

Научная статья

УДК 547.386+543.422.3

<http://doi.org/10.17072/2223-1838-2022-2-78-87>

Спектрофотометрическое определение ионов Co(II) с N-(2-гидроксибензоил)-N'-(п-тозил)гидразином в аммиачных средах

Юлия Борисовна Ельчищева, Наталья Сергеевна Лахтина, Петр Тимофеевич Павлов
Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

Аннотация. Разработана методика спектрофотометрического определения ионов Co(II) с N-(2-гидроксибензоил)-N'-(п-тозил)гидразином (ГБСГ) в аммиачной среде. Зарегистрированы и проанализированы спектры поглощения реагента и его комплексного соединения с ионами Co(II) . Найдены оптимальные условия образования комплексного соединения: интервал рН комплексообразования; оптимальное время развития окраски; количество фотометрического реагента. В оптимальных условиях комплексообразования ГБСГ с ионами Co(II) построен градуировочный график. Закон Бугера–Ламберта–Бера выполняется в интервале от 0,3 до 2,4 мг Co(II) в 25 мл раствора. Рассчитаны истинный и кажущийся молярные коэффициенты светопоглощения. Истинный молярный коэффициент светопоглощения комплексного соединения ГБСГ с ионами Co(II) в аммиачной среде составляет 750. Методами насыщения, сдвига равновесий и кондуктометрического титрования определены молярные соотношения в растворе комплексного соединения $[\text{Co(II)}]:[\text{ГБСГ}] = 1:1$ и $1:2$. По методу Бабко рассчитана условная константа устойчивости комплекса ГБСГ с ионами Co(II) и она составляет $3,24 \cdot 10^{12}$.

Ключевые слова: ацилсульфонилгидразины; комплексообразование; органические лиганды; спектрофотометрия; цветные металлы.

Для цитирования: Ельчищева Ю.Б., Лахтина Н.С., Павлов П.Т. Спектрофотометрическое определение ионов Co(II) с N-(2-гидроксибензоил)-N'-(п-тозил)гидразином в аммиачных средах // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2022. Т. 12, № 2. С. 78–87. <http://doi.org/10.17072/2223-1838-2022-2-78-87>.

Original Article

<http://doi.org/10.17072/2223-1838-2022-2-78-87>

Spectrophotometric determination of Co(II) with N-(2-hydroxybenzoyl)-N'-(p-tosyl)hydrazine in ammonia medium

Yulia B. Elchishcheva, Natalya S. Lakhtina, Petr T. Pavlov
Perm State University, Perm, Russia

Abstract. A technique has been developed for the spectrophotometric determination of Co(II) ions with N-(2-hydroxybenzoyl)-N'-(p-tosyl)hydrazine (GBSH) in an ammonia medium. The absorption spectra of the reagent and its complex with Co(II) ions have been recorded and analyzed. The optimal conditions for the formation of the complex compound were found: the pH range of complex formation; optimal time for color development; amount of photometric reagent. Under optimal conditions for the complexation of GBSG with Co(II) ions, a calibration graph was constructed. The Bouguer-Lambert-Beer law is fulfilled in the range from 0,3 to 2,4 mg Co(II) in 25 ml of solution. The true and apparent molar light absorption coefficients were calculated. The true molar coefficient of light absorption of the complex compound GBSG with Co(II) ions in an ammonia medium is 750. The molar ratios in the solution of the complex compound $[\text{Co(II)}]:[\text{GBSG}] = 1:1$ and $1:2$. The conditional stability constant of the GBSG complex with Co(II) ions was calculated using the Babko method and it is $3,24 \cdot 10^{12}$.

Key words: acylsulfonylhydrazines; complexation; organic ligands; spectrophotometry; non-ferrous metals.

For citation: Elchishcheva Yu.B., Lakhtina N.S., Pavlov P.T. (2022) "Spectrophotometric determination of Co(II) with N-(2-hydroxybenzoyl)-N'-(p-tosyl)hydrazine in ammonia medium", *Bulletin of Perm University. Chemistry*, vol. 12, no. 2, pp. 78–87. (In Russ.). <http://doi.org/10.17072/2223-1838-2022-2-78-87>.



К перспективным реагентам для концентрирования ионов металлов, можно отнести ацилсульфонилгидразины (АСГ) – хелатообразующие лиганды, содержащие в своем составе гидразидную группу, способную к образованию прочных комплексных соединений с ионами цветных металлов [1], и сульфонильную, придающую реагентам поверхностно-активные свойства. Сочетание данных групп в структуре соединений представляет интерес для флотационных процессов концентрирования цветных металлов.

