

УДК 547.386

DOI: 10.17072/2223-1838-2018-2-131-144

Ю.Б. Ельчищева, А.В. Андрова, В.Р. Дробинина, А.С. Максимов

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

**N-(2-ГИДРОКСИБЕНЗОИЛ)-N'-(2-НАФТИЛСУЛЬФОНИЛ)ГИДРАЗИН –
КАК РЕАГЕНТ ДЛЯ ОСАЖДЕНИЯ ИОНОВ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ
ИЗ АММИАЧНЫХ РАСТВОРОВ**

Исследованы физико-химические свойства (растворимость, кислотно-основные свойства, устойчивость к гидролизу в щелочных средах, поверхностная активность и устойчивость пенообразования) N-(2-гидроксибензоил)-N'-(2-нафтилсульфонил)гидразина (ГБСГ), необходимые для оценки их применения в качестве реагентов для процессов концентрирования ионов цветных металлов. Изучены процессы комплексообразования АСГ с ионами Cu (II) и Co (II) в аммиачных средах. Показано, что реагенты в растворах образуют комплексные соединения с соотношениями [Me(II)]:[АСГ] = 1:1 и 1:2. Препаративно выделены и идентифицированы комплексы ГБСГ с ионами металлов. Найдены количественные характеристики процессов комплексообразования – значения произведений растворимости осадков и константы равновесия реакции комплексообразования.

Ключевые слова: ацилсульфонилгидразины; комплексообразование; реагент-осадитель, цветные металлы

Y.B. Elchishcheva, A.V. Androva, V.R. Drobinina, A.S. Maksimov

Perm State University, Perm, Russia

**N-(2-HYDROXYBENZOYL)-N'-(2-NAPHTHYLSULFONYL)HYDRAZINE –
AS A REAGENT FOR PRECIPITATION OF NON-FERROUS METAL IONS FROM
AMMONIUM SOLUTIONS**

The physicochemical properties (solubility, acid-base properties, resistance to hydrolysis in alkaline media, surface activity and kinetics of foaming) of N-(2-hydroxybenzoyl) -N'-(2-naphthylsulfonyl) hydrazine (HBSG) are needed to evaluate their use as Reagents for the processes of ion concentration of non-ferrous metals. The processes of complexation of HBSG with Cu(II) and Co(II) ions in ammonia media have been studied. It is shown that the reagent in solutions form complex compounds with the ratios [Me(II)]: [HBSG] = 1: 1 and 1: 2. The complexes of HBSH with Cu(II) and Co(II) ions were prepared and isolated. The quantitative characteristics of the complexation equilibrium are found - the values of solubility products of precipitation and the equilibrium constant of the complexation reaction.

Keywords: acylsulfonylhydrazines; complexation; reagent-precipitant, non-ferrous metals

Введение

Общеизвестно, что сточные воды, содержащие тяжелые металлы, образуются в самых различных отраслях промышленности от металлообработки до промывки дымовых газов на мусоросжигающих заводах и теплоэлектростанциях. Ежегодно в России только при промывке изделий после гальванических и химических покрытий сточные воды металлообрабатывающих заводов выносят не менее 3300 т цинка, 2400 т никеля, 460 т меди, 500 т хрома, 125 т олова, 135 т кадмия. Поэтому вопросы эффективной очистки сточных вод в процессах обработки металлов в настоящее время весьма актуальны [1]. В настоящее время известные методы очистки растворов от ионов тяжелых металлов являются либо малоэффективными, либо дорогостоящими.

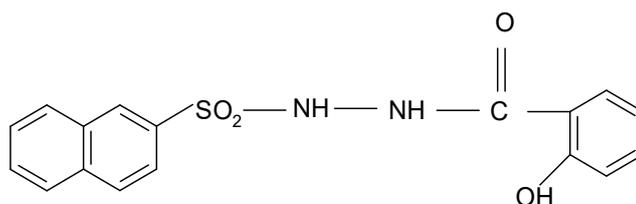
К перспективным реагентам для концентрирования металлоионов, можно отнести ацилсульфонилгидразины (АСГ) – хелатообразующие лиганды, содержащие в своем составе гидразидную группу, способную к образованию прочных комплексных соединений с ионами цветных металлов, и сульфонильную, придающую реагентам поверхностно-активные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

представляет интерес для флотационных процессов концентрирования цветных металлов.

Авторами [2] были исследованы физико-химические, поверхностно-активные и комплексообразующие свойства *N*-ацил-*N'*-сульфонилгидразинов двух рядов: *N*-ацил-*N'*-(тозил)- и *N*-ацил-*N'*-(мезил)гидразинов – в качестве собирателей для ионной флотации цветных металлов. В ходе исследований было установлено, что свойства изучаемых соединений удовлетворяют требованиям, предъявляемым к потенциальным собирателям для ионной флотации. По совокупности свойств наиболее оптимальным реагентом ряда является *N*-(2-этилгексаноил)-*N'*-бензолсульфонилгидразин.

Настоящая работа посвящена изучению физико-химических свойств и процессов комплексообразования *N*-(2-гидроксибензоил)-*N'*-(2-нафтилсульфонил)гидразина (ГБСГ, H_2L) с ионами $Cu(II)$ и $Co(II)$ в аммиачных средах с целью определения возможности применения реагента в процессах концентрирования ионов цветных металлов.

