

Научная статья

УДК 547.386+543.422.3

<http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-3-150-159>

Изучение реакции ионов Cu(II) с N-(бензоил)-N'-(фенилсульфонил)гидразином в аммиачных средах спектрофотометрическим методом

Юлия Борисовна Ельчищева, Александра Сергеевна Сорокина, Петр Тимофеевич Павлов

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

Аннотация. Исследована реакция комплексообразования N-(бензоил)-N'-(фенилсульфонил)гидразина (БФСГ) с ионами Cu(II) в аммиачной среде. Зарегистрированы и проанализированы спектры поглощения реагента и его комплексного соединения с ионами Cu(II). Найдены оптимальные условия образования комплексного соединения: интервал pH комплексообразования; оптимальное время развития окраски; количество фотохимического реагента. В оптимальных условиях комплексообразования БФСГ с ионами Cu(II) построен градуировочный график. Закон Бугера–Ламберта–Бера выполняется в интервале от 0,5 до 1,75 мг Cu(II) в 25 мл раствора. Рассчитаны истинный (19389) и кажущийся (4708) молярные коэффициенты светопоглощения. Методами насыщения, сдвига равновесий, пересечения кривых, изомолярных серий и кондуктометрического титрования определены молярные соотношения в растворе комплексного соединения – [Cu(II)]:[БФСГ] = 1:1 и 1:2. По методу Бабко рассчитана условная константа устойчивости комплекса – $2,45 \cdot 10^{13}$. Методами математической статистики определены сходимость и правильность спектрофотометрической методики.

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

Для цитирования: Ельчищева Ю.Б., Сорокина А.С., Павлов П.Т. Изучение реакции ионов Cu(II) с N-(бензоил)-N'-(фенилсульфонил)гидразином в аммиачных средах спектрофотометрическим методом // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2023. Т. 13, № 3. С. 150–159. <http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-3-150-159>.

Original Article

<http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-3-150-159>

Study of reaction of Cu(II) ions with N-(benzoyl)-N'-(phenylsulfonyl)hydrazine in ammonia medium by the spectrophotometric method

Yulia B. Elchishcheva, Aleksandra S. Sorokina, Petr T. Pavlov

Perm State University, Perm, Russia

Abstract. The reaction of complexation of N-(benzoyl)-N'-(phenylsulfonyl)hydrazine with Cu(II) ions in an ammonia medium has been studied. The absorption spectra of the reagent and its complex with Cu(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 complex formation of BPSH with Cu(II) ions, a calibration graph was constructed. The Bouguer-Lambert-Beer law is fulfilled in the range from 0,5 to 1,75 mg Cu(II) in 25 ml of solution. The true (19389) and apparent (4708) molar light absorption coefficients were calculated. The methods of saturation, equilibrium shift, curve intersection, isomolar series, and conductometric titration were used to determine the molar ratios in a solution of a complex compound – [Cu(II)]:[BFSH] = 1:1 and 1:2. According to the Babko method, the conditional stability constant of the complex was calculated – $2,45 \cdot 10^{13}$. The convergence and correctness of the spectrophotometric technique were determined by the method of mathematical statistics.

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

For citation: Elchishcheva, Yu.B., Sorokina A.S. and Pavlov, P.T. (2023) “Study of reaction of Cu(II) ions with N-(benzoyl)-N'-(phenylsulfonyl)hydrazine in ammonia medium by the spectrophotometric method”, *Bulletin of Perm University. Chemistry*, vol. 13, no. 3, pp. 150–159. (In Russ.). <http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-3-150-159>.

В настоящее время для концентрирования ионов цветных металлов проводится целенаправленный синтез органических хелатообразующих реагентов с целью их практического применения в промышленных процессах флотации, экстракции, осаждения, сорбции. Ацилсульфонилгидразины (АСГ) – бидентатные хелатообразующие реагенты, содержащие в своем составе гидразидную группу, способные образовывать устойчивые комплексы с ионами цветных металлов [1, 2]. Это свойство позволяет использовать АСГ в первичной обработке минерального сырья и переработке техногенных продуктов, гидрометаллургии, решении экологических вопросов.

