

— АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ —

Научная статья

УДК 543.422.3+547.386

<http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-2-83-91>

Разработка спектрофотометрической методики определения ионов меди (II) с N-бензилоил-N'-(фенилсульфонил)гидразином

Юлия Борисовна Ельчищева, Мария Алексеевна Ситникова, Петр Тимофеевич Павлов
Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

Аннотация. Представлены результаты исследования процессов комплексообразования N-бензилоил-N'-(фенилсульфонил)гидразина (БФСГ) с ионами Cu (II) в аммиачных средах. Реакция комплексообразования изучена спектрофотометрическим методом. Определено максимальное светопоглощение исследуемого комплексного соединения. Изучены оптимальные условия комплексообразования БФСГ с ионами Cu (II) – время развития окраски комплекса; интервал pH комплексообразования, количество фотометрического реагента. Методом насыщения определены оптимальные соотношения [Cu(II)]:[БФСГ]=2:1 и 1:1. В оптимальных условиях построен градуировочный график для определения ионов Cu (II) с БФСГ в аммиачной среде. Методами математической статистики определены сходимость и правильность спектрофотометрической методики определения. Апробация методики проведена на продукте флотационного обогащения сульфидной медно-никелевой руды Мурманского месторождения.

Ключевые слова: ацилсульфонилгидразины; органические лиганды; комплексообразование; ультрафиолетовая спектрофотометрия.

Для цитирования: Ельчищева Ю.Б., Ситникова М.А., Павлов П.Т. Разработка спектрофотометрической методики определения ионов меди (II) с N-бензилоил-N'-(фенилсульфонил)гидразином// Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2023. Т. 13, № 2. С. 83–91. <http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-2-83-91>.

Original Article

<http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-2-83-91>

Development of spectrophotometric method of copper (II) ions determination with N-benzyloyl-N'-(phenylsulfonyl)hydrazine

Yulia B. Elchishcheva, Maria A. Sitnikova, Petr T. Pavlov
Perm State University, Perm, Russia

Abstract. The results of studying the processes of complex formation of N-benzyloyl-N'-(phenylsulfonyl)hydrazine (BPSH) with Cu(II) ions in ammonia media are presented. The complex formation reaction was studied by spectrophotometric method. The maximum light absorption of the studied complex compound was determined. The optimal conditions for the complex formation of BFSH with Cu(II) ions were studied: the time for the development of the color of the complex; pH range of complex formation, amount of photometric reagent. The optimal ratios [Cu(II)]:[BFSH]=2:1 and 1:1 were determined by the saturation method. Under optimal conditions, a calibration curve was constructed for the determination of Cu(II) ions with BFSH in an ammonia medium. Methods of mathematical statistics determined the convergence and correctness of the spectrophotometric method of determination. Approbation of the technique was carried out on the product of flotation enrichment of sulfide copper-nickel ore of the Murmansk deposit.

Key words: acylsulfonylhydrazines; organic ligands; complexation; ultraviolet spectrophotometry.

For citation: Elchishcheva, Yu.B., Sitnikova, M.A. and Pavlov, P.T. (2023) “Development of spectrophotometric method of copper (II) ions determination with N-benzyloyl-N'-(phenylsulfonyl)hydrazine”, *Bulletin of Perm University. Chemistry*, vol. 13, no. 2, pp. 83–91. (In Russ.). <http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-2-83-91>.



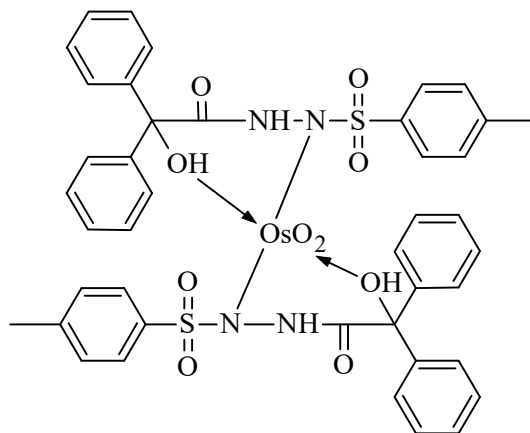
При поиске эффективных реагентов для концентрирования металлоионов большой интерес представляют хелатообразующие лиганды, способные образовывать малорастворимые комплексы [0]. С этой точки зрения заслуживают внимания ацилсульфонилгидразины – соединения, содержащие в своем составе гидразидную группу, способную к образованию прочных комплексных соединений с ионами цветных металлов, и сульфонильную [2]. Сульфонильная группа обладает сильной электроноакцепторной способностью и поэтому может активировать соседнюю аминогруппу, облегчая отрыв от нее протона, т.е. способна усиливать кислотные свойства соединения. Сочетание данных групп создает перспективу в области поиска новых реагентов для концентрирования ионов металлов.

