

УДК 546.06:543.48

**А. Н. Чеботарев, Е. В. Рабошвиль, И. С. Ефимова, А. В. Демчук,
Д. В. Снигур**Одесский национальный университет имени И. И. Мечникова,
ул. Дворянская, 2, г. Одесса, 65082; email: alexch@ukr.net**ОСОБЕННОСТИ КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЯ
Co(II) С 4-СУЛЬФО-2(4'-СУЛЬФОНАФТАЛИН-1'-АЗО)
НАФТОЛОМ-1 В РАСТВОРАХ**

В данной работе спектрофотометрически изучены особенности реакции комплексообразования в системе «Кобальт(II)-кармоазин- H_2O_2 ». Показано, что взаимодействие кармоазина (КАН) с Co(II) возможно только после его окисления в присутствии пероксида водорода. В отличие от ранее изученных ионов металлов переменной валентности, взаимодействующих с кармоaziном по механизму взаимного окисления-восстановления, в данном случае КАН выступает как типичный органический лиганд. Установлены оптимальные условия взаимодействия в исследуемой химической системе (pH 8; 10 об.% H_2O_2). Классическими спектрофотометрическими методами (молярных отношений, сдвига равновесия) определен состав комплекса (Co(III):КАН = 1:3). Молярный коэффициент светопоглощения комплексного соединения ($\epsilon_{600} = 5300$) и его константа устойчивости $2,4 \cdot 10^9$ рассчитаны по методу Комаря, а заряд (-6) определен экстракционно-спектрофотометрически. Сделано предположение о механизме взаимодействия кобальта(II) с кармоaziном, которому предшествует стадия окисления кобальта(II) в кобальта(III) с образованием переходного пероксидного комплекса и его последующее взаимодействие с КАН по кислотно-основному механизму.

Ключевые слова: комплексообразование, кармоазин, кобальт, окислительно-восстановительные реакции.

Комплексообразование ионов металлов (M) с органическими лигандами (R), как правило, протекает согласно кислотно-основной теории Льюиса [1,2]. Особый интерес вызывают реакции, требующие предварительного преобразования компонентов химической системы [3-5]. Одним из наиболее существенных и радикальных способов такого преобразования могут быть окислительно-восстановительные реакции (ОВР) между реагирующими компонентами, предшествующие комплексообразованию. В этом случае следует выделить два основных варианта, а именно взаимное окисление-восстановление иона металла и лиганда или окисление-восстановление иона металла (молекулы лиганда) с последующей реакцией продукта ОВР с неизменным лигандом (ионом металла).

В качестве реагента, который способен участвовать в окислительно-восстановительных реакциях с поливалентными ионами металлов нами предложен 4-сульфо-2(4'-сульфонафталин-1'-азо)нафтол-1 (кармоазин, КАН, HR^{2-}) [6]. Ранее было показано [6, 7], что КАН способен реагировать только с ионами металлов в высших степенях окисления согласно величинам их окислительно-восстановительного потенциала (ОВП). Редокс-свойства самого КАН изучены в работе [8] и установлен диапазон потенциалов 900-1750 мВ, в пределах которого возможны