Чекановой Л.Г. с сотрудниками исследованы процессы комплексообразования N-ацил-N'-(п-толуолсульфонил)гидразинов (АСГ) с ионами Cu(II), Co(II), Ni(II), Zn(II), Cd(II) и Ag(I) в аммиачных средах. Показано, что реагенты в растворах образуют соединения с соотношениями $[M] : [АСГ] = 1:1$ и $1:2$. Препаративно выделены и идентифицированы комплексы АСГ с ионами металлов. Найдены количественные характеристики равновесий комплексообразования – значения произведений растворимости осадков. Изучено влияние солей аммония и длины радикала на полноту осаждения катионов M(II) с АСГ [3].

В качестве потенциальных реагентов для ионной флотации цветных металлов исследованы N-(2-ацил)-N'-(п-толуолсульфонил)гидразины $RC(O)NHNHSO_2C_6H_4(CH_3)$ (АСГ), где $R=C_6H_{13}$, $C_4H_9CH(C_2H_5)$, $C_{12}H_{25}$. Изучены их физико-химические свойства, закономерности извлечения ионов Cu(II), Co(II) и Ni(II) из аммиачных растворов методом осаждения (влияние значения pH, длины радикала в ряду АСГ и

времени созревания осадка). Выделены и идентифицированы комплексы с ионами M(II) из аммиачных растворов. Показана эффективность соединений как собирателей при очистке модельных сточных вод от цветных металлов методом ионной флотации [4, 5].

Изучены физико-химические свойства и реакции комплексообразования в аммиачных средах АСГ с небольшими ацильными радикалами ($R = H, C_2H_5, C_3H_7$) с ионами Cu(II), Zn(II), Co(II) для оценки их применения в ионной флотации цветных металлов [6]. Изученные АСГ – слабые двухосновные кислоты, образуют устойчивые комплексы в щелочных средах. Методами насыщения, сдвига равновесия и Асмуса установлены молярные соотношения $[M(II)]:[АСГ]$, а с помощью анализа ИК-спектров и элементного анализа – выявлена предполагаемая структура комплексов. Выделен препаративно и идентифицирован комплекс N-бутаноил-N'-(п-толуолсульфонил)гидразина с ионами Cu(II) состава $[Cu(HL)_2]$, рассчитаны значение произведения растворимости комплекса и константы равновесия реакции комплексообразования. Полученные экспериментально значения степени осаждения (S, %) показали полноту прохождения реакции комплексообразования.

В работе [7] исследованы физико-химические и поверхностно-активные свойства N-(бензоил)-N'-(фенилсульфонил)гидразина (БФСГ). Полученные результаты показали, что реагент может использоваться в процессах флотации и экстракции. Поэтому целесообразно исследовать закономерности комплексообразования БФСГ с ионами цветных металлов.

Целью данной работы является исследование реакции комплексообразования БФСГ с

ионами Cu(II) в аммиачной среде спектрофотометрическим методом.

Объекты и методы исследования

БФСГ был синтезирован по методике [8].

Для исследования использовали стандартный этанольный $1,0 \cdot 10^{-2}$ моль/л раствор БФСГ; стандартный $1,0 \cdot 10^{-2}$ моль/л раствор сульфата меди (II), точную концентрацию которого определяли комплексометрическим титрованием [9]; стандартный $2,5 \cdot 10^{-2}$ моль/л раствор ЭДТА; ацетатный буферный раствор ($\text{pH} \sim 5$); растворы аммиака (моль/л: 6,0; 3,0; 2,0; 1,0; 0,1); 2,0 моль/л раствор сульфата аммония; 0,1%-ный спиртовой раствор 1-(2-пиридилазо)-2-нафтола (ПАН); растворители: этиловый спирт, хлороформ.

Изучение реакции комплексообразования БФСГ с ионами Cu(II) проводили спектрофотометрическим методом на спектрофотометре СФ-2000 (ОКБ-Спектр, Санкт-Петербург). Значения pH растворов измеряли на pH -метре АНИОН 4100 (Инфраспек-Аналит, Новосибирск) с комбинированным электродом ЭСК-10603/7. Для определения молярных соотношений $[\text{Cu(II)}]:[\text{БФСГ}]$ и точной концентрации реагента выполняли кондуктометрическое титрование на кондуктометре SEVEN MULTI S70-K (MettlerToledo, Швейцария).

