

УДК 547-386, 543.422.3

DOI 10.17072/2223-1838-2021-2-103-113

Ю.Б. Ельчищева, К.С. Горбунова, П.Т. Павлов

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

**РАЗРАБОТКА СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКОЙ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИОНОВ
Cu(II) С N-(2-ГИДРОКСИБЕНЗОИЛ)-N'-(p-ТОЗИЛ)ГИДРАЗИНОМ
В АММИАЧНЫХ СРЕДАХ**

Разработана спектрофотометрическая методика определения ионов Cu (II) с N-(2-гидроксибензоил)-N'-(p-тозил)гидразином (ГБСГ) в аммиачных средах. Найдены оптимальные условия образования комплексного соединения: pH комплексообразования; оптимальное время развития окраски; количество фотометрического реагента. В оптимальных условиях комплексообразования ГБСГ с ионами Cu (II) ($\lambda = 401$ нм, pH = 9,2, $\tau = 30$ мин, $V_{\text{ГБСГ}} = 3,75$ мл) построен градуировочный график. Закон Бугера–Ламберта–Бера выполняется в интервале от 0,13 до 1,59 мг Cu(II)/25 мл. Истинный молярный коэффициент светопоглощения комплексного соединения ГБСГ с ионами Cu (II) в аммиачной среде составил 1480. Методами насыщения, сдвига равновесий и кондуктометрического титрования определены молярные соотношения в растворе комплексного соединения – $[\text{Cu(II)}]:[\text{ГБСГ}] = 1:1$. По методу Бабко рассчитана условная константа устойчивости комплекса ГБСГ с ионами Cu (II) и она составила - $4,53 \cdot 10^{16}$. Методом математической статистики определены сходимость и правильность разработанной спектрофотометрической методики.

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

Поступила в редакцию 26.04.2021; после доработки 27.05.2021; принята к публикации 1.06.2021

Y.B. Elchishcheva, K.S. Gorbunova, P.T. Pavlov

Perm State University, Perm, Russia

**DEVELOPMENT OF A SPECTROPHOTOMETRIC METHOD FOR DETERMINATION OF IONS
Cu (II) WITH N- (2-HYDROXYBENZOYL) -N '-(p-TOSIL) HYDRAZINE IN AMMONIA MEDIA**

A spectrophotometric method for the determination of Cu (II) ions with N- (2-hydroxybenzoyl) -N '-(p-tosyl) hydrazine (GBSH) in ammonia media has been developed. The optimal conditions for the formation of a complex compound have been found: pH of complexation; optimal time for color development; the amount of photometric reagent. Under optimal conditions of complexation of GBSG with Cu (II) ions ($\lambda = 401$ nm, pH = 9.2, $\tau = 30$ minutes, $V_{\text{GBSG}} = 3.75$ ml), a calibration graph is constructed. The Bouguer-Lambert-Beer law is fulfilled in the range from 0.13 to 1.59 mg Cu (II) / 25 ml. The true molar light absorption coefficient of the complex compound of HBSG with Cu (II) ions in the ammonia medium was 1480. The molar ratios in the solution of the complex compound \square $[\text{Cu (II)}]: [\text{HBSG}] = 1: 1$ were determined by saturation, equilibrium shift and conductometric titration. According to Babko's method, the conditional constant of stability of the GBSG complex with Cu (II) ions was calculated and it was - $4.53 \cdot 10^{16}$. The convergence and correctness of the developed spectrophotometric technique were determined by the method of mathematical statistics.

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

Received 26.04.2021; revised 27.05.2021; accepted 1.06.2021

© Ельчищева Ю.Б., Горбунова К.С., Павлов П.Т., 2021



Данная статья распространяется на условиях лицензии
Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная.

К перспективным реагентам для концентрирования металлоионов, 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'-(*n*-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 М (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 $RC(O)NHNHSO_2C_6H_4(CH_3)$, где $R = C_6H_{13}, C_4H_9CH(C_2H_5), C_{12}H_{25}$ [3]. Установлено, что применение растворов реагентов в 0,1 моль/л KOH 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 М (II) достаточно 5 мин. При увеличении длины ацильного радикала степень флотационного извлечения М (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.