ОВР ряда редокс-пар М с КАН. Зачастую величина ОВП редокс-пары иона металла или лиганда, является недостаточной для осуществления ОВР и требует активации. Например, в реакционную систему вводят вспомогательные редокс-компоненты, которые выполняют функцию преобразователей лиганда или иона металла. Установлено [7], что для КАН характерным является взаимодействие с ионами металлов в высших степенях окисления по механизму взаимного окисления-восстановления только в указанном выше диапазоне потенциалов. Интерес представляет изучение особенностей взаимодействия кобальта с КАН. С одной стороны известно [9-11], что различные окислители, в том числе и пероксид водорода окисляют Co(II) до Co(III), а согласно величине ОВП (+1,82В) его редокс-пары следует ожидать взаимодействия Co(III) с КАН по механизму взаимного окисления-восстановления. В свою очередь, при образовании комплексных соединений кобальта (III) с органическими лигандами по Льюису может стабилизироваться его трехвалентное состояние [12]. Исходя из вышеизложенного, цель данной работы состоит в установлении оптимальных условий и изучении механизма комплексообразования ионов Co(II) с КАН в водных растворах в присутствии пероксида водорода.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исходный стандартный раствор Co(II) с концентрацией $1 \cdot 10^{-2}$ М готовили растворением навески кристаллогидрата $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ в дистиллированной воде. Концентрацию Co(II) в полученном растворе устанавливали титриметрически [13]. Раствор КАН с концентрацией $1 \cdot 10^{-2}$ М готовили растворением точной навески сухого реагента в дистиллированной воде. Собственное светопоглощение водных растворов КАН характеризуется широкой полосой средней интенсивности с максимумом при $\lambda_{\text{макс}} = 530$ нм, $\epsilon_{530} = 14000$ [14]. Растворы с меньшими концентрациями готовили разбавлением исходных непосредственно перед применением. Необходимую кислотность поддерживали введением универсального буферного раствора. Все используемые в работе реагенты имели квалификацию не ниже ч.д.а.

При оптимизации условий проведения реакции комплексообразования растворы Co(II) и КАН с концентрацией в интервале $1 \cdot 10^{-5} \div 1 \cdot 10^{-4}$ моль/л смешивали в разных мольных соотношениях варьируя кислотность среды от pH 2 до pH 11; для активации взаимодействия вводили различные количества пероксида водорода (0-35 об.%). Стехиометрию комплекса устанавливали методами молярных соотношений и сдвига равновесия, а молярные коэффициенты светопоглощения рассчитывали по методу Н.П. Комаря [15]. Наличие ионов Co(III) во вновь образованной химической системе вследствие ОВР, доказывали с использованием приема «перехвата» ионов трехвалентного кобальта конкурирующим лигандом – ЭДТА [16]. Для определения заряда комплекса использовали экстракцию хлороформом его ионного ассоциата с хлоридом цетилпиридиния (ЦПС), варьируя концентрацию последнего в интервале $(0-5) \cdot 10^{-5}$ М.

Электронные спектры светопоглощения регистрировали на спектрофотометрах СФ-56 (ОКБ «ЛОМО-Спектр», РФ) и Specord UV VIS (Carl Zeiss, Германия) в кюветах с толщиной поглощающего слоя $l = 1$ см в диапазоне 400–700 нм относительно раствора холостого опыта. Кислотность среды контролировали с помощью стеклянного электрода ЭСЛ-63-07 в паре с хлорсеребряным электродом сравнения ЭВЛ-1МЗ на иономере И-160, откалиброванном по стандартным буферным растворам.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При смешивании растворов КАН и $Co(II)$ в разных мольных соотношениях при варьировании рН и температуры, взаимодействия не наблюдалось, о чем свидетельствовало постоянство ярко выраженной полосы поглощения КАН при 530 нм (рис. 1). Введение в химическую систему разных количеств пероксида водорода приводило к изменению окраски растворов, а в спектрах поглощения наблюдалось образование новой полосы средней интенсивности с максимумом при 600 нм (рис. 1).

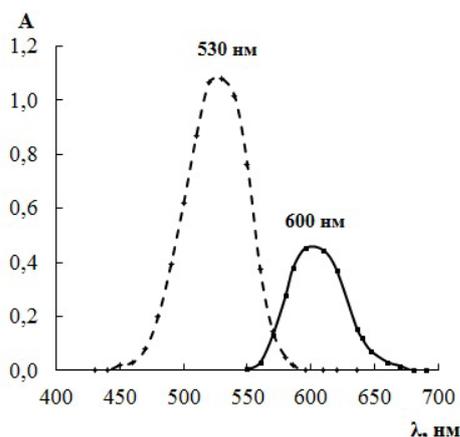


Рис. 1. Спектры светопоглощения реагента (пунктирная линия) и комплексного соединения (сплошная линия, дифференциальная запись); $C_{Co(II)} = 1 \cdot 10^{-5}$ моль/л, $C_{КАН} = 1 \cdot 10^{-4}$ моль/л, $C_{H_2O_2} = 10\%$, рН 8, $l=1$ см.