Изучение реакции комплексообразования БФСГ с ионами Cu(II) в аммиачных средах. С целью создания оптимальных значений pH рабочих растворов (для диссоциации реагента) и для получения водорастворимых аммиаков реакцию комплексообразования БФСГ с ионами Cu(II) проводили в аммиачной среде. В мерную колбу на 25,0 мл вводили 2,50 мл $1,0 \cdot 10^{-2}$ моль/л раствора соли Cu(II) , затем добавляли необходимое количество 2,0 моль/л раствора

аммиака для образования аммиачного комплекса. Далее вносили 5,00 мл $1,0 \cdot 10^{-2}$ моль/л раствора БФСГ, доводили до метки дистиллированной водой и тщательно перемешивали.

Природу образующего комплексного соединения БФСГ с ионами Cu(II) [10] доказывали в варианте «экстракция-реэкстракция». Окрашенный комплекс количественно переносили в делительную воронку емкостью 50 мл и экстрагировали 5,0 мл хлороформа. Время установления экстракционного равновесия составляло 5 минут. После расслаивания проводили реэкстракцию. Отделив органическую фазу, добавляли к ней 5,0 мл 1 моль/л раствора H_2SO_4 и встряхивали 5 минут. Содержание ионов Cu(II) в водной и органической фазах определяли комплексометрическим титрованием в присутствии ацетатного буферного раствора ($\text{pH} \sim 5$) и индикатора 0,1%-ного спиртового раствора ПАН.

Изучение влияния pH на комплексообразование БФСГ с ионами Cu(II) осуществляли следующим образом: в мерную колбу на 25,0 мл вводили 2,50 мл $1,0 \cdot 10^{-2}$ моль/л раствора соли Cu(II) , затем добавляли различные количества раствора аммиака для создания необходимого значения pH в области существования аммиаков Cu(II) – в интервале pH от 9 до 13. Далее вносили 5,00 мл $1,0 \cdot 10^{-2}$ моль/л раствора БФСГ, доводили до метки дистиллированной водой и тщательно перемешивали. Оптическую плотность окрашенных растворов измеряли на фоне холостого опыта при оптимальной длине волны 320 нм в кварцевой кювете с толщиной поглощающего слоя 0,5 см.

По аналогичной методике при оптимальном значении pH раствора 10,5 (2,0 мл 2,0 моль/л раствора аммиака) изучали время развития ок-

раски комплексного соединения в течение полутора часов.

Влияние избытка реагента на процесс комплексообразования БФСГ с ионами Cu(II) изучали методом насыщения. В мерную колбу на 25,0 мл вводили 2,50 мл $1,0 \cdot 10^{-2}$ моль/л раствора соли Cu(II), добавляли 2,0 мл 2,0 моль/л раствора аммиака ($\text{pH} \approx 10,5$), переменное количество $1,0 \cdot 10^{-2}$ моль/л раствора БФСГ – 0,625; 1,25; 2,5; 3,1; 3,75; 4,4; 5,0; 6,25 мл, создавая, таким образом, соотношения [Cu(II)]:[БФСГ], равные 4:1; 2:1; 1:1; 1:1,25; 1:1,5; 1:1,75; 1:2; 1:2,5. Полученные растворы доводили до метки дистиллированной водой, тщательно перемешивали. На фоне холостого опыта измеряли оптическую плотность окрашенных растворов при оптимальной длине волны 320 нм. Измерения проводили в кварцевых кюветах с толщиной слоя 0,3 см.

По методу Бабко определяли условную константу устойчивости комплекса [11]. Для этого в мерную колбу на 25,0 мл вводили 2,50 мл $1,0 \cdot 10^{-2}$ моль/л раствора соли Cu(II), 2,0 мл 2,0 моль/л раствора аммиака и 5,00 мл $1,0 \cdot 10^{-2}$ моль/л раствора БФСГ для создания молярного соотношения [Cu(II)]:[БФСГ]=1:2. Полученный раствор доводили до метки дистиллированной водой и перемешивали. Полученные растворы комплексного соединения и холостого опыта разбавляли в 3 и 5 раз. На фоне холостого опыта измеряли оптическую плотность растворов при длине волны 320 нм. Использовали кварцевые кюветы с толщиной слоя 0,1 см для исходных растворов и 0,3 см, 0,5 см для разбавленных в 3, 5 раз растворов.