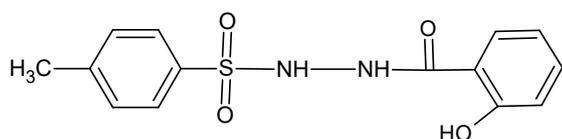
Синтезированы и проанализированы с помощью элементного анализа, ЯМР-, ИК-Фурье-спектроскопии, жидкостной хроматографии с масс-спектрометрией, спектрофотометрии УФ- и видимой области, магнитной восприимчивости, РСА и кондуктометрии N-ацетил-N'-(пропилсульфонил)гидразин, N-ацетил-N'-(бутилсульфонил)гидразин, 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'-(*n*-толуолсульфонил)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 [Cu (II)] : [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 паратолуольного ряда. Поэтому целью настоящей работы было исследование реакции комплексообразования N-(2-гидроксibenзоил)-N'-(*n*-тозил)гидразина (ГБСГ) с ионами Cu (II) в аммиачной среде с целью определения возможности применения реагента в процессах концентрирования цветных металлов, а в частности разработки методики для определения ионов Cu (II) в продуктах после флотационного обогащения.

Объекты и методы

Исследуемый реагент можно представить следующей формулой:



В работе использовали стандартный $1,0 \cdot 10^{-2}$ моль/л этанольный раствор ГБСГ, точную

концентрацию которого устанавливали кондуктометрическим титрованием $0,1$ моль/л раствором КОН [7]; стандартный $1,0 \cdot 10^{-2}$ моль/л раствор сульфата меди (II), точную концентрацию которого определяли комплексонометрическим титрованием [8]; стандартный $2,5 \cdot 10^{-3}$ моль/л раствор ЭДТА; ацетатный буферный раствор (рН ~ 5); растворы аммиака (моль/л: 2,0; 1,0; 0,1); спиртовой 0,1 % раствор ПАН; растворители: этиловый спирт, хлороформ.

Для изучения реакции комплексообразования N-(2-гидроксibenзоил)-N'-(*n*-тозил)гидразина с ионами Cu (II) проводили спектрофотометрическое исследование на спектрофотометре СФ-2000 (ОКБ-Спектр, Санкт-Петербург). Значения рН растворов измеряли на рН-метре АНИОН 4100 (Инфраспек-Аналит, Новосибирск) с комбинированным электродом ЭСК-10603/7. Для определения молярных соотношений [Cu (II)] : [ГБСГ] и точной концентрации реагента выполняли кондуктометрическое титрование на кондуктометре SEVEN MULTI S70-K (Mettler Toledo, Швейцария).

Методика изучения реакции комплексообразования ГБСГ с ионами Cu(II) в аммиачных средах

Реакцию комплексообразования ГБСГ с ионами Cu (II) проводили в аммиачной среде с целью создания необходимых значений рН рабочих растворов (для диссоциации реагента) и для предотвращения выпадения труднорастворимых гидроксокомплексов металлов (в случае применения щелочей).

В мерную колбу на 25,0 мл помещали $2,5$ мл $1,0 \cdot 10^{-2}$ моль/л раствора соли Cu (II), затем добавляли необходимое количество $2,0$ моль/л

раствора аммиака до образования растворимого в воде аммиачного комплекса, вносили 5,0 мл $1,0 \cdot 10^{-2}$ моль/л ГБСГ, доводили до метки дистиллированной водой и тщательно перемешивали. Полученный раствор приобретал темно-зеленый (оливковый) цвет, что свидетельствовало об образовании комплексного соединения.

Природу образующего комплексного соединения ионов Cu (II) с ГБСГ доказывали экстракцией 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 мин. После расслаивания (в случае плохого расслаивания добавляли NaCl) проводили реэкстракцию: добавляли к органической фазе 5,0 мл 1 моль/л раствора H_2SO_4 и встряхивали 5 мин. Содержание ионов Cu (II) в водной и органической фазах определяли комплексонометрическим титрованием в присутствии ацетатного буферного раствора (pH ~ 5) и 0,1% индикатора ПАН.

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

Для изучения влияния pH на процесс комплексообразования ГБСГ с ионами Cu (II) в мерную колбу на 25,0 мл вводили 2,5 мл $1,0 \cdot 10^{-2}$ моль/л раствора соли Cu (II), затем добавляли различные количества раствора аммиака с концентрациями 0,01; 0,1; 2,0 моль/л для создания необходимого значения pH в интервале от 5,5 до 12. Затем 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 на спектрофотометре СФ-2000 при длине волны $\lambda = 401$ нм в кварцевой кювете с толщиной слоя 1,0 см.