Чекановой Л.Г. с сотрудниками изучены процессы комплексообразования N-ацил-N'-(п-толуолсульфонил)гидразинов с общей формулой $RC(O)NHNHSO_2C_6H_4(CH_3)$, где R = C_4H_9 , C_6H_{13} , $C_4H_9CH(C_2H_5)$, C_8H_{15} , $C_{10}H_{21}$, $C_{12}H_{25}$, с ионами Cu(II), Co(II), Ni(II), Zn(II), Cd(II), Ag(I) в аммиачных средах [2]. Состав осадков комплексов, образуемых АСГ с ионами металлов в аммиачных средах, изучали методами насыщения, изомолярных серий и кондуктометрии. Кондуктометрическое титрование аммиаков металлов раствором реагента выявило соотношения $[Me(II)]:[АСГ] = 1:1$ и $1:2$. Методами насыщения и изомолярных серий найдены соотношения $[Me(II)]:[АСГ] = 1:1$ и $1:2$. При найденных соотношениях компонентов препаративно выделены и идентифицированы на основании ИК-спектров, элементного и термического анализа осадки комплексов. Найдены количественные характеристики равновесий комплексообразования – значения произведений растворимости осадков. Изучено влияние солей аммония и длины радикала на полноту осаждения катионов M(II) с АСГ.

Ацилсульфонилгидразины исследованы в качестве собирателей для ионной флотации

цветных металлов. На модельных растворах изучены закономерности флотационного извлечения ионов Cu(II), Co(II) и Ni(II) из аммиачных растворов с реагентами ряда N-ацил-N'-(n-толуолсульфонил)гидразинов [3]. Установлено, что применение растворов реагентов в 0,1 моль/л КОН позволяет достичь высокой степени извлечения (до 99,9 %) при ионной пневматической флотации цветных металлов в одну ступень при pH 5,5–11,0 для ионов Cu(II); Co(II) – 9,0–11,0; Ni(II) – 8,0–11,5. Для флотационного извлечения ионов M(II) достаточно 5 мин. При увеличении длины ацильного радикала степень флотационного извлечения M(II) возрастает. Это связано, по-видимому, с уменьшением растворимости комплексов и увеличением их флотоактивности в ряду исследуемых реагентов с ростом длины радикала. Таким образом, показана перспективность применения ацилсульфонилгидразинов в качестве флотореагентов для ионов цветных металлов.

Синтезированы и проанализированы с помощью элементного анализа, ЯМР-, ИК-Фурье-спектроскопии, жидкостной хроматографии с масс-спектрометрией, спектрофотометрии УФ- и видимой области, магнитной восприимчивости, РСА и кондуктометрии N-ацетил-N'-(пропилсульфонил)гидразин, N-ацетил-N'-(бутилсульфонил)гидразин, а также их комплексы с Cu(II) [4, 5]. Результаты исследования показывают образование комплекса со стехиометрией $Cu(II):L = 1:2$ с общей формулой $[CuL_2(CH_3COO)_2]$.

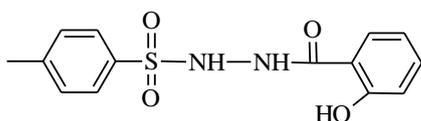
Авторами [6] изучены условия комплексообразования сульфонилгидразидов на основе α -разветвленных трет-карбоновых кислот, в частности N-(2,2-диметилпропаноил)-N'-(п-толуол-

сульфонил)гидразина (НППТ) с ионами Cu(II) , Co(II) , Ni(II) , Zn(II) в аммиачных растворах. Методами насыщения, сдвига равновесий, пересечения кривых, а также кондуктометрического титрования в растворе найдены соотношения в комплексах $[\text{Cu(II)}]:[\text{НППТ}] = 1:1$ и $1:2$. Осуществлен синтез комплексного соединения состава Cu(НППТ)_2 и выполнено рентгеноструктурное исследование выращенного монокристалла. Образование пятичленных металлоциклов происходит за счет ковалентного связывания иона Cu(II) с азотом сульфамидной группы и координации по кислороду карбонильной группы.

Представляло интерес исследовать АСГ с ароматическим радикалом в качестве представителя *p*-толуольного ряда. Поэтому целью настоящей работы было исследование реакции комплексообразования *N*-(2-гидроксibenzoил)-*N'*-(*p*-тозил)гидразина (ГБСГ) с ионами Co(II) в аммиачной среде с целью определения возможности применения реагента в процессах концентрирования цветных металлов, а в частности разработки методики для определения ионов Co(II) в продуктах после флотационного обогащения.

Объекты и методы исследования

Исследуемый реагент можно представить следующей формулой:



В работе использовали $1,0 \cdot 10^{-2}$ моль/л этанольный раствор ГБСГ, точную концентрацию которого устанавливали кондуктометрическим титрованием $0,1$ моль/л раствором KOH [7]; стандартный $1,0 \cdot 10^{-2}$ моль/л раствор сульфата кобальта (II), точную концентрацию которого

определяли комплексометрическим титрованием [8]; стандартный $2,5 \cdot 10^{-2}$ моль/л раствор ЭДТА; ацетатный буферный раствор ($\text{pH} \sim 5$); растворы аммиака (моль/л: $2,0$; $1,0$; $0,1$); $0,1$ % водный раствор ксиленолового оранжевого; растворители: этиловый спирт, хлороформ.