Таким образом, взаимодействие $Co(II)$ с КАН возможно только при введении окислителя – пероксида водорода. Для оптимизации условий комплексообразования изучено влияние рН и концентрации пероксида водорода на светопоглощение исследуемой системы (рис. 2).

Из рис. 2 видно, что максимальный выход комплекса наблюдается при рН 8 и введении в систему 10 об.% пероксида водорода. Состав комплекса определяли методами насыщения по лиганду и сдвига равновесия (рис. 3).

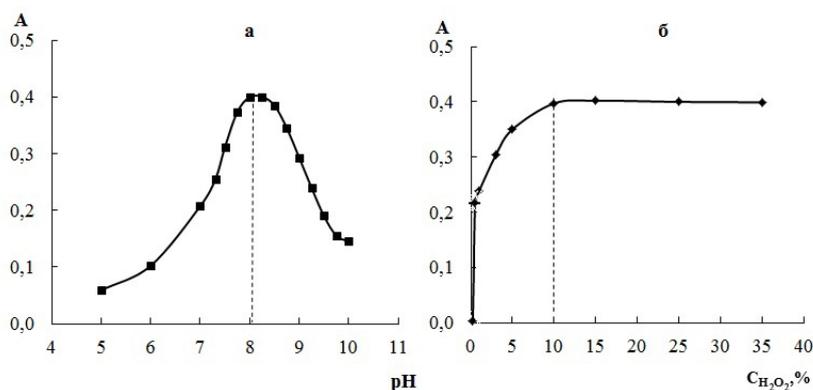


Рис. 2. Влияние pH (а) и концентрации пероксида водорода (б) на светопоглощение комплексного соединения; $C_{\text{Co(II)}} = 1 \cdot 10^{-5}$ моль/л, $C_{\text{КАН}} = 1 \cdot 10^{-4}$ моль/л, $C_{\text{H}_2\text{O}_2} = 10\%$, pH 8, $l=1$ см.

Как видно из рис. 3, выход на плато кривой насыщения по лиганду происходит при молярном соотношении 1:3 (рис. 3а). Тангенс угла наклона прямой (рис. 3б), равный 3 также подтверждает установленное соотношение реагирующих компонентов. Молярный коэффициент светопоглощения, рассчитанный по методу Комаря составляет $\epsilon_{600\text{нм}} = 5300$, а константа устойчивости $2,4 \cdot 10^9$, указывает на умеренную устойчивость комплексного соединения в растворах.

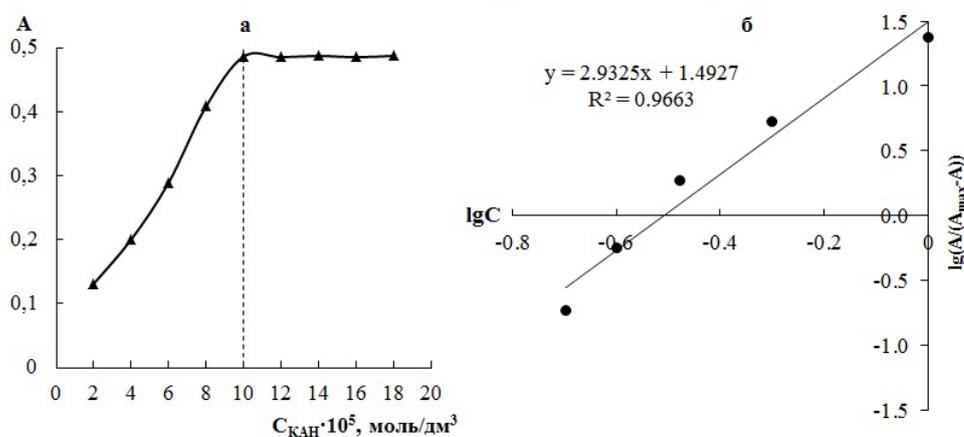


Рис. 3. Определение состава комплекса методом молярных отношений (а) и сдвига равновесия (б); $C_{\text{Co(II)}} = 3,3 \cdot 10^{-5}$ моль/л, $C_{\text{H}_2\text{O}_2} = 10\%$, pH 8, $l=1$ см.