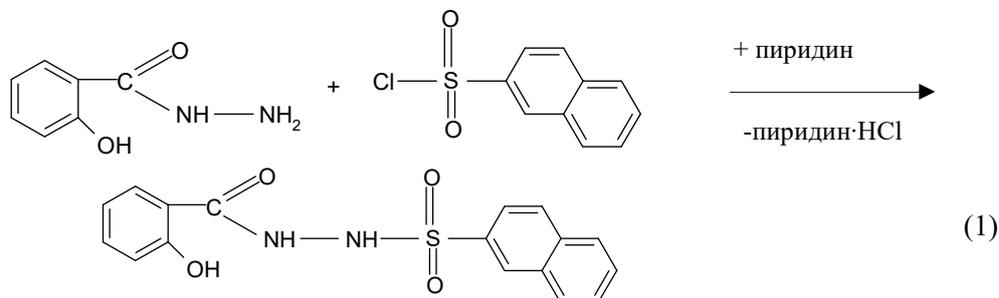
Изучаемый реагент можно представить следующей формулой:



Экспериментальная часть

1. Синтез ГБСГ

ГБСГ получали взаимодействием 2-нафталинсульфохлорида с гидразидом 2-гидроксибензойной кислоты в среде пиридина [3].



Индивидуальность и чистота реагента была подтверждена данными ТСХ, ИК-, ЯМР ^1H спектроскопии и элементным анализом.

2. Реактивы и приборы

В работе использовали стандартные водные растворы сульфатов Cu (II) и Co (II) ($1,0 \cdot 10^{-2}$ моль/л), концентрации которых устанавливали комплексометрическим титрованием [4]; $1,0 \cdot 10^{-2}$ моль/л этанольный раствор ГБСГ; раствор гидроксида калия (1 моль/л, 0,1 моль/л, 0,01 моль/л), сульфата аммония (2 моль/л), аммиака (2 моль/л, 0,1 моль/л); раствор хлористоводородной кислоты (2 моль/л), раствор азотной кислоты (1 моль/л); растворители: гексан, толуол, хлороформ, изоамиловый спирт, ацетонитрил, бутанол, изопропиловый спирт; 0,1 %-ный этанольный раствор ПАН.

ИК-спектры получали на Фурье-спектрометре IFS-66 (Bruker, Германия). Для получения УФ-спектров и нахождения оптической плотности применяли спектрофотометр СФ-2000 (ОКБ-Спектр, Санкт-Петербург). Значения рН измеряли на рН-метре АНИОН 4100 (Инфраспек-Аналит, Новосибирск) с комбинированным электродом ЭСК-10603/7. Элементный анализ проводили на анализаторе CHNS-932 (LECO Corporation, США). Кондук-

тометрическое титрование выполняли на кондуктометре SEVEN MULTI S70-K (Mettler Toledo, Швейцария). Показатель преломления определяли на рефрактометре RE40D (Mettler Toledo, Япония). Остаточные концентрации ионов металлов после осаждения определяли на атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно связанной плазмой (Thermo ICAP 6500 DUO, США).

3. Методика осаждения металлов из аммиачных сред

Для изучения зависимости степени осаждения ионов металлов (S, %) от рН среды в мерную колбу вместимостью 25 мл помещали 2,5 мл $1,0 \cdot 10^{-2}$ моль/л раствора соли металла (для создания конечной концентрации раствора, равной $1,0 \cdot 10^{-3}$ моль/л), затем добавляли различные количества раствора аммиака с концентрациями 0,01, 0,1 и 1,0 моль/л для создания заданного значения рН. Вносили 5,0 мл $1,0 \cdot 10^{-2}$ моль/л раствора ГБСГ в этиловом спирте, доводили до метки дистиллированной водой и перемешивали. Через 5 мин осадок отфильтровывали через бумажный фильтр с синей лентой. В фильтрате определяли рН_{равн} и остаточное содержание ионов Co (II) и Cu (II) атомно-эмиссионным методом. Эффектив-

ность осаждения (S , %) рассчитывали по формуле

$$S = \frac{C_o - C_{\text{водн}}}{C_o} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где C_o – начальная концентрация металла в водной фазе, мг/л;

$C_{\text{водн}}$ – концентрация металла в водной фазе после осаждения, мг/л.

Результаты и обсуждение

1. Физико-химические свойства АСГ

Область возможного применения ацилсульфонилгидразинов ограничена их растворимостью. Известно, что для гидрометаллургии практический интерес представляют флотореагенты и экстрагенты, растворимость которых в соответствующих растворителях достаточно велика (не менее 0,03–0,1 моль/л). В качестве растворителей флотореагентов обычно используют воду, растворы кислот или щелочей, а экстрагентов – несмешиваемые с водой органические растворители (углеводороды, кислородсодержащие соединения или их смеси). Именно этими соображениями был обусловлен выбор исследуемых растворителей.

Растворимость реагентов изучали методами гравиметрии, рефрактометрии и спектрофотометрии. Растворимость ГБСГ в 0,1 моль/л

КОН определяли спектрофотометрическим методом (рис. 1 и 2).