С целью изучения реакции комплексообразования ГБСГ с ионами Co(II) проводили спектрофотометрическое исследование на спектрофотометрах СФ-2000 (ОКБ-Спектр, Санкт-Петербург) и КФК-3-01 (ОАО «Загорский оптико-механический завод»). Значения pH растворов измеряли на pH -метре АНИОН 4100 (Инфраспак-Аналит, Новосибирск) с комбинированным электродом ЭСК-10603/7. Определение молярных соотношений $[\text{Co(II)}]:[\text{ГБСГ}]$ и точной концентрации реагента осуществляли кондуктометрическим титрованием на кондуктометре SEVENMULTIS70-K (MettlerToledo, Швейцария).

Исследование реакции комплексообразования ГБСГ с ионами Co(II) в аммиачных средах

Реакцию комплексообразования ГБСГ с ионами Co(II) проводили в аммиачной среде с целью создания необходимых значений pH рабочих растворов (для диссоциации реагента) и для предотвращения выпадения труднорастворимых гидроксокомплексов металлов. В мерную колбу на $25,0$ мл помещали $2,5$ мл $1,0 \cdot 10^{-2}$ моль/л раствора соли Co(II) , затем добавляли необходимое количество $2,0$ моль/л раствора аммиака до образования водорастворимого аммиачного комплекса, вносили $5,0$ мл $1,0 \cdot 10^{-2}$ моль/л ГБСГ, доводили до метки дистиллированной водой и тщательно перемешивали.

Природу образующего комплексного соединения ионов Co(II) с ГБСГ доказывали экстрак-

цией комплекса в органическую фазу (хлороформ) [9]. Для этого окрашенный комплекс количественно переносили в делительную воронку и экстрагировали 5,0 мл хлороформа. Время экстракционного равновесия составляло 5 минут. После расслаивания (в случае плохого расслаивания добавляли NaCl на кончике шпателя) проводили реэкстракцию: добавляли к органической фазе 5,0 мл 1 моль/л раствора H_2SO_4 и встряхивали 5 минут. Содержание ионов Co(II) в водной и органической фазах определяли комплексонометрическим титрованием в присутствии ацетатного буферного раствора (pH ~ 5) и 0,1%-ного водного раствора индикатора ксиленолового оранжевого.

Методика изучения влияния pH на комплексообразование ГБСГ с ионами Co(II)

Для изучения влияния pH на процесс комплексообразования ГБСГ с ионами Co(II) в мерную колбу на 25,0 мл вводили 2,5 мл $1,0 \cdot 10^{-2}$ моль/л раствора соли Co(II), затем добавляли различные количества раствора аммиака для создания необходимого значения pH в области существования аммиаков Co(II) – в интервале pH раствора от 11 до 13. Далее вносили 5,0 мл $1,0 \cdot 10^{-2}$ моль/л раствора ГБСГ, доводили до метки дистиллированной водой и тщательно перемешивали. Оптическую плотность окрашенных растворов измеряли на фоне холостого опыта при длине волны 570 нм в стеклянной кювете с толщиной слоя 1,0 см.

Методика изучения зависимости комплексообразования ГБСГ с ионами Co(II) в аммиачной среде от времени развития окраски. Для изучения изменения оптической плотности комплексного соединения во времени в мерную колбу на 25,0 мл вводили 2,5 мл раствора соли

Co(II) с концентрацией $1,0 \cdot 10^{-2}$ моль/л, 10 мл раствора аммиака с концентрацией 2,0 моль/л (для создания оптимального значения $pH \approx 11,4$) и 5,0 мл раствора ГБСГ с концентрацией $1,0 \cdot 10^{-2}$ моль/л. Оптическую плотность окрашенных растворов измеряли при длине волны 570 нм на фоне холостого опыта в стеклянных кюветах с толщиной слоя 1,0 см в течение часа.

Влияние избытка реагента на комплексообразование ГБСГ с ионами Co(II)

Влияние избытка реагента на процесс комплексообразования ГБСГ с ионами Co(II) изучали методом насыщения. В мерную колбу на 25,0 мл вводили 2,5 мл $1,0 \cdot 10^{-2}$ моль/л раствора соли Co(II), добавляли 10 мл раствора аммиака с концентрацией 2,0 моль/л ($pH \approx 11,4$), переменное количество $1,0 \cdot 10^{-2}$ моль/л раствора ГБСГ – 1,25; 2,5; 3,75; 5,0; 6,25; 7,5; 8,75 мл, создавая, таким образом, соотношения [Co(II)]:[ГБСГ], равные 1:0,5; 1:1; 1:1,5; 1:2; 1:2,5; 1:3; 1:3,5. Полученные растворы доводили до метки дистиллированной водой, тщательно перемешивали и измеряли оптическую плотность растворов на фоне холостого опыта при оптимальной длине волны 570 нм.