Для подтверждения наличия ионов Со(III) в исследуемой химической системе использовали ЭДТА, который способен вступать в реакции перекомплексообразования с образованием бесцветного более устойчивого комплекса ($K_{\text{уст}} = 10^{16}$) [16]. Как следует из рис. 4 постепенное добавление к раствору, содержащему комплекс

$Co(III)$ с КАН раствора ЭДТА наблюдается снижение интенсивности светопоглощения при 600 нм и происходит обесцвечивание раствора, что, несомненно, свидетельствует об образовании нового комплекса $Co(III)$ с ЭДТА.

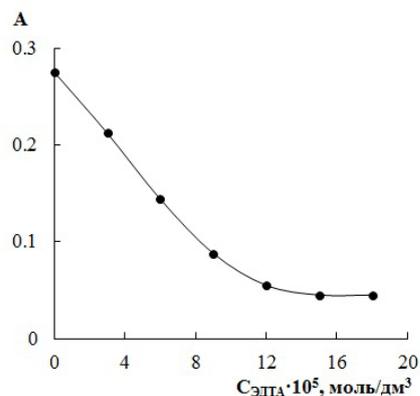


Рис. 4. Зависимость изменения интенсивности светопоглощения водного раствора комплекса $Co(III)$ с КАН от концентрации конкурирующего лиганда ЭДТА, $C_{Co(III)} = 1 \cdot 10^{-5}$ моль/л, $C_{КАН} = 1 \cdot 10^{-4}$ моль/л, $C_{H_2O_2} = 10\%$, pH 8, $l = 1$ см.

Для определения заряда комплекса состава $[Co(III) : 3КАН]$ изучена экстракция его ионного ассоциата с ЦПСІ хлороформом. В отсутствие ЦПСІ комплекс практически не извлекается в органическую фазу. Согласно данным представленным на рис. 5 установлен заряд комплекса равный -6. Принимая во внимание стехиометрию комплекса и наличие в молекуле КАН двух отрицательно заряженных внешнесферных сульфо-групп, а также положительный заряд катиона цетилпиридиния ($ЦП^+Cl^-$) можно представить состав экстрагирующегося ионного ассоциата следующим образом $[Co(III) \cdot 3КАН^{2-} \cdot 6ЦП^+]$.

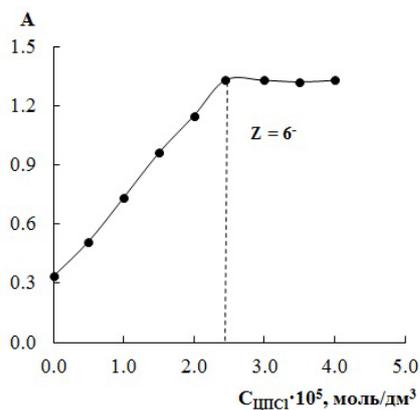
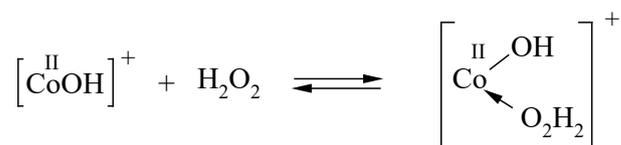


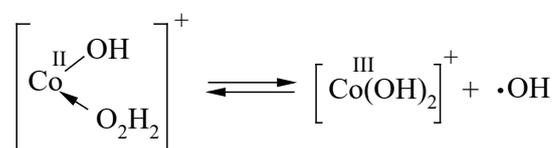
Рис. 5. Зависимость интенсивности светопоглощения экстракта ионного ассоциата комплекса с хлоридом цетилпиридиния от концентрации ЦПСІ, $C_{Co(III)} = 0,4 \cdot 10^{-5}$ моль/л, $C_{КАН} = 1,2 \cdot 10^{-5}$ моль/л, $C_{H_2O_2} = 10\%$, pH 8, $l = 1$ см.