***Влияние избытка реагента
на комплексообразование
ГБСГ с ионами Cu (II)***

Влияние избытка реагента на процесс комплексообразования ГБСГ с ионами Cu (II) изучали методом насыщения. В мерную колбу на 25,0 мл вводили 2,5 мл $1,0 \cdot 10^{-2}$ моль/л раствора соли Cu (II), добавляли 2,0 мл 0,1 моль/л раствора аммиака (для создания pH ~ 9,2) и переменное количество $1,0 \cdot 10^{-2}$ моль/л раствора ГБСГ – 1,25; 2,5; 3,75; 5,0; 6,25 и 7,5 мл, создавая, таким образом, соотношения [Cu (II)] : [ГБСГ], равные 1:0,5; 1:1; 1:1,5; 1:2; 1:2,5. Полученные растворы доводили до метки дистиллированной водой и тщательно перемешивали. Исследование проводили экстракционно-фотометрическим методом. Для этого окрашенный комплекс количественно переносили в делительную воронку и экстрагировали 5,0 мл хлороформа. Оптическую плотность экстрактов измеряли на фоне холостого опыта при оптимальной длине волны $\lambda = 401$ нм.

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

Условную константу устойчивости комплекса определяли по методу Бабко [10] по следующей методике: в мерные колбы емкостью 25,0 мл вводили 2,0 мл $1,0 \cdot 10^{-2}$ моль/л раствора соли Cu (II), добавляли 2,0 мл 0,1 моль/л раствора аммиака (pH ~ 9,2) и 2,0 мл $1,0 \cdot 10^{-2}$ моль/л раствора ГБСГ для создания соотношения [Cu(II)]:[ГБСГ] = 1:1. Полученные растворы доводили до метки дистиллиро-

ванной водой и тщательно перемешивали. Оптическую плотность растворов измеряли на фоне холостого опыта при длине волны $\lambda = 401$ нм в кварцевой кювете с толщиной слоя 1,0 см. Затем растворы комплексов и холостые опыты последовательно разбавляли в 4 и 6 раз. Измеряли оптическую плотность растворов после каждого разбавления, увеличивая толщину кюветы в 4 и 6 раз.

Результаты и обсуждения

Продуктом фотометрической реакции ГБСГ с ионами Cu (II) в аммиачной среде является раствор темно-зеленого (оливкового) цвета, что свидетельствует об образовании комплексного соединения. Природу образующего комплексного соединения ионов Cu (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 Cu (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 Cu (II) в органической и водной фазах, моль.

Степень извлечения (около 100%) подтверждает образование комплексного соединения ионов Cu(II) с ГБСГ. Так как в результате реакции образовался растворимый комплекс, то интересно было разработать методику спектрофотометрического определения ионов Cu (II) в аммиачной среде с целью определения Cu (II) в продуктах флотации [11].

Для определения оптимальной длины волны и pH комплексообразования ГБСГ с ионами Cu (II) в аммиачной среде были сняты спектры

поглощения в интервале pH раствора от 5 до 11,5. Зарегистрированные спектры были идентичные по форме и показали максимум поглощения при длине волны $\lambda = 401$ нм. Зависимость комплексообразования ГБСГ с ионами Cu (II) от $\text{pH}_{\text{равн}}$ представлена на рис.1. Из рисунка видно, что оптимальный интервал pH комплексообразования составляет от 7,7 до 10,0. Для дальнейших исследований было выбрано значение $\text{pH} \sim 9,2$, что соответствует 2,0 мл 0,1 моль/л раствора аммиака.