Изученные авторами ацилсульфонилгидразины – N'-сульфонилгидразиды бензиловой кислоты можно использовать в качестве реагентов для аналитического концентрирования и определения осмия (VI) [3, 4]. С указанными соединениями проводилось исследование комплексообразования Os (VI) в кислой и щелочной средах. Комплексы, образованные в щелочной среде, $[Os(VI)] : [R] = 1 : 1$, не растворяются в органических растворителях, их экстракция наблюдается только в присутствии солей NH_4^+ за счет образования смешаннолигандных комплексов, в состав которых входят молекулы аммиака. В средах, близких к нейтральным, наблюдается образование комплексов, которые легко растворяются в органических растворителях.

Для экстракционно-фотометрического определения Os (VI) авторы из всех изученных соединений с разными заместителями при суль-

фонильной группе предлагают использовать N-бензилоил-N'-(*n*-толилсульфонил)гидразин, который позволяет извлекать осмий (VI) в широком диапазоне кислотности среды [5].

Был установлен состав комплекса, образующегося при экстракции осмия (VI) с N-бензилоил-N'-(*n*-толилсульфонил)гидразином в кислых растворах и предложена его структура:



Разработанная методика определения осмия (VI) позволяет быстро и количественно (до 99 %) извлекать элемент из сложных по составу растворов. Определению Os (VI) не мешают все платиновые металлы, в том числе 100-кратные мольные избытки рутения (VI) – основного мешающего элемента при определении осмия [6].

В настоящее время ацилсульфонилгидразины относят к перспективным хелатообразующим лигандам, поэтому целесообразно исследовать физико-химические и комплексообразующие свойства представителей данного ряда для оценки возможности их последующего использования в технологических процессах разделения и концентрирования ионов.

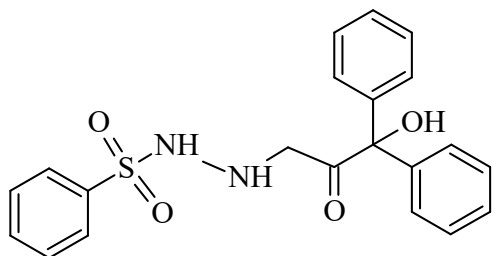
Выполнен цикл исследований физико-химических и комплексообразующих свойств N-ацил-N'-(*n*-толуолсульфонил)гидразинов общей формулой $RC(O)NHNHSO_2C_6H_4(CH_3)$, где

R = H, C₂H₅, C₃H₇, C₄H₉, C₆H₁₃, C₄H₉CH(C₂H₅), C₈H₁₅, C₁₀H₂₁, C₁₂H₂₅ в аммиачных и щелочных средах с ионами цветных металлов [7, 8]. Ацилсульфонилгидразины способны образовывать малорастворимые комплексы за счет хелатообразующей гидразидной группы, что позволяет достичь высоких степеней осаждения (до 99,9%). Показана эффективность соединений как собирателей при очистке модельных сточных вод от цветных металлов методом ионной флотации [9, 10].

В данной работе представлены результаты разработки методики спектрофотометрического определения ионов Cu (II) с N-бензилоил-N'-(фенилсульфонил)гидразином (БФСГ) с целью контроля содержания меди (II) в продуктах флотационного обогащения.

Объекты и методы исследования

N-бензилоил-N'-(фенилсульфонил)гидразин



синтезирован по методике, описанной в [11]. Строение реагента подтверждено данными ЯМР ¹H-, ИК-спектроскопии и элементного анализа.