В целом, на основании проведенных исследований и последовательных этапов эксперимента механизм комплексообразования в системе «Co(II)-КАН-H₂O₂» можно представить следующей схемой:

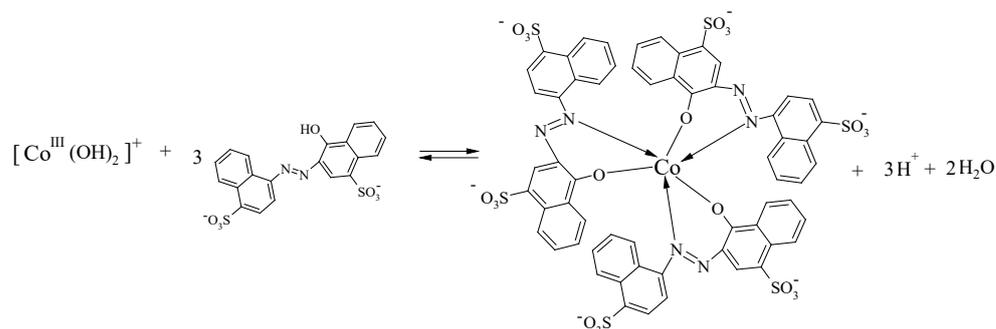
1. Образование комплексного иона Co(II) с пероксидом водорода (рН 8):



2. Разложение промежуточного пероксидного комплекса Co(II) с выделением гидроксид-радикала и образованием гидроксокомплекса кобальта(III):



3. Комплексообразование [Co^{III}(OH)₂]⁺ с КАН:



Согласно представленной схеме, в результате проведенных исследований получено новое комплексное соединение Co(III) с КАН состава [Co(III) · 3КАН] со следующими химико-аналитическими характеристиками: $\epsilon_{600} = 5300$ и $K_{\text{уст}} = 2,4 \cdot 10^9$.

Таким образом, в данной работе, изучены особенности реакции комплексообразования в системе «кобальт(II)-кармоазин-пероксид водорода». В отличие от ранее изученных ионов металлов переменной валентности, взаимодействующих с кармоaziном по механизму взаимного окисления-восстановления, в данном случае КАН выступает как типичный органический лиганд. Предложен механизм взаимодействия КАН с кобальтом(II), которому предшествует стадия его окисления в кобальт(III) и последующее комплексообразование с КАН по кислотно-основному механизму. Установлены оптимальные условия взаимодействия в исследуемой химической системе (рН 8; 10 об.% H₂O₂). Классическими спектро-

фотометрическими методами (молярных отношений, сдвига равновесия) определен состав комплекса (Со(II):КАН = 1:3), его молярный коэффициент светопоглощения ($\epsilon_{600} = 5300$) и константа устойчивости $2,4 \cdot 10^9$ рассчитаны по методу Комаря; заряд (-6) определен экстракционно-спектрофотометрическим методом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