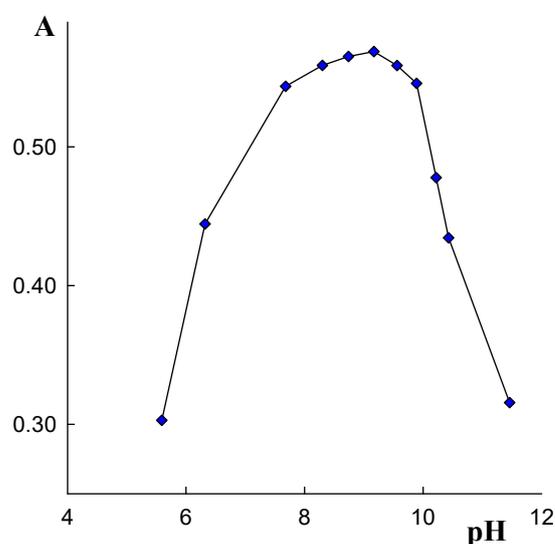


Рис. 1. Зависимость оптической плотности растворов от $\text{pH}_{\text{равн}}$: $C_{\text{Cu(II)}} = 2,5 \cdot 10^{-3}$ моль/л; $C_{\text{ГБСГ}} = 5,0 \cdot 10^{-3}$ моль/л; $\lambda = 401$ нм; $l = 1,0$ см

По вышеописанной методике исследовали зависимость комплексообразования ГБСГ с ионами Cu (II) в аммиачной среде от времени развития окраски комплекса (рис. 2).

Из рис. 2 видно, что комплексное соединение ГБСГ с ионами Cu (II) образуется сразу и окраска комплекса устойчива в течение 25–30 мин. По истечении этого времени оптическая плотность начинает возрастать, что, возможно, свидетельствует об образовании нового комплексного соединения с большим числом координированных лигандов.

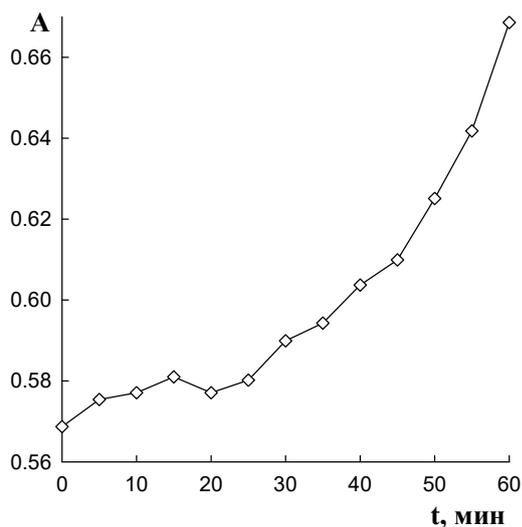


Рис. 2. Зависимость оптической плотности растворов от времени: $C_{Cu(II)} = 2,5 \cdot 10^{-3}$ моль/л; $C_{ГБСГ} = 5,0 \cdot 10^{-3}$ моль/л; $\lambda = 401$ нм; $l = 1,0$ см; pH = 9,2

Зависимость оптической плотности окрашенных комплексов от концентрации добавленного раствора ГБСГ представлена на рис. 3. Оптимальный объем реагента составил 3,75 мл. При обработке кривой насыщения было доказано молярное соотношение $[Cu(II)] : [ГБСГ] = 1 : 1$.

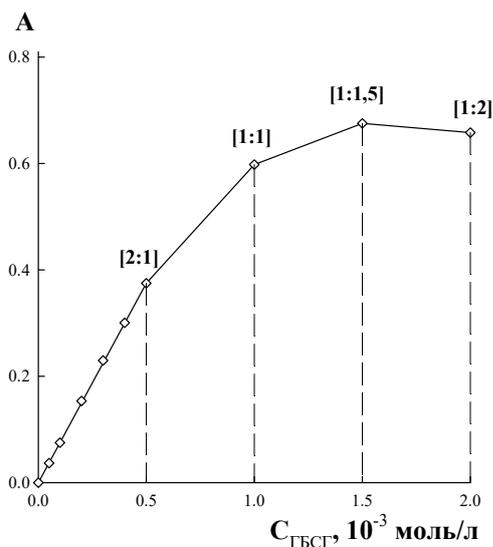


Рис. 3. Влияние избытка реагента на комплексообразование $Cu(II)$ с ГБСГ в аммиачной среде: $C_{Cu(II)} = 2,5 \cdot 10^{-3}$ моль/л; pH=9,2; $\lambda = 401$ нм; $l = 1,0$ см

При оптимальных условиях комплексообразования ГБСГ с ионами $Cu(II)$ ($\lambda = 401$ нм, pH = 9,2, $\tau = 30$ мин, $V_{ГБСГ} = 3,75$ мл) был построен градуировочный график. Закон Бугера–Ламберта–Бера выполняется в интервале от 0,13 до 1,59 мг $Cu(II)/25$ мл. (рис. 4). По градуировочному графику был рассчитан кажущийся молярный коэффициент светопоглощения, который составил 327.