Реактивы и оборудование: стандартный 1,0·10⁻² моль/л этанольный раствор БФСГ; раствор аммиака с концентрацией 2,0 моль/л; 1,0·10⁻² моль/л водный раствор сульфата меди (II), точную концентрацию которого устанавливали комплексонометрическим титрованием [12]; 1,0 моль/л раствор серной кислоты; 0,1%-ный спиртовой раствор 1-(2-

пиридилазо)-2-нафтола (ПАН); растворители: этиловый спирт, хлороформ.

Для спектрофотометрических исследований использован спектрофотометр СФ-2000 (ОКБ-Спектр, Санкт-Петербург). Значения pH растворов комплексов БФСГ с ионами Cu (II) измеряли на pH-метре АНИОН 4100 (Инфраспек-Аналит, Новосибирск) с комбинированным электродом ЭСК-10603/7.

Для определения молярных соотношений [Cu (II)] : [БФСГ] и точной концентрации реагента выполняли кондуктометрическое титрование [13] на кондуктометре SEVEN MULTI S70-K (Mettler Toledo, Швейцария).

Для изучения реакции комплексообразования БФСГ с ионами Cu (II) в аммиачной среде использовали следующую методику: в мерную колбу на 25,0 мл помещали 2,50 мл 1,0·10⁻² моль/л раствора соли Cu (II), добавляли 9,5 мл 2,0 моль/л раствора аммиака для образования водорастворимого аммиаката и создания оптимального значения pH, вносили 5,00 мл 1,0·10⁻² моль/л БФСГ, доводили до метки дистиллированной водой и тщательно перемешивали.

Природу образующегося комплексного соединения ионов Cu (II) с БФСГ доказывали в варианте «экстракция–реэкстракция» [14]. Для этого содержимое мерной колбы 25,0 мл количественно переносили в делительную воронку на 50,0 мл, добавляли 5,0 мл хлороформа. Время экстракционного равновесия составляет 5 минут. После расслаивания фаз наблюдали ярко-зеленую окраску экстракта. Затем проводили реэкстракцию 1,0 моль/л раствором H₂SO₄ в течение 5 минут. Количество ионов Cu (II) в водной фазе определяли комплексонометрическим титрованием с ПАН.

Оптимальное время комплексообразования определяли следующим образом: в мерную колбу на 25,0 мл вводили 2,50 мл $1,0 \cdot 10^{-2}$ моль/л раствора соли Cu (II), 9,5 мл раствора аммиака с концентрацией 2,0 моль/л. Вносили 5,00 мл $1,0 \cdot 10^{-2}$ моль/л раствора БФСГ, доводили до метки дистиллированной водой и тщательно перемешивали. Оптическая плотность окрашенных растворов замерялась на фоне холостого опыта при длине волны 300 нм в кварцевой кювете с толщиной слоя 0,5 см.

Для определения оптимального интервала рН 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 с концентрацией 2,0 моль/л для создания необходимого значения рН. Вносили 5,0 мл $1,0 \cdot 10^{-2}$ моль/л раствора БФСГ, доводили до метки дистиллированной водой и тщательно перемешивали. Оптическую плотность измеряли на спектрофотометре СФ-2000 при длине волны 300 нм в кварцевой кювете с толщиной слоя 0,5 см.

Влияние избытка реагента на комплексообразование БФСГ с ионами Cu (II) оценивали по методике: в мерную колбу на 25,0 мл вводили 1,25 мл $1,0 \cdot 10^{-2}$ моль/л раствора соли Cu (II), добавляли 9,5 мл 2,0 моль/л раствора аммиака и переменное количество $1,0 \cdot 10^{-2}$ моль/л раствора БФСГ – 0,32; 0,63; 1,25; 1,88; 2,5 и 3,13 мл создавая, таким образом, соотношения [Cu (II)] : [БФСГ] равные 4:1; 2:1; 1:1; 1:1,5; 1:2; 1:2,5. Полученные растворы доводили до метки дистиллированной водой, тщательно перемешивали. Оптическую плотность окрашенных комплексов измеряли на фоне холостого опыта при длине волны 300 нм в кварцевой кювете с толщиной слоя 0,5 см.