Молярные соотношения в комплексном соединении [Cu(II)]:[БФСГ] определяли методом Остромысленского–Жоба [12]: в мерную колбу

на 25,0 мл вводили объемы $1,0 \cdot 10^{-2}$ моль/л растворов соли Cu(II), 2,0 мл 2,0 моль/л раствора аммиака и $1,0 \cdot 10^{-2}$ моль/л растворов БФСГ в антибатных соотношениях, поддерживая суммарный объем металла и реагента постоянным и равным 10,00 мл. Полученные растворы доводили дистиллированной водой до метки, тщательно перемешали и измеряли оптическую плотность растворов при длине волны 320 нм в кварцевых кюветах с толщиной слоя 0,3 см на фоне холостого опыта.

Определение влияния сульфата аммония на равновесие комплексного соединения БФСГ с ионами Cu(II): в мерную колбу на 25,0 мл вносили 2,50 мл $1,0 \cdot 10^{-2}$ моль/л раствора соли Cu(II), вводили 2,0 мл 2,0 моль/л раствора аммиака и 5,00 мл $1,0 \cdot 10^{-2}$ моль/л раствора БФСГ, затем добавляли переменное количество 2,0 моль/л раствора сульфата аммония – 0,0; 0,63; 1,25; 1,88; 2,5 мл. Растворы доводили до метки дистиллированной водой, перемешивали и измеряли оптическую плотность растворов при длине волны 320 нм в кварцевых кюветах с толщиной слоя 0,3 см на фоне холостого опыта [13].

Результаты и обсуждения

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

Природу образующего комплексного соединения ионов Cu(II) с БФСГ в аммиачной среде доказывали в варианте «экстракция-реэкстракция». Степень извлечения (более 90 %) подтверждает образование комплексного соединения ионов Cu(II) с БФСГ в аммиачной среде. Так как в результате реакции образуется

водорастворимый комплекс, то актуально было исследовать реакцию комплексообразования спектрофотометрическим методом для дальнейшей разработки методики определения Cu(II) в продуктах флотации.

Для определения оптимальной длины волны поглощения зарегистрированы и проанализированы спектры поглощения БФСГ и его комплекса с ионами Cu(II) в аммиачной среде. Оптимальная длина волны светопоглощения реагента находится при 250 нм. Максимальное поглощение комплексного соединения БФСГ с ионами Cu(II) находится при длине волны 320 и 440 нм. Оптимальная длина волны составила 320 нм, так как в этой области спектра наблюдается наибольшая чувствительность и воспроизводимость определения (рис. 1).

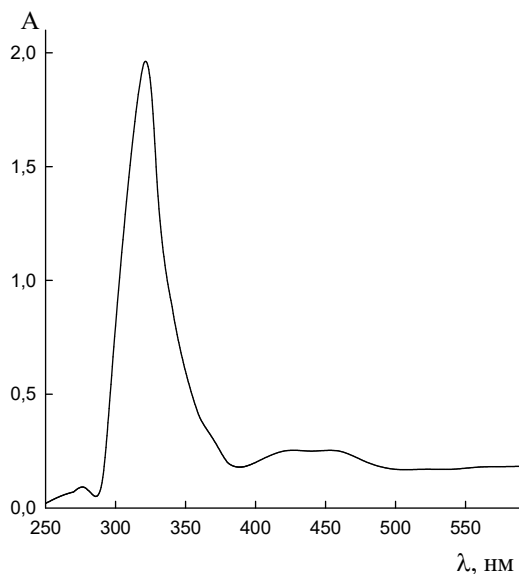


Рис. 1. Спектр поглощения комплексного соединения БФСГ с ионами Cu(II) в аммиачной среде

Для определения влияния кислотности на реакцию комплексообразования БФСГ с ионами Cu(II) исследована зависимость оптической плотности растворов от рН в области существования аммиакатов меди (рис. 2). Оптималь-

ный интервал рН составляет – 10,0 ~ 11,5. Для дальнейших исследований было выбрано значение рН = 10,4, что соответствует 2 мл 2,0 моль/л раствора аммиака.