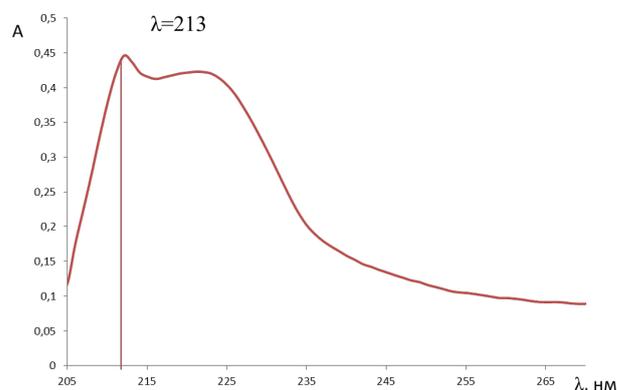


Рис. 1. Спектр поглощения раствора ГБСГ в 0,1 М КОН; $C_{\text{ГБСГ}} = 1,0 \cdot 10^{-6}$ моль/л; $l = 1,0$ см

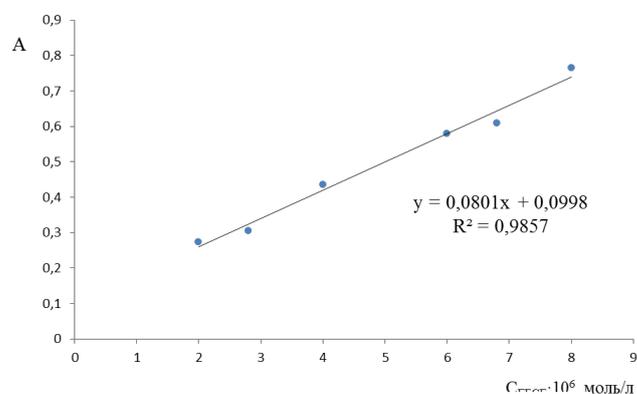


Рис. 2. Градуировочный график для определения растворимости ГБСГ в 0,1 моль/л КОН; $C_{\text{ГБСГ}} = 1,0 \cdot 10^{-6}$ моль/л, $\lambda = 213$ нм, $l = 1,0$ см

Данные исследований представлены в табл. 1, из которой следует, что реагент нерастворим в гексане, плохо растворим в толуоле и хлороформе, зато хорошо растворяется в этиловом спирте и в 0,1 моль/л растворах щелочей.

Таблица 1

Растворимость ГБСГ в некоторых средах при 20°C

Растворимость, моль/л (г/л)

EtOH	0,1 моль/л КОН	толуол	хлоро- форм	гексан
$3,03 \cdot 10^{-2}$ (10,4)	$3,38 \cdot 10^{-2}$ (11,6)	$1,75 \cdot 10^{-3}$ (0,60)	$6,13 \cdot 10^{-3}$ (2,10)	н/р

Полученные данные свидетельствуют о том, что ГБСГ можно использовать в качестве осадителя или собирателя при ионной флотации.

Ацилсульфонилгидразины могут проявлять себя как слабые двухосновные кислоты [5], характеризуемые константами кислотной дис-

социации K_{a1} и K_{a2} . Для определения константы ионизации АСГ использовали спектрофотометрический метод [6]. Спектры поглощения растворов ГБСГ в нейтральных и щелочных средах отличаются, что подтверждает наличие в растворах соединений кислотно-основных равновесий (рис.3).

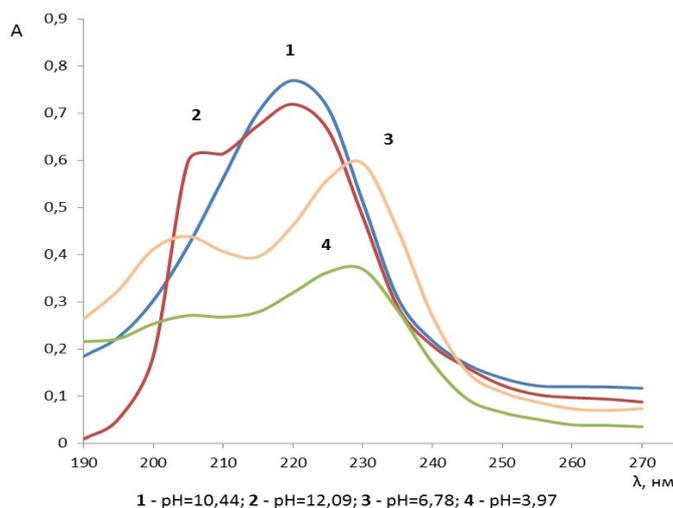


Рис. 3. Спектры поглощения раствора ГБСГ в воде в зависимости от pH; $C_{\text{ГБСГ}} = 1,6 \cdot 10^{-5}$ моль/л (использовали растворы КОН и HCl).

Для расчета значений pK_a реагента была изучена зависимость оптической плотности растворов ГБСГ от значений pH среды при оптимальной длине волны (рис. 4).