Методика определения константы устойчивости комплексного соединения ГБСГ с ионами Co(II)

Условная константа устойчивости комплекса определена по методу Бабко [10] по следующей методике: в мерную колбу на 25,0 мл вводили 2,5 мл раствора соли Co(II) с концентрацией $1,0 \cdot 10^{-2}$ моль/л, 10 мл раствора аммиака с концентрацией 2,0 моль/л и 5,0 мл раствора ГБСГ с концентрацией $1,0 \cdot 10^{-2}$ моль/л для создания молярного соотношения [Co(II)]:[ГБСГ] = 1:2, доводили до метки дистиллированной

водой и перемешивали. Далее раствор комплексного соединения и холостого опыта разбавляли в 4 и 6 раз. Оптическую плотность растворов измеряли при длине волны 570 нм на фоне холостого опыта в стеклянных кюветах с толщиной слоя 0,5 см для исходных растворов и 2,0 см; 3,0 см для разбавленных в 4 и 6 раз растворов соответственно.

Результаты и их обсуждение

Продуктом фотометрической реакции реагента с ионами Co(II) является раствор темно-зеленого цвета, что качественно свидетельствует об образовании комплексного соединения.

Природу образующего комплексного соединения ионов Co(II) с ГБСГ в аммиачной среде доказывали в варианте «экстракция–реэкстракция». Степень извлечения (E , %) рассчитывали по формуле

$$E, \% = \frac{Q_{\text{оф}}}{Q_{\text{оф}} + Q_{\text{вф}}} \cdot 100\% = \frac{C_{\text{оф}} \cdot V_{\text{оф}}}{C_{\text{оф}} \cdot V_{\text{оф}} + C_{\text{вф}} \cdot V_{\text{вф}}} \cdot 100\%$$

где $C_{\text{оф}}$, $C_{\text{вф}}$ – концентрация ионов Co(II) в органической и водной фазах, моль/л; $V_{\text{оф}}$, $V_{\text{вф}}$ – объемы органической и водной фаз, л; $Q_{\text{оф}}$, $Q_{\text{вф}}$ – количество ионов Co(II) в органической и водной фазах, моль.

Степень извлечения (99,9 %) подтверждает образование комплексного соединения ионов Co(II) с ГБСГ в аммиачной среде. Так как в результате реакции образуется водорастворимый комплекс, то актуально было разработать методику спектрофотометрического определения ионов Co(II) с целью определения Co(II) в продуктах флотации [11].

Для определения оптимальной длины волны поглощения зарегистрированы и проанализированы спектры поглощения ГБСГ и его комплекса с ионами Co(II) в аммиачной среде. Оп-

тимальная длина волны светопоглощения реагента находится при 220 и 327 нм. Максимумы поглощения комплексного соединения ГБСГ с ионами Co(II) находятся при длине волны 370 и 570 нм.

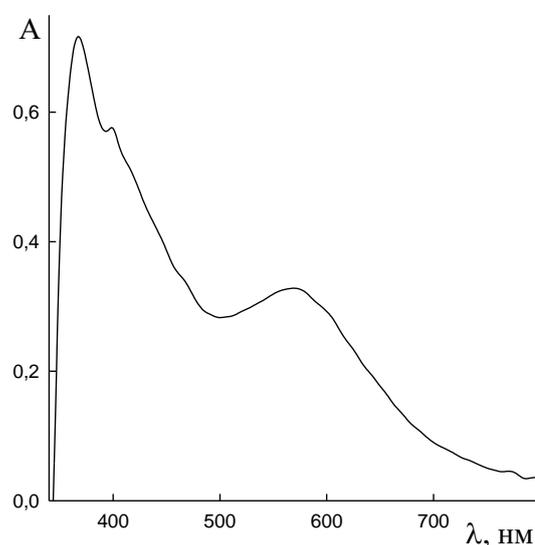


Рис. 1. Спектр поглощения комплексного соединения ГБСГ с ионами Co(II) в аммиачной среде: $C_{\text{Co(II)}} = 2,5 \cdot 10^{-3}$ моль/л; $C_{\text{ГБСГ}} = 5,0 \cdot 10^{-3}$ моль/л; $l = 1,0$ см

В качестве оптимальной длины волны было принято выбрать 570 нм, так как в этой области спектра значения оптической плотности более воспроизводимы и влияние реагента проявляется в меньшей степени (рис. 1).

Для определения оптимального интервала pH комплексообразования ГБСГ с ионами Co(II) проанализированы комплексные соединения в области существования аммиакатов Co(II) – в интервале pH раствора от 11 до 13 (табл. 1).

Из табл. 1 видно, что оптимальный интервал pH составляет от 11,3 до 11,6. Для дальнейших исследований было выбрано значение pH = 11,4, что соответствует 10 мл раствора аммиака с концентрацией 2,0 моль/л.