Результаты и обсуждение

Раствор комплекса БФСГ с ионами Cu (II) в аммиачной среде имеет изумрудно-зеленую окраску, что свидетельствует об образовании комплексного соединения. Зарегистрированы спектры поглощения БФСГ и его комплексного соединения с ионами Cu (II) (рис.1). Максимум поглощения реагента наблюдается при длине волны 218 нм, а комплекса – 300 нм.

Органическая природа образующегося комплексного соединения доказана в варианте «экстракция–реэкстракция». Степень извлечения составляет около 100%, что подтверждает образование комплекса ионов Cu (II) с БФСГ.

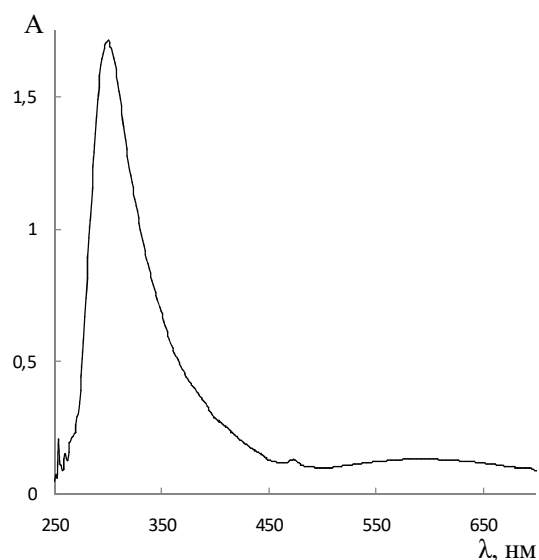


Рис. 1. Спектр комплексного соединения БФСГ с Cu (II) в аммиачной среде (рН = 11,50; $C_{\text{БФСГ}} = 2,0 \cdot 10^{-3}$ моль/л; $C_{\text{Cu(II)}} = 1,0 \cdot 10^{-3}$ моль/л)

Изучено время развития окраски комплексного соединения в течение 80 мин. Комплексное соединение БФСГ с ионами Cu (II) образуется в течение 30 мин, при этом оптическая плотность раствора увеличивается с 0,795 до 0,860, а далее изменяется не значительно.

Для определения оптимальной величины рН комплексообразования зарегистрированы спек-

тры поглощения БФСГ с ионами Cu (II) в интервале рН 11,2–11,9 и определена оптическая плотность в максимуме светопоглощения при 300 нм (рис. 2). Оптимальный интервал рН комплексообразования составляет от 11,4 до 11,8. При рН более 11,8 оптическая плотность уменьшается в результате протекания конкурирующей реакции образования аммиакатов Cu (II). Для дальнейших исследований было выбрано значение рН 11,5, что соответствует 9,5 мл 2,0 моль/л раствора аммиака.

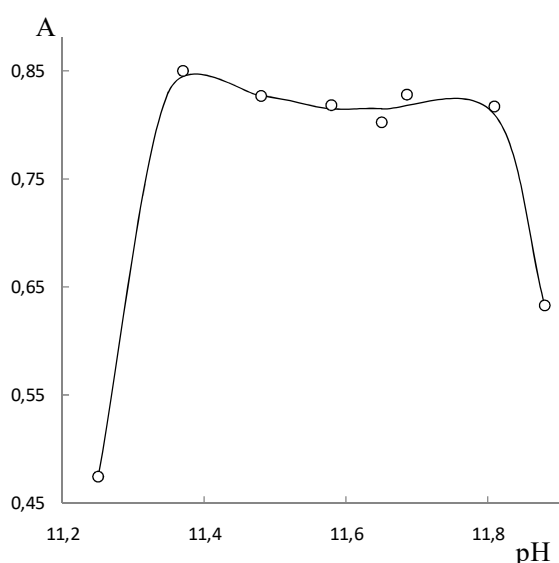


Рис. 2. Зависимость оптической плотности раствора комплексного соединения БФСГ с ионами Cu (II) от рН ($\lambda=300$ нм; $l = 1,0$ см)

Изучение молярных соотношений [Cu (II)] : [БФСГ] в растворе проводили методом насыщения [15, 16], поддерживая постоянный объем раствора соли Cu (II) (рис. 4). Согласно полученным результатам, можно сделать вывод, что молярные соотношения [Cu (II)] : [БФСГ] = 2 : 1 и 1 : 1.