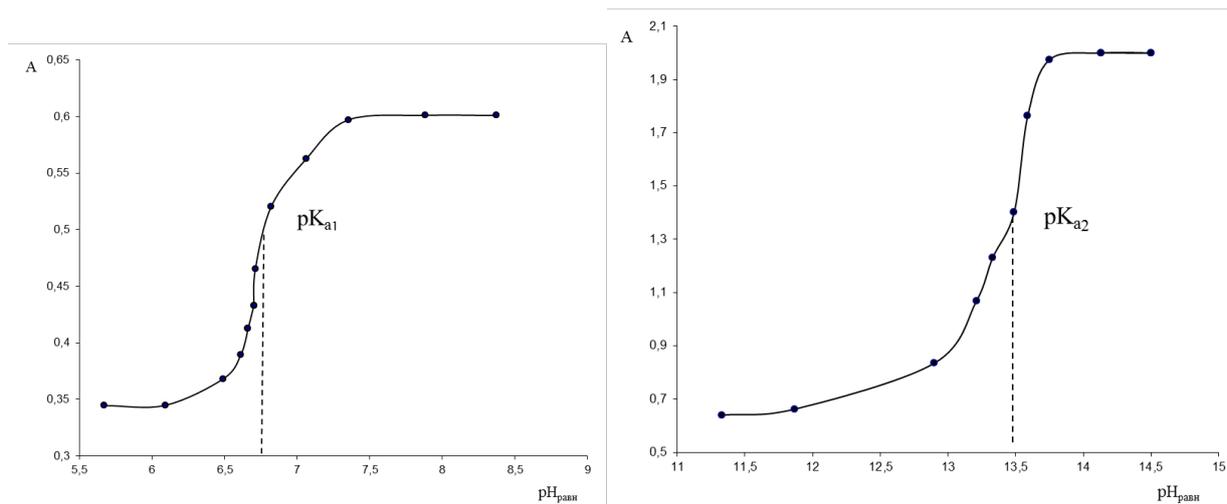


Рис. 4. Определение pK_a ГБСГ; $C_{\text{ГБСГ}} = 8,0 \cdot 10^{-5}$ моль/л; $\lambda = 213$ нм

Полученные значения pK ГБСГ составили: $pK_{a1} = 6,76 \pm 0,05$ и $pK_{a2} = 13,31 \pm 0,15$. Следовательно можно предположить, что комплексообразование реагента с ионами металлов должно существовать в щелочных и аммиачных средах.

Устойчивость реагента в щелочных растворах определяли спектрофотометрическим методом [7]. Щелочной раствор ГБСГ с концентрацией в интервале $1 \cdot 10^{-6}$ - $8 \cdot 10^{-6}$ моль/л в 1 моль/л КОН термостатировали при $(60 \pm 0,5)$ °С

в течение трех часов. Убыль концентрации реагента определяли через 30, 60, 120 и 180 мин. После охлаждения растворы фотометрировали на фоне холостого опыта при оптимальной длине волны. Зависимость степени гидролиза от времени нагревания раствора ГБСГ представлена в табл. 2. Результаты исследования устойчивости ГБСГ показали, что реагент в подобных условиях устойчив – степень гидролиза через 30 мин составила всего 10,96 %.

Таблица 2

Степень гидролиза (α , %) ГБСГ в 0,1 моль/л КОН от времени нагревания растворов

($C_{\text{ГБСГ}} = 8,0 \cdot 10^{-6}$ моль/л, $\lambda = 220$ нм; $t = 60 \pm 0,5$ °С)

Степень гидролиза (%) от времени нагревания, мин			
30	60	120	180
10,96	24,83	26,86	31,26

Одной из характеристик, позволяющих установить возможность применения того или иного вещества в качестве флотореагента, является его способность понижать поверхностное натяжение на границе жидкость–газ. Адсорбцию ГБСГ на границе раздела вода–воздух изучали стагагмометрическим методом [8]. Введение ГБСГ в концентрациях от $1,0 \cdot 10^{-5}$

до $1,0 \cdot 10^{-2}$ моль/л (по 0,1 моль/л КОН) значительно влияет на значения поверхностного натяжения в сравнении с фоновым раствором. Изучаемый реагент снижает поверхностное натяжение на границе стандартный раствор–воздух более чем в два раза, поэтому ГБСГ можно отнести к ПАВ.

Значение тангенса угла наклона прямой, касательной к изотерме поверхностного натяжения растворов ГБСГ (рис. 5), соответствует значению поверхностной активности реаген-

тов [9]. Расчет поверхностной активности осуществляли по формуле

$$G = - \frac{d\sigma}{dc} \text{ при } c \rightarrow 0 \quad (3)$$

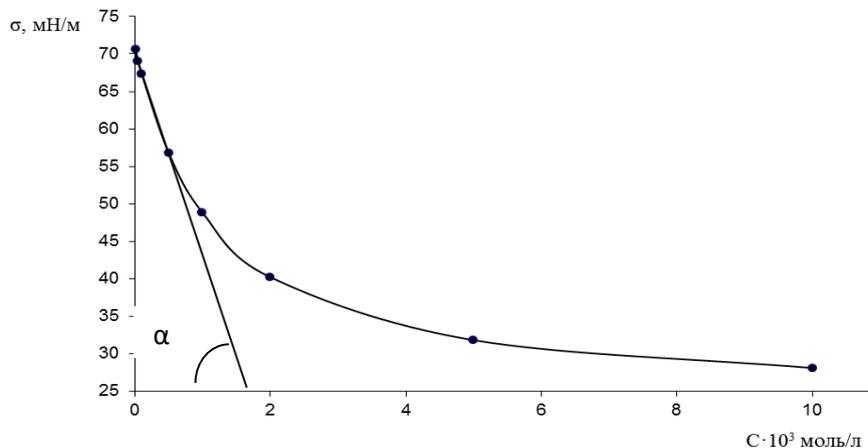


Рис. 5. Изотерма поверхностного натяжения N-гидроксibenзоил-N'-(2-нафтилсульфонил)гидразина

Согласно проведенным расчетам, поверхностная активность реагента (G_s) составила $0,054 \text{ Н}\cdot\text{м}^2/\text{моль}$. Полученное значение согласуется с литературными данными по поверхностной активности анионоактивных ПАВ [10].