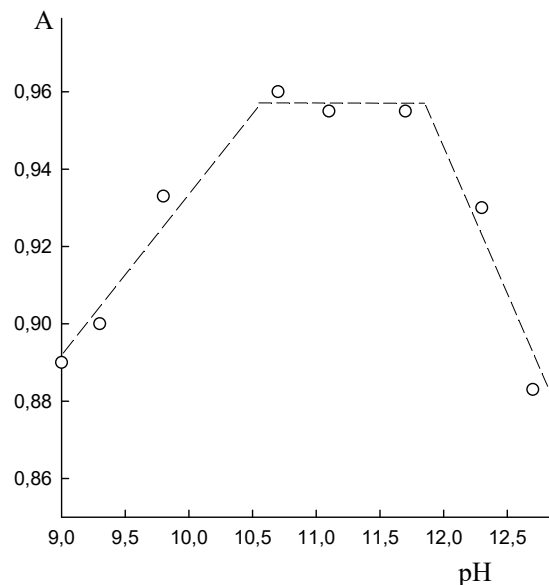


Рис. 2. Влияние $\text{pH}_{\text{равн}}$ на оптическую плотность растворов комплексного соединения БФСГ с ионами Cu(II)

Изучено время развития окраски комплексного соединения БФСГ с ионами Cu(II) в аммиачной среде. Установлено, что комплексное соединение образуется мгновенно, окраска раствора устойчива в течение 20–30 мин.

Исследовано влияние избытка реагента на комплексообразование БФСГ с ионами Cu(II) . На рис. 3 представлена зависимость оптической плотности окрашенных комплексов от концентрации добавленного раствора БФСГ. Анализ кривой насыщения показывает, что молярные соотношения $[\text{Cu(II)}]:[\text{БФСГ}]=1:2$ при оптимальном объеме реагента 5,0 мл.

Истинный молярный коэффициент светопоглощения комплексного соединения БФСГ с ионами Cu(II) в аммиачной среде составил $19389 \text{ см}^2/\text{моль}$.

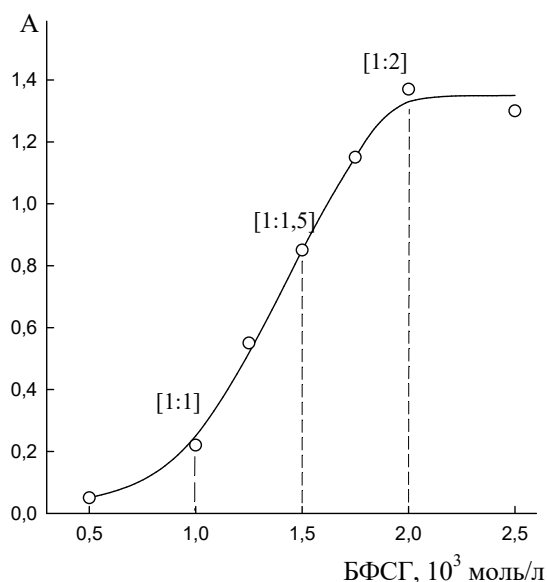


Рис. 3. Влияние избытка реагента на комплексообразование Cu(II) с БФСГ в аммиачной среде: 1,0·10⁻³ моль/л Cu (II)

В оптимальных условиях комплексообразования БФСГ с ионами Cu(II) ($\lambda = 320$ нм, pH=10,4, $V_{\text{БФСГ}}=5,00$ мл) построен градуировочный график. Закон Бугера–Ламберта–Бера выполняется в интервале от 0,50 до 1,75 мг Cu(II) в 25 мл раствора (рис. 4). Кажущийся молярный коэффициент составляет 4708 см²/моль.