2. Кукушкин Ю.Н. Кислоты и основания в координационной химии // Сорос. образ. журн. – 1998, № 1. – С. 28-32.
3. Кукушкин Ю.Н. Химия молекул, координированных ионами металлов // Сорос. образ. журн. – 1997, № 12. – С. 59-64.
4. Пилипенко А.Т., Сафронова В.Г., Фалендыш Е.Р. Влияние органических растворителей на комплексообразование цинка и меди с хромазулолом // Журн. аналит. химии. – 1981. – Т. 36, № 4. – С. 657-662.
5. Фиалков Ю.А. Растворитель как средство управления химическим процессом. – Л.: Химия, 1990. – 240 с.
6. Назаренко В.А., Антонович В.П., Невская В.М. Гидролиз ионов металлов в разбавленных растворах. – М: Атомиздат, 1979. – 192 с.
7. Єфімова І.С. 4-сульфо-2(4'-сульфонафталин-1'-азо)нафтол-1 – редокс-реагент для фотометричного визначення ряду іонів металів у вищих ступенях окиснення // Автореф. дис... канд. хім. наук. – ФХІ ім. О.В. Богатського НАНУ. – Одеса, 2010. 16 с.
8. Chebotarev A.N., Raboshvil E.V., Snigur D.V., Polishchuk A.A. Karboazin as a single redox reagent for spectrophotometric determination of Mn, Cr, Se, and V in different categories of water // J. Water Chem. Technol. – 2015. – Vol. 37. – P. 172-178. <http://dx.doi.org/10.3103/S1063455X15040049>.
9. Чеботарєв А.Н., Плюта К.В., Рабошвиль Е.В., Безюк Е.В., Снигур Д.В. Вольтамперометрическое поведение кармоазина на угольно-пастовом электроде в водных растворах // Вопросы химии и хим. технологии. – 2016. – Т. 5-6, № 109 – С. 26-30.
10. Перекись водорода и перекисные соединения / Под ред. проф. М.Е.Позина. – Ленинград, 1951. – 241 с.
11. Tóth Z. On the reaction in the cobalt(II)-hydrogen peroxide-tartaric acid system // J. Chem. Educ. – 1980. – Vol. 57, N 6, – P.464ю <http://dx.doi.org/10.1021/ed057p464.1>
12. Wallen C.M., Palatinus L., Bacsa J., Scarborough C.C. Hydrogen peroxide coordination to cobalt(II) facilitated by second-sphere hydrogen bonding // Angew. Chem. Int. Ed. 2016. – Vol. 55. – P.1 – 6. <http://dx.doi.org/10.1002/anie.201606561>
13. Скопенко В.В., Цивадзе А.Ю., Савранский Л.И., Гарновский А.Д. Координационная химия. М.: Академкнига, 2007. — 487 с.
14. Коростелев П.П. Приготовление растворов для химико-аналитических работ. М.: Наука, 1964. – 384 с.
15. Чеботарєв А.Н., Єфімова І.С. Кислотно-основные свойства функционально-аналитических групп 4-сульфо-2(4'-сульфонафталин-1'-азо)нафтола-1 в водном и водно-органических растворах // Методы и объекты химического анализа. – 2009. – Т.4, № 1. – С. 11-17.
16. Булатов М.И., Калинин И.П. Практическое руководство по фотометрическим методам анализа. М.: Химия, 1985. 432 с.
17. Пятницкий И.В., Сухан В.В. Маскирование и демаскирование в аналитической химии. М.: Наука, 1990. 222с.

Стаття надійшла до редакції 10.04.2018

О. М. Чеботарьев, К. В. Рабошвиль, И. С. Ефимова, А. В. Демчук,

Д. В. Снігур

Одеський національний університет імені І.І. Мечникова, вул. Дворянська, 2, Одеса, Україна, 65082; email: alexch@ukr.net