Стоит упомянуть о том, что роль пены и ее свойств во флотационном процессе исключительно велика. От пены во многом зависит качество сублата [11]. Поэтому представляло интерес провести изучение кинетики пенообразования в щелочных растворах (табл. 3).

Таблица 3

Кинетика изменения объема пены растворов ГБСГ

С _{ГБСГ} , моль/л	τ, с					
	0	5	10	30	60	90
$2,5 \cdot 10^{-3}$	29	5	2	1	0	0
$1,25 \cdot 10^{-3}$	28	7	5	2	2	2
$6,25 \cdot 10^{-4}$	7	6	4	3	2	2
$3,12 \cdot 10^{-4}$	6	4	3	2	2	2
$1,56 \cdot 10^{-4}$	6	4	4	3	3	2
$7,80 \cdot 10^{-5}$	5	3	2	2	2	1
$3,90 \cdot 10^{-5}$	4	3	2	2	2	1

Результаты измерений показали, что пены образуются, но они достаточно неустойчивы. Поэтому при проведении ионной флотации возможно дополнительно вводить пенообразователь.

2. Комплексообразующие свойства ГБСГ

Комплексообразование ГБСГ с ионами Cu (II) и Co (II) изучали методом осаждения, так как образующиеся осадки нерастворимы в воде и обычных растворителях. Реагент количественно извлекает ионы Cu (II) в интервале pH

4–8; ионы Co (II) – 7–11 (рис. 6, 7). Изучена зависимость степени извлечения ионов Cu (II) и Co (II) от времени формирования осадка. Для количественного выделения комплекса ионов Me (II) с ГБСГ в осадок достаточно 5 мин. Степень осаждения составляет 98–99 %. Изучение молярных соотношений [Me(II)]:[ГБСГ] проводили методами насыщения (рис. 8), сдвига равновесий (рис. 9), Асмуса (рис. 10) и кондуктометрического титрования (рис. 11). Полученные данные позволили установить соотношения [Me(II)]:[ГБСГ] = 1:1 и 1:2.

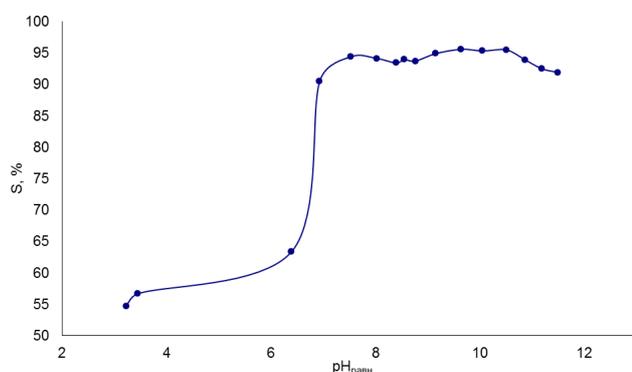


Рис. 6. Зависимость степени осаждения (S, %) ионов Co (II) с ГБСГ от pH_{равн} раствора; C_{Co(II)} – 68,5 мг/л, [Co (II)]:[ГБСГ]=1:1, аммиачная среда

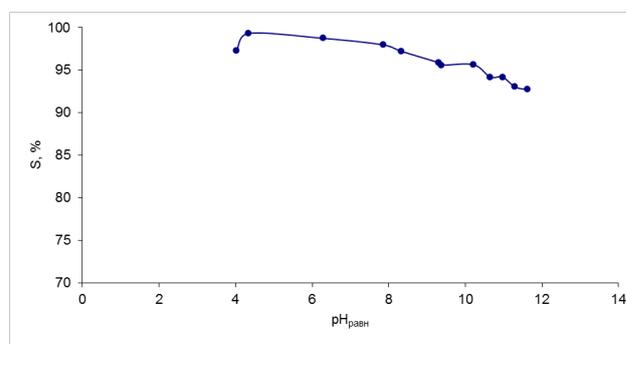


Рис. 7. Зависимость степени осаждения (S, %) ионов Cu (II) с ГБСГ от pH_{равн} раствора; C_{Cu(II)} – 63,5 мг/л, [Cu (II)]:[ГБСГ]=1:1, аммиачная среда

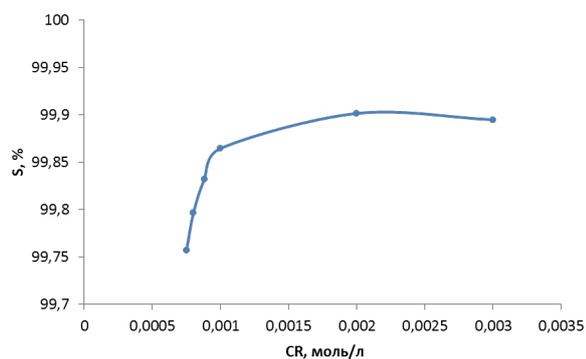


Рис. 8. Зависимость степени осаждения Cu (II) (S, %) от концентрации ГБСГ; C^{исх}_{ГБСГ} = 1,0 · 10⁻² моль/л; C^{исх}_{Cu(II)} = 1,0 · 10⁻² моль/л; аммиачная среда; pH=8,5