Таблица 1

Зависимость оптической плотности растворов от величины рН
 ($C_{\text{Co(II)}} = 2,5 \cdot 10^{-3}$ моль/л; $C_{\text{ГБСГ}} = 5,0 \cdot 10^{-3}$ моль/л; $\lambda = 570$ нм; $l = 1,0$ см)

$\text{pH}_{\text{равн}}$	11,33	11,37	11,40	11,57	12,5
A	0,199	0,224	0,223	0,223	0,102

По вышеописанной методике исследована зависимость комплексообразования ГБСГ с ионами Co (II) в аммиачной среде от времени развития окраски комплекса (рис. 2). Окраска комплексного соединения ГБСГ с Co(II) развивается в течение часа и затем устойчива в течение двух часов.

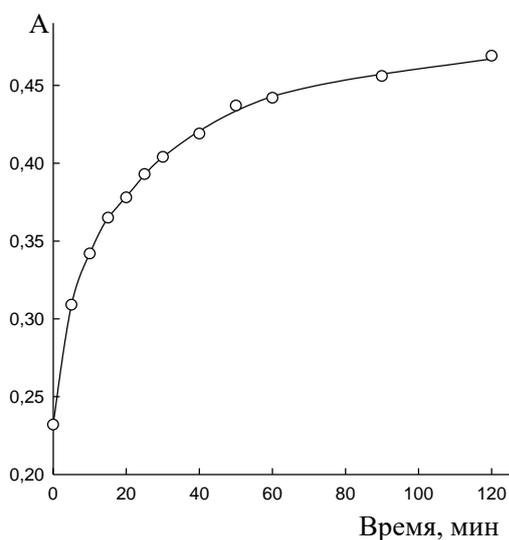


Рис. 2. Зависимость оптической плотности растворов от времени: $C_{\text{Cu(II)}} = 2,5 \cdot 10^{-3}$ моль/л; $C_{\text{ГБСГ}} = 5,0 \cdot 10^{-3}$ моль/л; $\lambda = 570$ нм; $l = 1,0$ см

В оптимальных условиях исследовано влияние избытка реагента на комплексообразование в аммиачной среде. Зависимость оптической плотности окрашенных комплексов от концентрации добавленного раствора ГБСГ представлена на рис.4. Анализ кривой насыщения доказывает молярное соотношение $[\text{Co(II)}]:[\text{ГБСГ}] = 1:2$ при оптимальном объеме реагента 7,5 мл.

В оптимальных условиях комплексообразования ГБСГ с ионами Co(II) ($\lambda = 570$ нм, рН

11,4, время развития окраски 60 минут, $V_{\text{ГБСГ}} = 7,5$ мл) построен градуировочный график (рис. 4). Закон Бугера–Ламберта–Бера выполняется в интервале от 0,3 до 2,4 мг Co(II) в 25 мл раствора (рис. 4). Кажущийся молярный коэффициент составляет $210 \text{ см}^2/\text{моль}$.

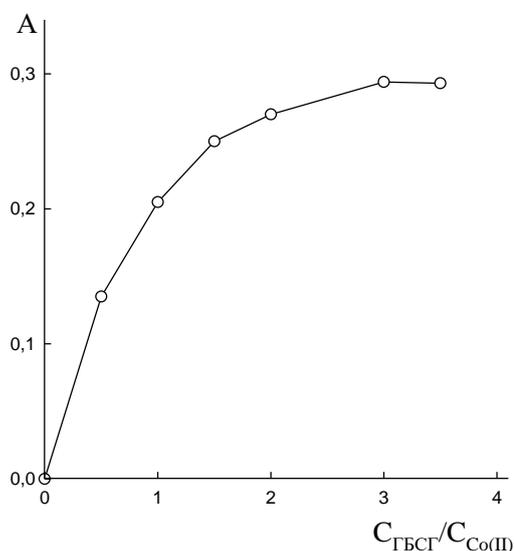


Рис. 3. Влияние избытка реагента на комплексообразование Co (II) с ГБСГ: $C_{\text{Co(II)}} = 2,5 \cdot 10^{-3}$ моль/л; $\lambda = 570$ нм; $l = 1,0$ см

Методом Бабко по кривой насыщения [12] рассчитан истинный молярный коэффициент светопоглощения по следующей формуле:

$$\varepsilon_K = \frac{1}{l} \cdot \left\{ \frac{A'' \cdot [(C_R'')^n - (C_R')^n]}{C_M \cdot [(C_R'')^n - (A''/A') \cdot (C_R')^n]} \right\},$$

который равен $750 \text{ см}^2/\text{моль}$.

Следующим этапом исследования было установление молярных соотношений $[\text{Co(II)}]:[\text{ГБСГ}]$. Ранее по кривой насыщения было установлено молярное соотношение $[\text{Co(II)}]:[\text{ГБСГ}] = 1:2$. Для подтверждения мо-

лярных соотношений кривая насыщения была обработана методом сдвига равновесий [13]. По результатам исследования тангенс угла наклона составляет 2,08, что подтверждает молярное соотношение $[\text{Co(II)}]:[\text{ГБСГ}] = 1:2$.