ОСОБЛИВОСТИ КОМПЛЕКСООТВОРЕНИЯ Co(II) З 4-СУЛЬФО-2-(4'-СУЛЬФОНАФТАЛИН-1'-АЗО)-НАФТОЛОМ-1 В РОЗЧИНАХ

У даній роботі спектрофотометрично вивчені особливості реакції комплексоутворення у системі «Кобальт(II)-кармоазин- H_2O_2 ». Показано, що комплексоутворення кармоазину (КАН) з Co(II) можливе тільки після його окиснення у присутності перекису водню. На відміну від раніше досліджених іонів металів змінної валентності, які взаємодіють з кармоaziном за механізмом взаємного окиснення-відновлення, в даному випадку кармоазин виступає як типовий органічний ліганд. Встановлені оптимальні умови взаємодії в досліджуваній хімічній системі (pH 8, 10 об.% H_2O_2). Класичними спектрофотометричними методами (молярних співвідношень та зсуву рівноваги) визначено склад комплексу (Co(III):КАН = 1:3). З використанням методу Комаря обчислено молярний коефіцієнт світлопоглинання комплексу ($\epsilon_{600} = 5300$). Розраховано константу стійкості комплексу яка складає $2,4 \cdot 10^9$. Наявність іонів Co(III) у новоствореній внаслідок окисно-відновної реакції хімічній системі, доводили з використанням прийому «перехоплення» іонів тривалентного кобальту конкуруючим лігандом – ЕДТА. Заряд (-6) продукту взаємодії в системі «Кобальт(II)-кармоазин- H_2O_2 » визначено екстракційно-спектрофотометричним методом. Враховуючи стехіометрію комплексу та наявність в молекулі кармоазину двох негативно заряджених зовнішньосферних сульфо-груп, а також позитивний заряд катіона цетилпіридинію ($ЦП^+Cl^-$) встановлено склад йодного асоціату який екстрагується хлороформом $[Co(III) \cdot 3KAN^{2-} \cdot 6ЦП^+]$. Зроблено припущення про механізм взаємодії Co(II) з кармоaziном, якому передують стадія окиснення Co(II) у Co(III) з утворенням перехідного пероксидного комплексу і його наступне комплексоутворення з кармоaziном за кислотно-основним механізмом.

Ключеві слова: комплексоутворення, кармоазин, кобальт, окисно-відновні реакції.

A. N. Chebotarev, E. V. Raboshvil, I. S. Efimova, A. V. Demchuk,

D. V. Snigur

Odessa I.I. Mechnikov National University, Dvoryankaya str., 2,
Odessa, 65082, Ukraine; email: alexch@ukr.net

THE PECULIARITIES OF THE COMPLEXATION OF CO(II) WITH 4-SULFO-2 (4'-SULFONAPHTALIN-1'-AZO)-NAPHTHOL-1 IN SOLUTIONS

In this paper, the features of the complexation of the “Cobalt(II) -carboazine- H_2O_2 ” system were studied spectrophotometrically. It is shown that the complexation of carboazine (CAN) with Co(II) is possible only after its oxidation in the presence of hydrogen peroxide. In contrast to the previously investigated ions of variable valency metals that interact with carboazine according to the mechanism of mutual oxidation-reduction, in this case, carboazine acts as a typical organic ligand. The optimal conditions of interaction in the investigated chemical system (pH 8, 10 vol% H_2O_2) were established. The complex composition (Co(III):KAN = 1:3) was determined by classical spectrophotometric methods (molar ratios and equilibrium shift). Using the

Komar method molar absorptivity of the complex was calculated ($\epsilon_{600} = 5300$). The complex stability constant which is $2.4 \cdot 10^9$, was calculated. The presence of Co(III) ions in the newly formed as a result of the oxidation-reduction reaction to the chemical system was proved by using the intake of "interception" of trivalent cobalt ions by the competing ligand – EDTA. The charge (-6) of the product of interaction in the system "Cobalt(II) -carmoazine- H_2O_2 " was determined by the extraction spectrophotometric method. Given the stoichiometry of the complex and the presence in the molecule of carmoazine of two negatively charged outer-sphere sulfo groups, as well as the positive charge of cation of cetylpyridinium (CP^+Cl^-), the composition of the ion pair extracted with chloroform $[Co(III) \cdot 3CAN^{2-} \cdot 6CP^+]$ was determined. An assumption was made about the mechanism of interaction of Co(II) with carmoazine, which is preceded by the oxidation stage of Co(II) in Co(III) to form the transition peroxide complex and its subsequent complexation with carmoazine by the acid-base mechanism.

Key words: complexation, carmoisine, cobalt, redox-reactions.