В оптимальных условиях комплексообразования БФСГ с ионами Cu (II) ($\lambda = 300$ нм, $\tau = 30$ минут, рН = 11,5, $V_{\text{БФСГ}} = 9,5$ мл) построен градуировочный график (рис. 5). Закон Бугера–Ламберта–Бера выполняется во всем интервале

от 0,32 мг до 1,90 мг в 25,0 мл раствора. Кажущийся молярный коэффициент светопоглощения составляет $2759 \text{ см}^2/\text{моль}$ [17].

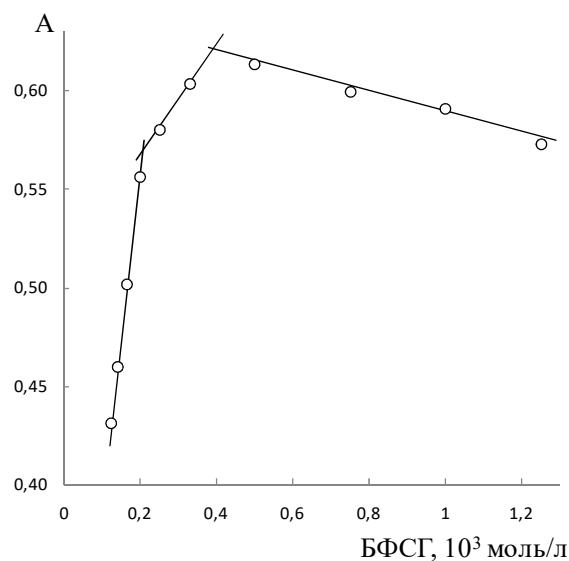


Рис. 4. Влияние избытка БФСГ на его комплексообразование Cu (II):
 $C_{\text{Cu(II)}} = 5,0 \cdot 10^{-4}$ моль/л; $\lambda=300$ нм; $l = 1,0$ см

Сходимость и правильность спектрофотометрического определения ионов Cu (II) с БФСГ в аммиачной среде определена методом «введено-найдено» (табл. 1).

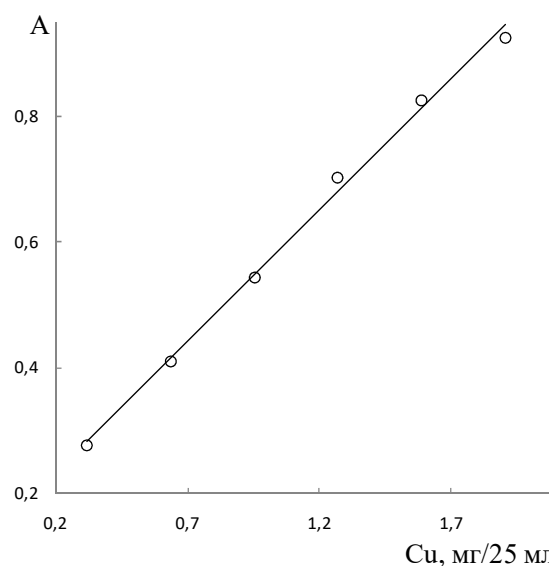


Рис. 5. Градуировочный график для определения Cu (II) с БФСГ: $C_{\text{БФСГ}} = 2,0 \cdot 10^{-3}$ моль/л; $\lambda=300$ нм; $l = 1,0$ см

Спектрофотометрическая методика апробирована на продукте флотационного обогащения (концентрат основной флотации, содержащий Cu – 0,197% г; Ni – 0,535% г; Co – 0,022%) сульфидной медно-никелевой руды (месторождение Мурманской области). Концентрацию ионов Cu (II) во флотоэкстракте определяли атомно-абсорбционным методом после микроволнового разложения (табл. 2).

Таблица 1

Сходимость и правильность определения ионов Cu (II) с БФСГ

Введено, мг/25 мл	Найдено, мг/25 мл	S	Относительная ошибка, %
1,016	1,084±0,015	0,013	1,41

Гидразидная группа ацилсульфонилгидразинов специфична по отношению к ионам цветных металлов, поэтому было целесообразно оценить влияние ионов Co (II) и Ni (II) на процесс комплексообразования ионов Cu (II) с БФСГ методом добавок (табл. 3). Согласно полученным результатам, можно сделать вывод, что в наибольшей степени мешающее влияние

на извлечение Cu (II) БФСГ оказывают ионы Co (II).