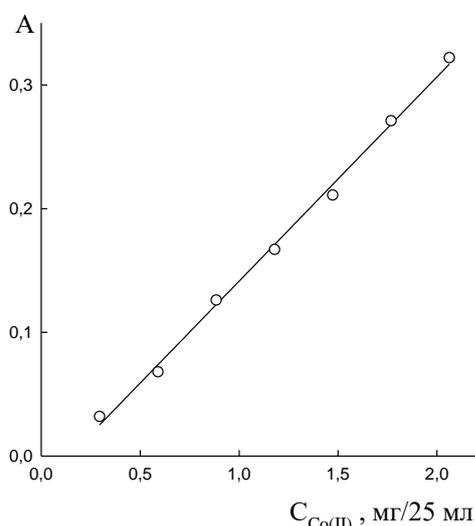


Рис. 4. Градуировочный график для определения Co(II) с ГБСГ: $C_{\text{ГБСГ}} = 3,0 \cdot 10^{-3}$ моль/л; $\text{pH} = 11,4$; $\tau = 60$ мин; $\lambda = 570$ нм; $l = 1,0$ см, $A = 0,1669C_{\text{Co(II)}} + 0,0773$ ($R_2 = 0,994$)

Изучение равновесий при комплексообразовании ГБСГ с ионами Co(II) в аммиачной среде проводили также методом кондуктометрического титрования (рис. 5). На основании полученных результатов можно предположить образование комплексов в растворе с молярными соотношениями $[\text{Co(II)}]:[\text{ГБСГ}] = 1:1$ и $1:2$.

Условная константа устойчивости комплекса ГБСГ с ионами Co(II) в аммиачной среде, определенная по методу разбавления Бабко, рассчитана по формуле (4):

$$\beta = \frac{\left(\frac{q^{\frac{1}{n+1}} - 1}{\Delta / 100} \right)^{n+1}}{C_M^n \cdot n^n},$$

где q – разбавление; $\Delta = (A - A_q)/A$ – отклонение от основного закона светопоглощения; A и A_q – оптические плотности исходного и разбавлен-

ного растворов; C_M – концентрация ионов металлов после разбавления раствора; n – количество координированных лигандов, найденных методом молярных отношений.

Рассчитанная условная константа устойчивости исследуемого комплексного соединения составляет $3,24 \cdot 10^{12}$. Константа устойчивости аммиачного комплекса ионов $\text{Co(II)}\beta_{[\text{Co(NH}_3)_4]^{2+}} = 1,17 \cdot 10^5$ [14]. Это является доказательством достаточной устойчивости комплекса ГБСГ с ионами Co(II) по сравнению с исходным аммиачным комплексом Co(II) и подтверждает приоритетность протекания реакции комплексообразования Co(II) с исследуемым реагентом.

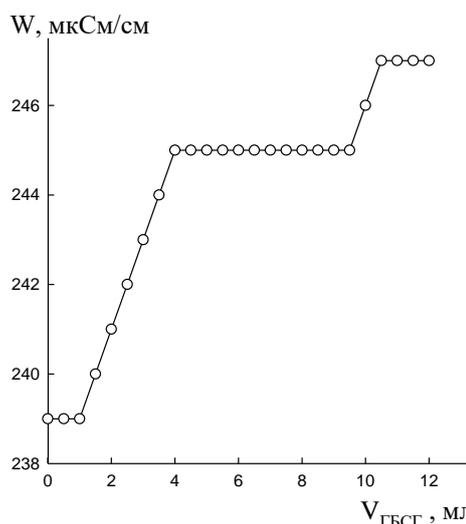


Рис. 5. Зависимость электропроводности раствора Co(II) от количества ГБСГ: $C_{\text{исх,ГБСГ}} = C_{\text{исх,Co(II)}} = 1,0 \cdot 10^{-2}$ моль/л; $V_{\text{Co(II)}} = 5,0$ мл; $\text{pH} = 11,4$; $[\text{EtOH}]:[\text{H}_2\text{O}] = 1:2$

Сходимость результатов спектрофотометрических измерений определена методом введено-найденно (табл. 2). Удовлетворительная относительная ошибка фотометрического определения говорит о возможности практического использования разработанной методики для определения ионов Co(II) после флотационного обогащения.

Таблица 2

Оценка правильности и сходимости результатов измерений (n = 5, P = 0,95)

Введено Co(II), мг/25 мл	Найдено Co(II), мг/25 мл	S	Относительная ошибка, %
1,414	1,403±0,044	0,0357	0,78

Заключение

Проведена фотометрическая реакция ионов Co(II) с N-(2-гидроксibenзоил)-N'-(n-тозил)-гидразином в аммиачной среде и доказана возможность разработки спектрофотометрической методики для определения Co(II) в продуктах флотации в качестве дополнения к атомно-эмиссионному анализу. Определены оптимальные условия реакции комплексообразования ГБСГ с ионами Co(II) в аммиачной среде – интервал рН образования комплекса; время развития окраски, количество реагента, необходимое для количественного связывания ионов Co(II).