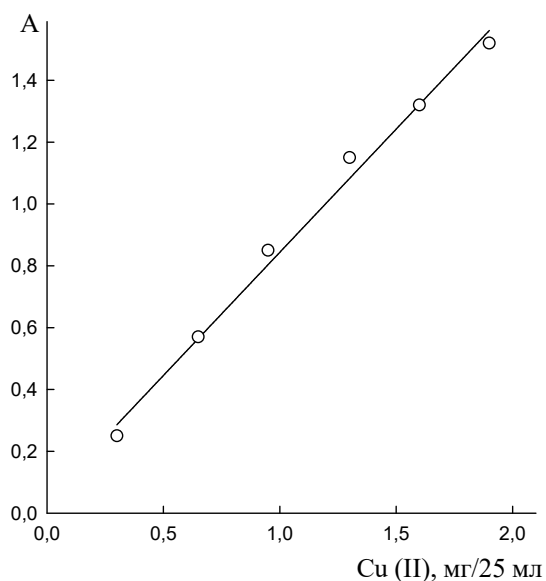


Рис. 4. Градуировочный график для определения Cu(II) с БФСГ в аммиачной среде ($A = 0,7871 \cdot C_{\text{Cu}} + 0,0765$, $R^2 = 0,9918$)

Следующим этапом исследования было установление молярных соотношений [Cu(II)]:[БФСГ]. Ранее по кривой насыщения установлено молярное соотношение [Cu(II)]:[БФСГ] = 1:2. Для подтверждения молярных соотношений кривая насыщения была обработана методом сдвига равновесий [14]. По результатам исследования тангенс угла наклона составляет 1,84, что подтверждает молярное соотношение [Cu(II)]:[БФСГ] = 1:2. Аналогичные данные получены и при обработке кривой насыщения методом пересечения прямых [14].

Результаты, полученные методами изомолярных серий и кондуктометрического титрования аммиаката Cu(II) раствором, свидетельствуют, что образуется комплекс с соотношением [Cu(II)]:[БФСГ]=1:1.

Условная константа устойчивости комплекса БФСГ с ионами Cu(II) в аммиачной среде ($\beta_{\text{MRn}} = 2,45 \cdot 10^{13}$) была определена по методу разбавления Бабко и рассчитана по формуле

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

где q – разбавление; $\Delta = (A - A_q)/A$ – отклонение от основного закона светопоглощения, A и A_q – оптические плотности исходного и разбавленного растворов, C_M – концентрация ионов металлов после разбавления раствора; n – количество координированных лигандов, найденных методом молярных отношений.

Константа устойчивости аммиачного комплекса ионов Cu(II) имеет несколько меньшее значение ($\beta_{[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}} = 1,07 \cdot 10^{13}$ [15]), что подтверждает приоритетность протекания реакции комплексообразования Cu(II) с исследуемым реагентом.

Сходимость и правильность результатов спектрофотометрических измерений определены методами математической статистики (см. таблицу). Удовлетворительная относительная ошибка фотометрического определения говорит о возможности практического использования разработанной методики для определения ионов Cu(II) в продуктах после флотационного обогащения.

Оценка правильности и сходимости результатов определения Cu(II) с БФСГ в аммиачной среде
($n = 5, P = 0,95$)

Введено, Cu(II) , мг/25 мл	Найдено Cu(II) , мг/25 мл	S	δ , %
1,2708	1,2831±0,01633	0,01314	1,63

Так как в результате реакции комплексообразования БФСГ с ионами Cu(II) выделяются ионы аммония, то актуально изучить влияние этих ионов на полноту образования комплексного соединения (рис. 5).

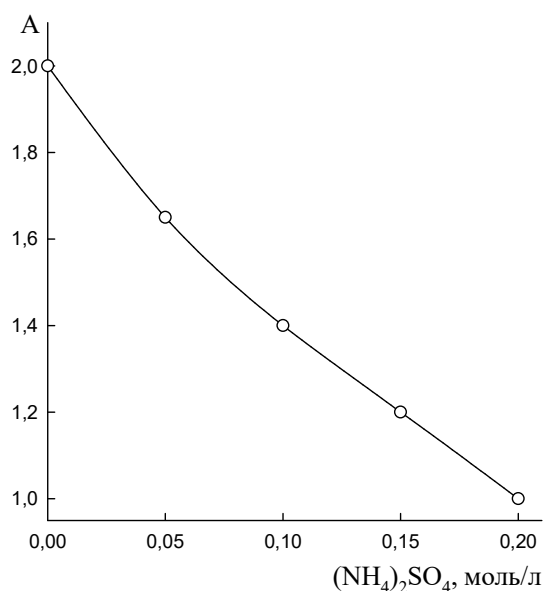


Рис. 5. Зависимость оптической плотности от концентрации сульфата аммония

Как следует из полученных данных, с повышением концентрации сульфата аммония оптическая плотность окрашенных комплексов уменьшается. Это является следствием гидролиза сульфата аммония и смещением значений рН в более кислую область (9,15–9,50).