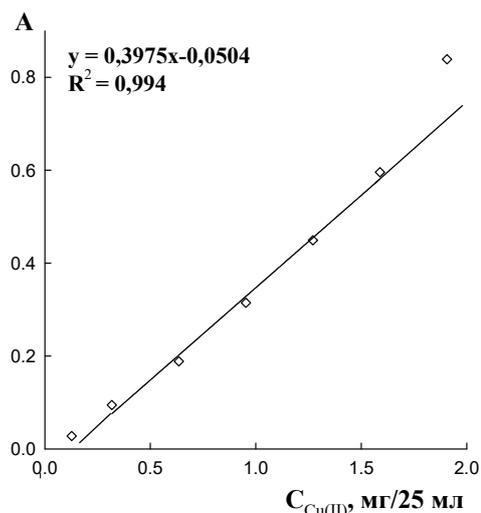


Рис. 4. Градуировочный график для определения $Cu(II)$ с ГБСГ в аммиачной среде:

$C_{Cu(II)}^{исх} = 1,0 \cdot 10^{-2}$ моль/л; $C_{ГБСГ} = 1,5 \cdot 10^{-3}$ моль/л; $\lambda = 401$ нм; pH = 9,2; $\tau = 30$ мин; $l = 1,0$ см

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

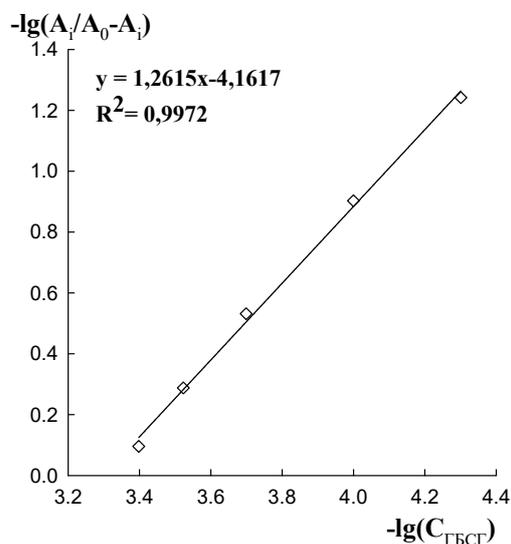
$$\varepsilon_K = \frac{1}{l} \cdot \left\{ \frac{A'' \cdot [(C_R'')^n - (C_R')^n]}{C_M \cdot [(C_R'')^n - (A''/A') \cdot (C_R')^n]} \right\}$$

Истинный молярный коэффициент светопоглощения комплексного соединения ГБСГ с ионами $Cu(II)$ в аммиачной среде составил 1480.

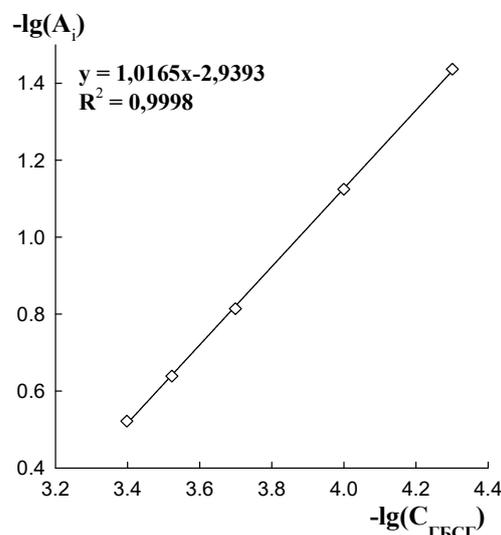
Следующим этапом исследования было установление молярных соотношений $[Cu(II)] : [ГБСГ]$. Ранее по кривой насыщения было установлено молярное соотношение $[Cu(II)] :$

[ГБСГ] = 1 : 1. Для подтверждения молярных соотношений кривая насыщения была обработана по методу сдвига равновесий (рис. 5, а) и методу Бенга–Френча (рис. 5, б) [13]. По ре-

зультатам исследования тангенс угла наклона (n) составляет 1,26 и 1,02. Полученные зависимости подтверждают молярное соотношение [Cu (II)] : [ГБСГ] = 1:1.