REFERENCES

1. Kukushkin J.N. *Kisloty i osnovaniya v koordinatsionnoy khimii*. Soros Science Education Journal, 1998, no 1. pp. 28-32 (in Russian).
2. Kukushkin J.N. *Khimiya molekul, koordinirovannykh ionami metallov*. Soros Science Education Journal, 1997, no 12. pp. 59-64 (in Russian).
3. Pilipenko A.T., Safronova V.G., Falendysh Ye.R. *Vliyaniye organicheskikh rastvoriteley na kompleksoobrazovaniye tsinka i medi s khromazurolom*. J Analyt. Chem., 1981. vol. 36, no 4, pp. 657-662 (in Russian)
4. Fialkov J.A. *Rastvoritel' kak sredstvo upravleniya khimicheskimi protsessami* [Solvent as a means of controlling the chemical process]. – Leningrad, Chemistry, 1990. 240 p. (in Russian)
5. Nazarenko V.A., Antonovich V.P., Nevskaya V.M. *idroliz ionov metallov v razbavlennykh rastvorakh* [Hydrolysis of metal ions in dilute solutions]. Moscow, Atomizdat, 1979. 192 p. (in Russian)
6. Yefimova I.S. *4-sulfo-2(4-sulfonafthalin-1-azo)naftol-1 – redoks-reagent dlya fotometrychnogo vyznachenniya ryadu ioniv metaliv u vyshchyykh stupenyakh oksyennyya*. Dis. kand. him. nauk [4-sulfo-2 (4'-sulfonaphthalene-1'-azo) naphthol-1-redox reagent for the photometric determination of a number of metal ions in higher oxidation stages. Dis. kand. him. nauk]- FCI im. O.V. Bohatskoho NANU.– Odessa, 2010, 16 p. (in Ukrainian)
7. Chebotarev A.N., Raboshvil E.V., Snigur D.V., Polishchuk A.A. *Karmoazin as a single redox reagent for spectrophotometric determination of Mn, Cr, Se, and V in different categories of water*. J. Water Chem. Technol., 2015, vol.37, pp. 172-178. <http://dx.doi.org/10.3103/S1063455X15040049>.
8. Chebotarov A.N., Pilyuta K.V., Raboshvil' Ye.V., Bevzyuk Ye.V., Snigur D.V. *Vol'tampermetricheskoye povedeniye karmoazina na ugol'no-pastovom elektrode v vodnykh rastvorakh*. Issues of Chemistry and Chemical Technology, 2016. vol. 5-6, no. 109, pp. 26-30. (in Russian)
9. *Perekis' vodoroda i perekisnyye soyedineniya* [Hydrogen Peroxide and Peroxide Compounds]. Under red. prof. M.E. Pozin. Leningrad, 1951. – 241 c. (in Russian)
10. Tóth Z. *On the reaction in the cobalt(II)-hydrogen peroxide-tartaric acid system*. J. Chem. Educ., 1980, vol. 57, no 6, – p. 464 <http://dx.doi.org/10.1021/ed057p464>.
11. Wallen C.M., Palatinus L., Bacsá J., Scarborough C.C. *Hydrogen peroxide coordination to cobalt(II) facilitated by second-sphere hydrogen bonding*. Angew. Chem. Int. Ed. 2016, vol. 55, pp. 1–6 <http://dx.doi.org/10.1002/anie.201606561>
12. Skopenko V.V., Tsvadze A.YU., Savranskiy L.I., Garnovskiy A.D. *Koordinatsionnaya khimiya* [Coordination chemistry]. Moscow, Akademkniga, 2007, 487 p. (in Russian)
13. Korostelev P.P. *Prigotovleniye rastvorov dlya khimiko-analiticheskikh rabot* [Preparation of solutions for chemical analytical work]. Moscow, Science, 1964, 384 p. (in Russian)
14. Chebotarov A.N., Yefimova I.S. *Kislотно-osnovnyye svoystva funktsional'no-analiticheskikh grupp 4-sul'fo-2(4'-sul'fonaftalin-1'-azo)naftola-1 v vodnom i vodno-organicheskikh rastvorakh*. Methods and objects of chemical analysis, 2009, vol. 4, no 1, pp. 11-17. (in Russian)
15. Bulatov M.I., Kalinkin I.P. *Prakticheskoye rukovodstvo po fotometrycheskim metodam analiza* [Practical guidance on photometric methods of analysis]. Moscow, Chemistry, 1985, 432 p. (in Russian)
16. Pjaticnikij I.V., Suhan V.V. *Maskirovaniye i demaskirovaniye v analiticheskoy khimii* [Masking and unmasking in analytical chemistry]. Moscow, Science, 1990, 222 p. (in Russian).