В оптимальных условиях комплексообразования построен градуировочный график. Определены интервалы выполнения закона Бугера–Ламберта–Бера – от 0,3 до 2,4 мг Co(II)/25 мл. Кажущийся молярный коэффициент составляет 210, истинный – 750.

Методами насыщения, сдвига равновесий, кондуктометрического титрования найдены молярные соотношения [Co(II)]:[ГБСГ] = 1:1 и 1:2. Условная константа устойчивости исследуемого комплексного соединения, найденная по методу разбавления Бабко, составляет $3,24 \cdot 10^{12}$.

Список источников

1. Коган В. А., Зеленцов В. В., Гэрбэлэу Н. В., и др. Современные представления о строении координационных соединений переходных металлов с органическими производными гидразина // Журнал неорганической химии. 1986. Т. 31, № 11. С. 2831–2843.
2. Чеканова Л.Г., Воронкова О.А., Радушев А.В., и др. Комплексообразование N-ацил-N'-(п-толуолсульфонил)гидразинов с ионами цветных металлов в аммиачных средах // Журнал неорганической химии. 2013. Т. 58, № 1. С. 112–116. <https://doi.org/10.7868/S0044457X13010042>.
3. Чеканова Л.Г., Радушев А.В., Воронкова О.А., и др. Извлечение ионов цветных металлов из аммиачных растворов с N-ацил-N'-(п-толуолсульфонил)гидразидами // Химическая технология. 2011. Т. 12, № 12. С. 754–759.
4. Özdemir Ü.Ö., Aktan E., İlbiz F., et al. Characterization, antibacterial, anticarbonic anhydrase II isoenzyme, anticancer, electrochemical and computational studies of sulfonic acid hydrazide derivative and its Cu(II) complex // Inorganica Chimica Acta. 2014. Vol. 423B. P. 194–203. <https://doi.org/10.1016/j.ica.2014.09.033>.
5. Alyar S., Alyar H., Ozdemir U.O., et al. Synthesis, characterization, antibacterial activity and quantum chemical studies of N'-Acetyl propane sulfonic acid hydrazide // Journal of Molecular Structure. 2015. Vol. 1094. P. 237–245. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2015.03.059>.
6. Васильев В.С., Ельчищева Ю.Б., Павлов П.Т., и др. Комплексообразование N-(2,2-диметилпропаноил)-N'-(n-толуолсульфонил)гидразина с ионами Cu(II), Co(II), Ni(II) и Zn(II) в аммиачных средах // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2019. Т. 9, № 4. С. 351–358. <https://doi.org/10.17072/2223-1838-2019-4-351-358>.

7. Радусhev A.B., Чеканова Л.Г., Гусев В.Ю., и др. Определение гидразидов и 1,2-диацилгидразинов алифатических карбоновых кислот кондуктометрическим титрованием // Журнал аналитической химии. 2000. Т. 55, №5. С. 496–499.

8. Шварценбах Т., Флашка Г. Комплексонометрическое титрование. М.: Химия, 1970. 360 с.

9. Трейбал Р. Жидкостная экстракция. М.: Химия, 1966. 724 с.

10. Бабко А.К. Физико-химический анализ комплексных соединений в растворах. Киев: Наукова думка, 1955. 328 с.

11. Пешкова В.М., Громова М.И. Методы абсорбционной спектроскопии в аналитической химии. М.: Высшая школа, 1976. 280 с.

12. Булатов М.И., Калинин И.П. Практическое руководство по фотометрическим методам анализа. Л.: Химия, 1986. 432 с.

13. Бернштейн И.Я., Каминский Ю.Л. Спектрофотометрический анализ в органической химии. Л.: Химия, 1986. 116 с.

14. Лурье Ю.Ю. Справочник по аналитической химии. М.: Химия, 1979. 480 с.

Информация об авторах

Юлия Борисовна Ельчищева, кандидат химических наук, доцент кафедры аналитической химии и экспертизы, Пермский государственный национальный исследовательский университет (614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15), analitik1973@mail.ru

Наталья Сергеевна Лахтина, студент, кафедры аналитической химии и экспертизы, Пермский государственный национальный исследовательский университет (614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15), natalakhtina@gmail.com

Петр Тимофеевич Павлов, кандидат химических наук, доцент кафедры органической химии, Пермский государственный национальный исследовательский университет (614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15), pavlovpt@mail.ru

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Поступила 3 апреля 2022 г.; одобрена 20 мая 2022 г.; принята к публикации 27 мая 2022 г.