а



б

Рис. 5. Определение молярных соотношений [Cu(II)]:[ГБСГ] методом сдвига равновесий (а) и методом Бенга–Френча (б)

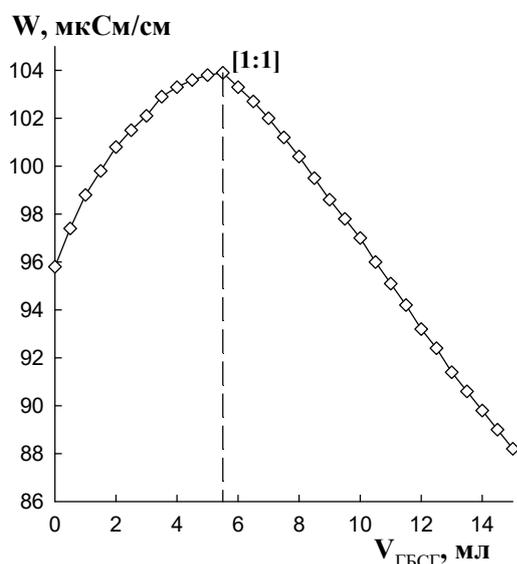


Рис. 6. Зависимость электропроводности раствора (W) CuSO₄ от объема введенного ГБСГ

$$C_{\text{исх}}(\text{ГБСГ}) = C_{\text{исх}}(\text{CuSO}_4) = 1,0 \cdot 10^{-2};$$

$$V(\text{CuSO}_4) = 5,0 \text{ мл}, V_{\text{общ}} = 75 \text{ мл},$$

$$\text{pH} = 8,7 \text{ (аммиачная среда)}, [\text{EtOH}]:[\text{H}_2\text{O}] = 1:2$$

Изучение равновесий при комплексообразовании ГБСГ с ионами Cu (II) в аммиачной

среде проводили также методом кондуктометрического титрования (рис. 6). На основании полученных данных можно предположить образование комплексов в растворе с молярным соотношением [Cu (II)] : [ГБСГ] = 1 : 1.

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

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

где q – разбавление; $\Delta = (A - A_q) / A$ – отклонение от основного закона светопоглощения, A и A_q – оптические плотности исходного и разбавленного растворов, C_M – концентрация ионов металлов после разбавления раствора;

n – количество координированных лигандов, найденных методом молярных отношений.

Условная константа устойчивости исследуемого комплексного соединения составляет $\beta_{MR_{ли}} = 4,53 \cdot 10^{16}$. Константа устойчивости аммиачного комплекса ионов Cu (II) – $\beta_{[Cu(NH_3)_4]^{2+}} = 1,07 \cdot 10^{12}$ [14]. Это является доказательством достаточной устойчивости комплекса ГБСГ с ионами Cu (II) по сравнению с исходным аммиачным комплексом Cu (II) и подтверждает приоритетность протекания реакции комплексообразования Cu (II) с исследуемым реагентом.

Сходимость результатов спектрофотометрических измерений была определена методом математической статистики и представлена в таблице. Удовлетворительная относительная ошибка фотометрического определения говорит о возможности практического использования разработанной методики для определения ионов Cu (II) после флотационного обогащения.

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

Введено Cu (II), мг/25 мл	Найдено Cu (II), мг/25 мл	S	Относительная ошибка, %
0,7202	0,6994 ± 0,0105	0,0085	2,89

Заключение

1. Проведена фотометрическая реакция ионов Cu (II) с N-(2-гидроксибензоил)-N'-(*n*-тозил)гидразином в аммиачной среде и доказана возможность разработки спектрофотометрической методики для определения Cu (II) в продуктах флотации в качестве дополнения к атомно-эмиссионному анализу.

2. Определены условия реакции комплексообразования ГБСГ с ионами Cu (II) в аммиачной среде – рН образования комплекса; время развития окраски, количество реагента, необходимое для количественного связывания ионов Cu (II).

3. В оптимальных условиях построен градуировочный график. Определены интервалы выполнения закона Бугера–Ламберта–Бера. По градуировочному графику рассчитан кажущийся средний молярный коэффициент светопоглощения. По кривой насыщения рассчитан истинный молярный коэффициент светопоглощения.

4. Методами насыщения, сдвига равновесий, кондуктометрического титрования найдены молярные соотношения [Cu (II)] : [ГБСГ].

