of ionization of water in solutions of some of the first and second electrolytes at 250°C. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 1969. V. 12. N 6. P. 740-743 (in Russian).
 22. **Nazarenko V.A., Antonovich V.P., Nevskaya E.M.** Hydrolysis of metal ions in dilute solutions. M.: Atomizdat. 1978. 120 p. (in Russian).

Поступила в редакцию 11.03.2019

Принята к опубликованию 27.12.2019

Received 11.03.2019

Accepted 27.12.2019