References

1. Kogan, V.A., Zelentsov, V.V., Gerbelev, N.V. and Lukov, V.V. (1986) "Modern concepts of the structure of coordination compounds of transition metals with organic derivatives of hydrazine", *Russian Journal of Inorganic Chemistry*, vol. 31, no. 11, pp. 2831–2843. (in Russ.).

2. Chekanova, L.G., Voronkova, O.A., Radushev, A.V., Pavlov, P.T. and Baigacheva, E.V. (2013) "Complexation of N-acyl-N'-(p-toluenesulfonyl) hydrazines with non-ferrous metal ions in ammonia media", *Russian Journal of Inorganic Chemistry*, vol. 58, no. 1, pp. 112–116. (in Russ.).

3. Chekanova, L.G., Radushev, A.V., Voronkova, O.A., Baigacheva, E.V. and Alekhina, Yu.V. (2011) "Extraction of non-ferrous metal ions from ammonia solutions with N-acyl-N'-(p-toluene-sulfonyl) hydrazines", *Khimicheskaya Tekhnologiya*, vol. 12, no. 12, pp. 754–759. (in Russ.).

4. Özdemir, Ü.Ö., Aktan, E., İlbiz, F., Gündüzalp, A.B., Özbek, N., Sarı, M., Çelik, Ö. and Saydam, S. (2014) “Characterization, antibacterial, anticarbonic anhydrase II isoenzyme, anticancer, electrochemical and computational studies of sulfonic acid hydrazide derivative and its Cu(II) complex”, *Inorganica Chimica Acta*, vol. 423B, pp. 194–203.
5. Alyar, S., Alyar, H., Ozdemir, U.O., Sahin, O., Kaya, K., Ozbek, N. and Gunduzalp, A.B. (2015), “Synthesis, characterization, antibacterial activity and quantum chemical studies of N'-Acetyl propane sulfonic acid hydrazide”, *Journal of Molecular Structure*, vol. 1094, pp. 237–245.
6. Vasiliev, V.S., Yelchischeva, Yu.B., Pavlov, P.T. and Chekanova, L.G. (2019) “Complexation of N-(2,2-dimethylpropanoyl)-N'-(p-toluenesulfonyl) hydrazine with Cu (II), Co (II), Ni (II), and Zn (II) ions in ammonia media”, *Bulletin of Perm University. Chemistry*, vol. 9, no. 4, pp. 51–59. (in Russ.).
7. Radushev, A.V., Chekanova, L.G., Gusev, V.Yu. and Sazonova, E.A. (2000) “Determination of hydrazides and 1,2-diacylhydrazines of aliphatic carboxylic acids by conductometric titration”, *Russian Journal of Analytical Chemistry*, vol. 55, no. 5, pp. 496–499. (in Russ.).
8. Shvarcenbah, G. and Flashka, G. (1970), *Kompleksonometricheskoe titrovaniye* [Complexometric titration], Himiya, Moscow. (In Russ.).
9. Treibal, R. (1966) *Zhidkostnaya ekstraktsiya* [Liquid extraction], Khimiya, Moscow. (in Russ.).
10. Babko, A.K. (1955) *Fiziko-khimicheskii analiz kompleksnykh soyedineniy v rastvorakh* [Physico-chemical analysis of complex compounds in solutions], Naukova Dumka, Kiev. (in Russ.).
11. Peshkova, V.M. and Gromova, M.I. (1976) *Metody absorbtionnoy spektroskopii v analiticheskoy khimii* [Absorption spectroscopy in analytical chemistry], Vyshaya Shkola, Moscow. (in Russ.).
12. Bulatov, M.I., Kalinkin, I.P. (1986) *Prakticheskoe rukovodstvo po fotometricheskim metodam analiza* [Practical guidance on photometric methods of analysis], Khimiya, Moscow. (in Russ.).
13. Bernstein, I.Ya. and Kaminsky, Yu.L. (1986) *Spektrofotometricheskii analiz v organicheskoy khimii* [Spectrophotometric analysis in organic chemistry], Khimiya, Leningrad. (in Russ.).
14. Lurie, Yu.Yu. (1979) *Spravochnik po analiticheskoy khimii* [Analytical Chemistry Handbook], Khimiya, Moscow. (in Russ.).

Information about the authors

Yulia B. Elchischeva, Candidate of Chemistry Sciences, Associate Professor, Department of Analytical Chemistry and Expertise, Perm State University (15, Bukireva st., Perm, Russia, 614990), analitik1973@mail.ru.

Natalya S. Lakhtina, student, Department of Analytical Chemistry and Expertise, Perm State University (15, Bukireva st., Perm, Russia, 614990), natalakhtina@gmail.com

Petr T. Pavlov, Candidate of Chemistry Sciences, Associate Professor, Department of Organic Chemistry, Perm State University (15, Bukireva st., Perm, Russia, 614990), pavlovpt@mail.ru

Conflicts of interests

The authors declare no conflicts of interests.

Submitted 3 April 2022; approved after reviewing 20 May 2022; accepted 27 May 2022.