5. По методу Бабко определена условная константа устойчивости комплексного соединения ионов Cu (II) с ГБСГ в аммиачной среде.

6. Сходимость результатов измерений и относительная погрешность разработанной спектрофотометрической методики были определены методом математической статистики.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Коган В.А., Зеленцов В.В., Гэрбэлэу Н.В., Луков В.В. 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'-(*n*-толуолсульфонил)гидразинов с

- ионами цветных металлов в аммиачных средах // Журнал неорганической химии. 2013. Т. 58, № 1. С. 112–116.
3. Чеканова Л.Г., Радусhev А.В., Воронкова О.А., и др. Извлечение ионов цветных металлов из аммиачных растворов с N-ацил-N'-(*n*-толуол-сульфонил)гидразинами // 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.
 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.
 6. Васильев В.С., Ельчищева Ю.Б., Павлов П.Т., Чеканова Л.Г. 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. 50–59.
 7. Радусhev А.В., Чеканова Л.Г., Гусев В.Ю., Сазонова Е.А. 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.

References

1. Kogan, V.A., Zelentsov, V.V., Gerbeleu, 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 Russian).
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 Russian).
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”, *Chemical technology*, vol. 12, no. 12, pp. 754–759 (in Russian).

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., Elchischeva, 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. 5–59 (in Russian).
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 Russian).
8. Schwarzenbach, T. and Flash, G. (1970) *Kompleksonometricheskoe titrovaniye* [Complexometric titration], Khimiya, Moscow (in Russian).
9. Treibal, R. (1966) *Zhidkostnaya ekstraktsiya* [Liquid extraction], Khimiya, Moscow (in Russian).
10. Babko, A.K. (1955) *Fiziko-khimicheskii analiz kompleksnykh soedinenii v rastvorakh* [Physicochemical analysis of complex compounds in solutions], Naukova Dumka, Kiev (in Russian).
11. Peshkova, V.M., and Gromova, M.I. (1976) *Metody absorbtionnoi spektroskopii v analiticheskoi khimii* [Absorption spectroscopy in analytical chemistry], Higher School, Moscow (in Russian).
12. Bulatov, M.I., Kalinkin, I.P. (1986) *Prakticheskoe rukovodstvo po fotometricheskim metodam analiza* [Practical guidance on photometric methods of analysis], Khimiya, Moscow (in Russian).
13. Bernstein, I. Ya., Kaminsky, Yu. L. (1986) *Spektrofotometricheskii analiz v organicheskoi khimii* [Spectrophotometric analysis in organic chemistry], Khimiya, Leningrad (in Russian).
14. Lurie, Yu.Yu. (1979), *Spravochnik po analiticheskoi khimii* [Analytical Chemistry Handbook], Khimiya, Moscow (in Russian).

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

About the authors

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

Ксения Сергеевна Горбунова,
студент, кафедра аналитической химии и
экспертизы
Пермский государственный национальный
исследовательский университет
614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15.
gorbunovaksusha98@gmail.com

Ksenia S. Gorbunova,
Student, Department of Analytical Chemistry
and Expertise,
Perm State University
614990, Perm, st. Bukirev, 15.
gorbunovaksusha98@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

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

Информация для цитирования:

Ельчищева Ю.Б., Горбунова К.С., Павлов П.Т. Разработка спектрофотометрической методики определения ионов Cu(II) с N-(2-гидроксибензоил)-N'-(p-тозил)гидразином в аммиачных средах // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2021. Т. 11, вып. 2. С. 103–113. DOI: 10.17072/2223-1838-2021-2-103-113.

Elchishcheva Yu.B., Gorbunova K.S., Pavlov P.T. *Razrabotka spektrofotometricheskoi metodiki opredeleniia ionov Cu(II) with N-(2-gidroksibenzoil)-N'-(p-tozil)gidrazinom v ammiachnykh sredakh* [Development of a spectrophotometric method for determination of ions Cu (II) с N- (2-hydroxybenzoyl) -N '-(p-tosil) hydrazine in ammonia media] // Vestnik Permskogo universiteta. Seriya «Khimiya» = Bulletin of Perm University. Chemistry. 2021. Vol. 11. Issue 2. P. 103–113 (in Russ.). DOI:10.17072/2223-1838-2021-2-103-113.