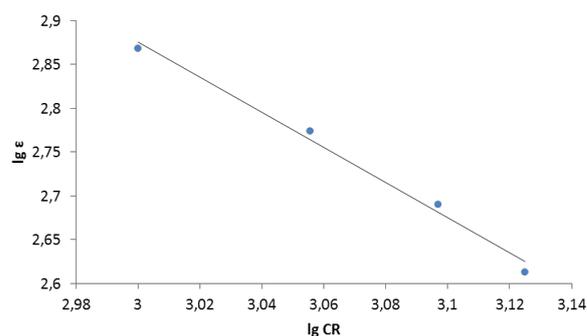


Рис. 9. Обработка кривой насыщения методом сдвига равновесия

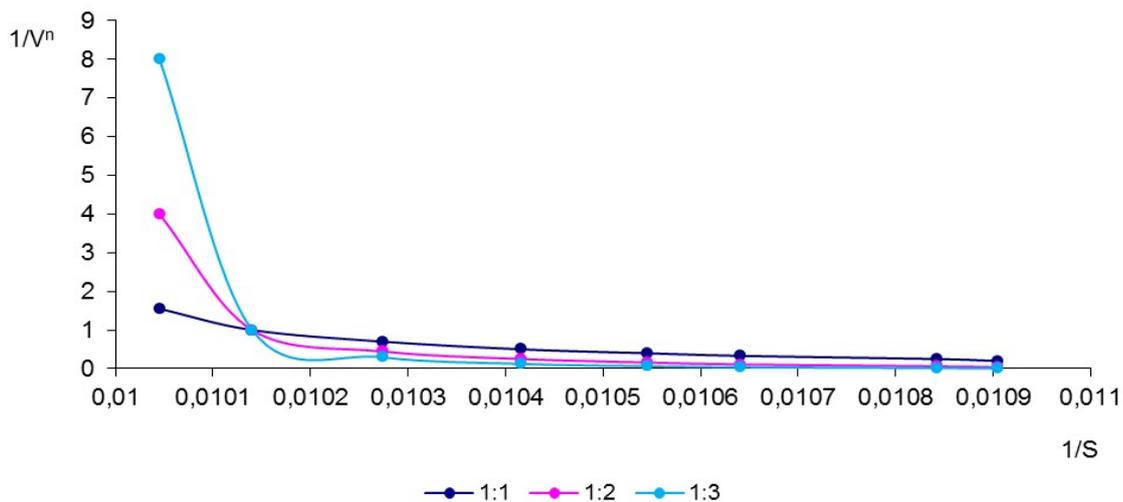


Рис. 10. Изучение состава комплекса [Co(II)]:[ГБСГ] методом Асмуса

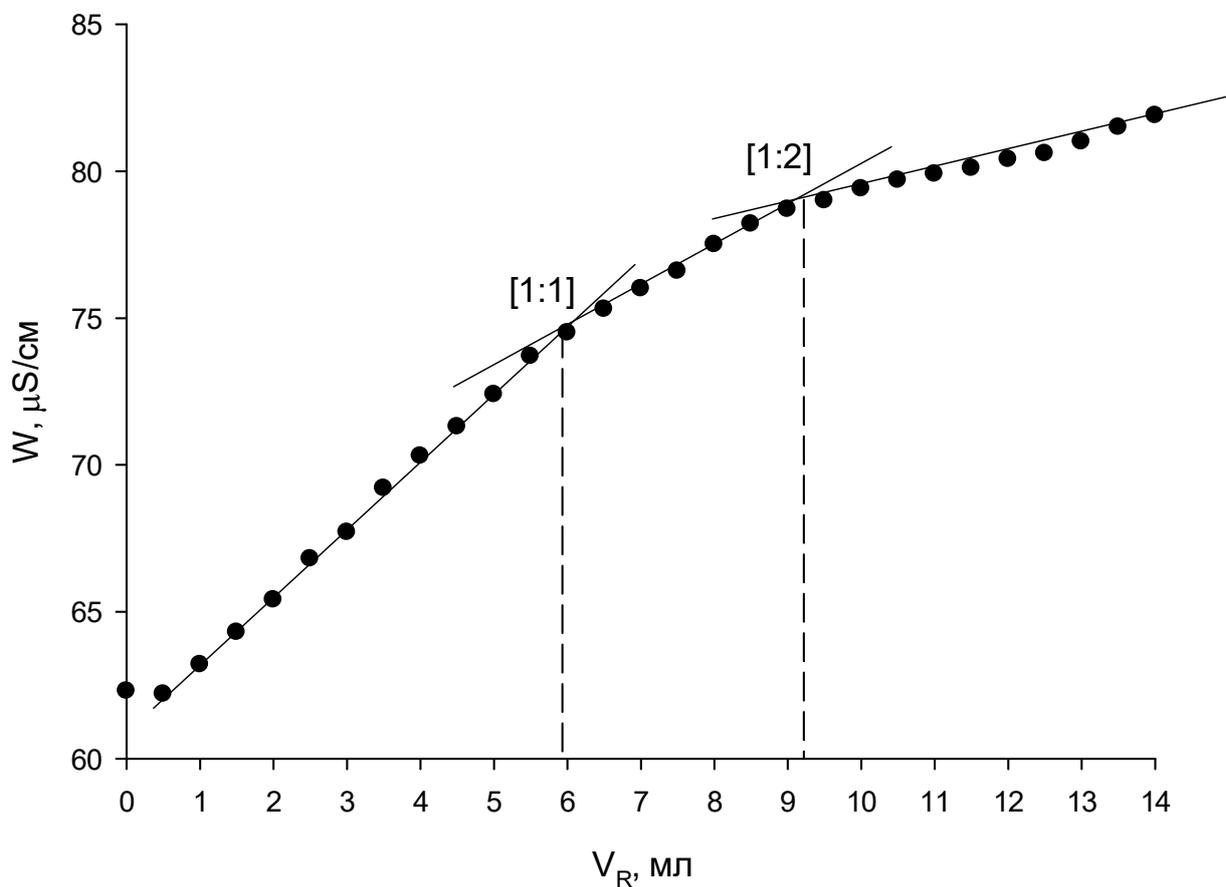


Рис. 11. Зависимость электропроводности раствора (W) CoSO_4 от количества осадителя ГБСГ;

$$C_{\text{Co(II)}}^{\text{исх}} = 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ моль/л; } C_{\text{ГБСГ}}^{\text{исх}} = 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ моль/л; } V_{\text{Co(II)}} = 5,0 \text{ мл; } \\ V_0 = 70 \text{ мл (EtOH:H}_2\text{O} = [1:1]); \text{ аммиачная среда; pH}=9,15$$

3. Препаративное выделение комплексов

Были препаративно выделены комплексы из аммиачных сред в условиях осаждения (рН ~ 9 ÷ 10) при взятых соотношениях [Me(II)]:[ГБСГ] = 1:1 и 1:2, которые представляют собой кристаллические осадки зеленого цвета в случае ионов Cu (II), а для ионов Co (II) – серо-синего цвета [12]. Для определения строения выделенных соединений были проанализированы ИК-спектры лиганда и комплексов (табл. 4), а также выполнен элементный анализ (табл. 5). Оказалось, что в обоих случаях выделенные комплексы нерастворимы в воде и обычных органических растворителях. Данные ИК-спектров и элементного анализа показали, что комплексы состава 1:1 и 1:2 идентичны по свойствам, составу и соответ-