Выводы

1. Проведена и изучена спектрофотометрическая реакция ионов Cu(II) с N-(бензоил)-N'-(фенилсульфонил)гидразином в аммиачной среде.

2. Зарегистрированы и идентифицированы спектры поглощения БФСГ и его комплекса с ионами Cu(II) . Определены максимальное поглощение и контрастность спектрофотометрической реакции.

3. Изучены оптимальные условия реакции комплексообразования БФСГ с ионами Cu(II) в аммиачной среде – интервал рН образования комплекса; время развития окраски; количество реагента, необходимое для количественного связывания ионов Cu(II) .

4. В оптимальных условиях комплексообразования БФСГ с ионами Cu(II) ($\lambda=320\text{нм}$, рН=10,4, $V_{\text{БФСГ}}=5,0$ мл) построен градуировочный график. Определены интервалы выполнения закона Бугера–Ламберта–Бера – от 0,5 до 1,75 мг Cu(II) в 25 мл раствора. Кажущийся молярный коэффициент составляет $4708 \text{ см}^2/\text{моль}$.

5. Методами насыщения, сдвига равновесий, пересечения кривых, изомолярных серий и кондуктометрического титрования найдены молярные соотношения – $[\text{Cu(II)}]:[\text{БФСГ}]=1:1, 1:2$. По кривой насыщения вычислен истинный молярный коэффициент светопоглощения комплексного соединения БФСГ с ионами Cu(II) – $19389 \text{ см}^2/\text{моль}$.

6. Условная константа устойчивости исследуемого комплексного соединения, найденная

по методу разбавления Бабко, составляет β_{MRn}
 $= 2,45 \cdot 10^{13}$.

7. Сходимость результатов измерений и относительная погрешность разработанной спектрофотометрической методики определены ме-

тодами математической статистики; относительная ошибка составляет 1,63%.

8. Изучено влияние солей аммония на полноту образования комплексного соединения БФСГ с ионами Cu(II).

Список источников

1. *Мачхошвили Р.И.* Координационные соединения металлов с гидразинами: дис. ... д-ра хим. наук. М.: ИОНХ РАН, 1983. 457 с.
2. *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.
3. *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.
4. *Воронкова О.А., Чеканова Л.Г., Щербань М.Г., и др.* Комплексообразование и флотация ионов цветных металлов из щелочных растворов с N-ацил-N'-(*p*-толуолсульфонил)-гидразинами // Журнал прикладной химии. 2012. Т. 85, № 12. С. 2005–2010.
5. *Чеканова Л.Г., Радушев А.В., Воронкова О.А., и др.* Извлечение ионов цветных металлов из аммиачных растворов с N-ацил-N'-(*p*-толуол-сульфонил)гидразинами // Химическая технология. 2011. № 12. С. 754–759.
6. *Ельчищева Ю.Б., Кириевская В.О., Павлов П.Т., и др.* Физико-химические и комплексообразующие свойства ацилсульфонилгидразинов // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2016. Т. 7, № 2. С. 92–101.
7. *Ельчищева Ю.Б., Уланова С.И., Павлов П.Т.* Физико-химические свойства N-(бензоил)-N'-(фенилсульфонил)гидразина // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2022. Т. 12, № 2. С. 107–116.
8. *Веретенникова О.В.* Арилсульфогидразиды дизамененных гликолевых кислот и их производные: дис. ... канд. хим. наук. Пермь, 1984. 138 с.
9. *Шварценбах Т., Флашка Г.* Комплексонометрическое титрование. М.: Химия, 1970. 360 с.
10. *Трейбал Р.* Жидкостная экстракция. М.: Химия, 1966. 724 с.
11. *Бабко А.К.* Физико-химический анализ комплексных соединений в растворах. Киев: Наукова думка, 1955. 328 с.
12. *Булатов М.И., Калинин И.П.* Практическое руководство по фотоколориметрическим и спектрофотометрическим методам анализа. Л.: Химия, 1986. 432 с.
13. *Ельчищева Ю.Б.* Равновесия при комплексообразовании 1,2-диацилгидразинов с ионами цветных металлов. дис. ... канд. хим. наук. Пермь, 2008. 113 с.
14. *Пешикова В.М., Громова М.И.* Методы абсорбционной спектроскопии в аналитической химии. М.: Высшая школа, 1976. 280 с.
15. *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 (614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15), analitik1973@mail.ru.