Таблица 2

Апробация методики определения ионов Cu (II) с БФСГ

C _{теор.} , мкг/мл	C _{практ.} , мкг/мл	Относительная ошибка, %
5,50	5,01	8,90

Заключение

1. Проведена спектрофотометрическая реакция ионов Cu (II) с БФСГ в аммиачной среде. Зарегистрированы и проанализированы спектры поглощения реагента и его комплекса с ионами Cu (II). Методом «экстракция–реэкстракция» доказана органическая природа комплекса.

2. Определены оптимальные условия комплексообразования ионов Cu (II) с БФСГ в аммиачной среде – время развития окраски, интервал pH для образования комплексного соединения; количество фотометрического реагента.

Таблица 3

Влияние ионов Co (II) и Ni (II) на определение Cu (II) с БФСГ

$$(C_{исх, Cu(II)} = C_{исх, Ni(II)} = C_{исх, Co(II)} = 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ моль/л; } V_{Cu(II)} = 1,5 \text{ мл})$$

V _{Me} , мл	A _{Cu+Me}	C _{Cu+Me} , моль/л	E _{отн.} , %	[Cu(II)] : [Co(II)]
Влияние ионов Co (II)				
1,5	1,3513	1,17·10 ⁻⁴	95,6	1:1
0,15	0,7857	16,82·10 ⁻⁵	13,7	10:1
0,075	0,7100	6,17·10 ⁻⁵	2,8	20:1
Влияние ионов Ni (II)				
1,5	0,6514	5,66·10 ⁻⁵	5,7	1:1

3. В оптимальных условиях комплексообразования БФСГ с ионами Cu (II) (λ = 300 нм, τ = 30 минут, pH = 11,5, V_{БФСГ} = 9,5 мл) построен градуировочный график. Закон Бугера–Ламберта–Бера выполняется в интервале от 0,32 мг до 1,90 мг в 25,0 мл раствора. Кажу-

щийся молярный коэффициент светопоглощения составляет 2759 см²/моль.

4. Методом «введено-найдено» определены сходимость и правильность методики спектрофотометрического определения ионов меди (II) с БФСГ. Относительная ошибка определения составляет 1,41%.

5. Методом добавок изучено мешающее влияние сопутствующих меди (II) ионов Со (II) и Ni (II).

6. Спектрофотометрическая методика апробирована на продукте флотационного обогащения сульфидной медно-никелевой руды.

Список источников

1. Радущев А.В., Чеканова Л.Г., Чернова Г.В. Реагенты для ионной флотации цветных металлов // Цветные металлы. 2005. № 7. С. 34–41.
2. Мачхошвили Р.И. Координационные соединения металлов с гидразинами: дис. ... д-ра хим. н. М.: ИОНХ, 1983. 457 с.
3. Воробьева Н.Е., Павлов П.Т., Живописцев В.П. N'-бензилоил-N-(сульфонил)гидразины – эффективные реагенты на осмий // Журнал аналитической химии. 1991 Т. 46, № 6. С. 1088–1092.
4. Воробьева Н.Е., Павлов П.Т., Живописцев В.П. Исследование комплексообразования осмия (VI) с N'-бензилоил-N- фенилсульфонилгидразином // Известия вузов. Химия и химическая технология. 1991. Т. 34, № 3. С. 17–20.
5. Воробьева Н.Е., Павлов П.Т., Живописцев В.П. Экстракционно-фотометрическое определение осмия (VI) N'-(*n*-толуолсульфонил)гидразидом бензиловой кислоты // Журнал аналитической химии. 1989. Т. 64, № 3. С. 467–471.
6. Воробьева Н.Е., Живописцев В.П., Павлов П.Т. Метод определения осмия в продуктах окислительно-щелочного плавления // Заводская лаборатория. 1989. Т. 55, № 10. С. 15–16.
7. Чеканова Л.Г., Воронкова О.А., Радущев 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.
8. 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.
9. Воронкова О.А., Чеканова Л.Г., Щербань М.Г. и др. Комплексообразование и флотация ионов цветных металлов из щелочных растворов с N-ацил-N'-(*n*-толуолсульфонил)-гидразинами // Журнал прикладной химии. 2012. Т. 85, № 12. С. 2005–2010.
10. Чеканова Л.Г., Радущев 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. № 12. С. 754–759.
11. Веретенникова О.В. Арилсульфогидразиды дизамещенных гликолевых кислот и их производные: дис. ... канд. хим. н. Пермь, 1984. 138 с.
12. Шварценбах Г., Флашка Г. Комплексонометрическое титрование. М.: Химия, 1970. 360 с.
13. Радущев А.В., 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.
14. Трейбал Р. Жидкостная экстракция. М.: Химия, 1966. 724 с.