ствуют [Me(II)]:[ГБСГ] = 1:1. В ИК-спектрах комплексов отсутствуют полосы поглощения, соответствующие колебаниям N–H и C=O связей. Появляются полосы поглощения C=N и C–O связей. Это подтверждает, что в комплексеобразовании с ионами Cu (II) и Co (II) участвует дважды депротонированная форма ГБСГ (L²⁻). Наличие нафталинового кольца подтверждается присутствием в ИК-спектрах полос с частотами 1592 и 1508 см⁻¹ [13]. В комплексе ГБСГ с ионами Co (II) отсутствует полоса поглощения C–O, которая присутствует в реагенте. Это указывает на возможность образования ковалентной связи между ионами Co (II) и кислородом OH⁻ группы бензольного кольца, которая в щелочном растворе диссоциирует.

Таблица 4

Частоты валентных колебаний (см⁻¹) в ИК-спектрах *N*-(2-гидроксибензоил)-*N'*-(2-нафтилсульфонил)гидразина и его комплексов с Cu (II) и Co (II) (суспензия в вазелиновом масле)

Соединение	n(C=N)	n(SO ₂)	n(C-O)	n(C=O)	n(NH)
ГБСГ	-	1153 1341	1128	1641	3324
[Co(II):ГБСГ]=[1:1]	1549	1218 1327	-	-	-
[Cu(II):ГБСГ]=[1:1]	1534	1284 1244	1088	-	-

Таблица 5

Элементный анализ комплексов [Co(II):ГБСГ], [Cu(II):ГБСГ]

Соединение	Практические, %				Теоретические, %			
	C	N	H	S	C	N	H	S
[CoL·4H ₂ O]	43,32	5,95	4,04	6,79	38,69	5,12	3,13	4,89
[CuL(NH ₃)(H ₂ O)]	46,52	9,59	3,9	7,3	45,59	8,92	3,13	6,3

Элементный анализ комплексов показал, что практические результаты наиболее близки к теоретическим расчетам для комплекса состава $[\text{CuL}(\text{NH}_3)(\text{H}_2\text{O})]$ и $[\text{CoL} \cdot 4\text{H}_2\text{O}]$, где L^{2-} – ионизированная по II ступени форма реагента.