Александра Сергеевна Сорокина, студент, кафедра аналитической химии и экспертизы, Пермский государственный национальный исследовательский университет (614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15), sashsorokina@yandex.ru.

Петр Тимофеевич Павлов, кандидат химических наук, доцент кафедры органической химии, Пермский государственный национальный исследовательский университет (614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15), pavlovpt@mail.ru.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Поступила 10 мая 2023 г.; принята к публикации 30 июня 2023 г.

References

1. Machkhoshvili, R.I. (1983) Coordination compounds of metals with hydrazines, D. Sc. Thesis, Moscow, Russia. (In Russ.).
2. 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 Russ.).
3. 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.).
4. Voronkova, O.A., Chekanova, L.G., Scherban, M.G., Radushev, A.V., Pavlov, P.T. and Chernova, G.V. (2012) "Complexation and flotation of non-ferrous metal ions from alkaline solutions with N-acyl-N'-(p-toluenesulfonyl)-hydrazines", *Journal of Applied Chemistry*, vol. 85, no. 12, pp. 2005–2010 (In Russ.).
5. 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 Russ.).
6. Elchischeva, Yu.B., Kirievskaya, V.O., Pavlov, P.T. and Chalova, Yu.I. (2016), "Physicochemical and complexing properties of acylsulfonylhydrazines", *Bulletin of Perm University. Chemistry*, vol. 7, no. 2, pp. 92–101 (In Russ.).
7. Elchischeva, Yu.B., Ulanova, S.I. and Pavlov, P.T. (2022), "Physicochemical properties of N-(benzoyl)-N'-(phenylsulfonyl)hydrazine", *Bulletin of Perm University. Chemistry*, vol. 12, no. 2, pp. 107–116 (In Russ.).
8. Veretennikova, O.V. (1984) Arylsulfohydrazides of disubstituted glycolic acids and their derivatives. Ph. D. Thesis, Perm, Russia. (In Russ.)
9. Schwarzenbach, T. and Flash, G. (1970) Complexometric titration, Chemistry, Moscow (in Russ.).

10. Treibal, R. (1966) Liquid extraction, Chemistry, Moscow (in Russ.).
11. Babko, A.K. (1955) Physicochemical analysis of complex compounds in solutions, Naukova Dumka, Kiev (in Russ.).
12. Bulatov, M.I. and Kalinkin, I.P. (1986), Practical guidance on photometric methods of analysis, Chemistry, Moscow (in Russ.).
13. Elchischeva, Yu.B. (2008) Equilibrium in the complexation of 1,2-diacylhydrazines with non-ferrous metal ions, Ph. D. Thesis, Perm, Russia. (in Russ.).
14. Peshkova, V.M. and Gromova, M.I. (1976) Absorption spectroscopy in analytical chemistry, Higher School, Moscow. (in Russ.).
15. Lurie, Yu.Yu. (1979) Analytical Chemistry Handbook, Chemistry, 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, 614068), analitik1973@mail.ru.

Alexandra S. Sorokina, student, Department of Analytical Chemistry and Expertise, Perm State University (15, Bukireva st., Perm, Russia, 614068), sashsorokina@yandex.ru.

Petr T. Pavlov, Candidate of Chemistry Sciences, Associate Professor, Department of Organic Chemistry, Perm State University (15, Bukireva st., Perm, Russia, 614068), pavlovpt@mail.ru

Conflicts of interests

The authors declare no conflicts of interests.

Submitted 10 May 2023; accepted 30 June 2023