15. Булатов М.И., Калинин И.П. Практическое руководство по фотоколориметрическим и спектрофотометрическим методам анализа. Л.:Химия, 1968. 432 с.

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

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

Ситникова Мария Алексеевна, студент, кафедра аналитической химии и экспертизы, Пермский государственный национальный исследовательский университет (614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15), sitma26@yandex.ru

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

References

1. Radushev, A.V., Chekanova, L.G. and Chernova, G.V. (2005), "Reagents for ion flotation of non-ferrous metals", *Non-ferrous metals*, no. 7, pp. 34–41 (in Russ.).

2. Machkhoshvili R.I. (1983) Coordination compounds of metals with hydrazines. Dis. Doctor of Chemistry Sciences. Moscow (in Russ.).

3. Vorobieva, N.E., Pavlov, P.T. and Zhivopistsev, V.P. (1991), "N'-benzoyl-N-(sulfonyl)hydrazines are effective reagents for osmium", *Journal of Analytical Chemistry*, vol. 46, no. 6, pp. 1088–1092 (in Russ.).

4. Vorobieva, N.E., Zhivopistsev, V.P. and Pavlov, P.T. (1991), "Study of the complex formation of osmium (VI) with N'-benzoyl-N-phenylsulfonylhydrazine", *Izvestiya vuzov. Khimya I khimicheskaya tekhnologiya*, vol. 34, no. 3, pp. 17–20 (in Russ.).

5. Vorobieva, N.E., Zhivopistsev, V.P. and Pavlov, P.T. (1989), "Extraction-photometric determination of osmium (VI) by N'-(p-toluenesulfonyl)benzoic acid hydrazide", *Journal of Analytical Chemistry*, vol. 64, no. 3, pp. 467–471 (in Russ.).

6. Vorobieva, N.E., Zhivopistsev, V.P. and Pavlov, P.T. (1989), "Method for determination of osmium in products of oxidizing-alkaline melting", *Zavodskaya Laboratoriya*. vol. 55, no. 10, pp. 15–16 (in Russ.).

7. 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.).
8. Yelchischeva, 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.).
9. 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.).
10. 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.).
11. Veretennikova, O.V. (1984) Arylsulfohydrazides of disubstituted glycolic acids and their derivatives. Ph. D. dissertation, Perm, Russia.
12. Schwarzenbach, T. and Flash, G. (1970) *Complexometric titration*, Chemistry, Moscow (in Russian).
13. 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”, *Journal of Analytical Chemistry*, vol 55, no. 5, pp. 496-499. (in Russ.).
14. Treibal, R. (1966) *Liquid extraction*, Chemistry, Moscow (in Russ.).
15. Bulatov, M.I. and Kalinkin, I.P. (1986), *Practical guidance on photometric methods of analysis*, Chemistry, Moscow. (in Russ.).
16. Peshkova, V.M. and Gromova, M.I. (1976) *Absorption spectroscopy in analytical chemistry*, Higher School, Moscow (in Russ.).
17. Babko, A.K. (1955) *Physicochemical analysis of complex compounds in solutions*, Naukova Dumka, Kiev (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.

Maria A. Sitnikova, student, Department of Analytical Chemistry and Expertise, Perm State University (15, Bukirevast., Perm, Russia, 614990), sitma26@yandex.ru.

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 10 May 2023; accepted 30 May 2023