На основании данных элементного анализа и ИК-спектров можно предположить следующую структурную форму выделенного комплекса ГБСГ с ионами $\text{Cu}(\text{II})$, состава 1:1 (рис. 9):

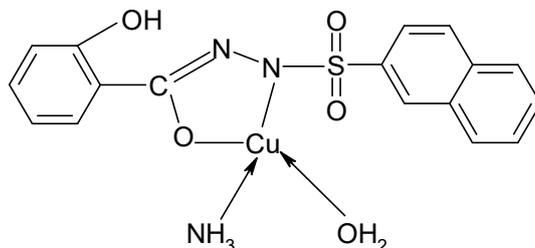
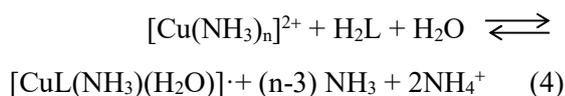


Рис. 12. Предполагаемая структура комплекса $[\text{CuL}(\text{NH}_3)(\text{H}_2\text{O})]$

Химический анализ комплексных соединений на содержание ионов $\text{Cu}(\text{II})$ и $\text{Co}(\text{II})$ проводили методом комплексонометрического титрования. Практические результаты определения ионов металлов в навеске комплекса оказались идентичными теоретически рассчитанным.

Процесс образования комплекса ионов $\text{Cu}(\text{II})$ с ГБСГ в аммиачных средах можно представить уравнением 4



Для оценки потенциальной возможности использования реагентов в процессах ионной флотации необходимо знать растворимость образующихся комплексов. С этой целью было рассчитано значение ПР осадка комплекса ГБСГ с ионами $\text{Cu}(\text{II})$ и $\text{Co}(\text{II})$ в аммиачных растворах. Выражение для расчета ПР осадка комплекса ГБСГ с ионами $\text{Cu}(\text{II})$ будет иметь вид:

$$\text{ПР}_{\text{Cu}(\text{NH}_3)_n\text{L}} = [\text{Cu}^{2+}] \cdot [\text{L}^{2-}] \cdot [\text{NH}_3] \quad (5)$$

Расчет произведения растворимости комплекса выполнен без учета ионных состояний металла над осадком. Равновесная концентрация ионной формы лиганда ($[\text{L}^{2-}]$) рассчитана по уравнению 6:

$$[\text{L}^{2-}] = \frac{K_{a_1} \cdot K_{a_2} (C_{\text{H}_2\text{L}} - C_{\text{M}} \cdot \frac{S_i}{100})}{[\text{H}^+]^2} \quad (6),$$

где K_{a_1} и K_{a_2} – константы диссоциации лиганда H_2L по I и II ступени; C_{M} и $C_{\text{H}_2\text{L}}$ – концентрации иона $\text{Cu}(\text{II})$ и добавленного лиганда, соответственно, моль/л; S_i – степень осаждения иона $\text{Cu}(\text{II})$ в точке наблюдения на кривой осаждения, %; $[\text{H}^+]$ – равновесная концентрация ионов водорода, моль/л.

Значение ПР комплекса $\text{Cu}(\text{II})$ с ГБСГ рассчитывали по уравнению

$$\text{ПР} = \left(\frac{K_{a_1} \cdot K_{a_2} (C_{\text{H}_2\text{L}} - C_{\text{M}} \cdot \frac{S_i}{100})}{[\text{H}^+]^2} \right) \cdot [\text{Cu}^{2+}]_{\text{равн}} \cdot [\text{NH}_3] \quad (7)$$

Значение $K_{\text{равн}}$ реакции комплексообразования рассчитывали по формуле [14]

$$K_{\text{равн}} = \frac{K_{[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}}}{\text{ПР}_{\text{Cu}(\text{NH}_3)\text{L}}} \quad (8)$$

Результаты расчетов представлены в табл.

6. Полученные экспериментально значения степени осаждения ионов Cu (II) и Co(II), рассчитанные значения ПР комплексов и констан-

ты равновесия служат доказательством полноты прохождения реакции комплексообразования в процессе осаждения, а также свидетельствуют о полном осаждении ионов меди.

Таблица 6

Значения ПР комплексов и $K_{\text{равн}}$ реакции комплексообразования

ГБСГ с ионами Cu (II) и Co (II) в аммиачных средах ($C_{\text{Cu(II)}} = 1 \cdot 10^{-3}$ моль/л; $C_{\text{H}_2\text{L}} = 2 \cdot 10^{-3}$ моль/л;)

Комплексные соединения	$\text{pH}_{\text{равн}}$	S, %	$[\text{L}^{2-}] \cdot 10^7$, моль/л	$[\text{Me}^{2+}]_{\text{равн.}}^{\text{ос.}}$ · 10 ⁵ моль/л	ПР	$K_{\text{равн.}}$	$[\text{Me}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$
[ГБСГ]: [Co(II)]	9,15	94,9	5,97	5,0	$2,98 \cdot 10^{-11}$	$9,46 \cdot 10^4$	$2,82 \cdot 10^{-6}$
[ГБСГ]: [Cu(II)]	8,32	97,2	0,07	3,0	$2,06 \cdot 10^{-14}$	10,4	$2,14 \cdot 10^{-13}$

Библиографический список

1. Шуклин П. В., Ромахина Е. Ю. Анализ основных направлений очистки производственных сточных вод от ионов тяжелых металлов // Вестник ПГТУ. Урбанистика. 2011. № 3. С. 108–118.].
2. Отчет о научно-исследовательской работе (№ 02201362191). Исследование равновесий в гетерогенных системах, содержащих соединения металлов и N,O-содержащие органические лиганды / Пермь, ИТХ УрО РАН 2014. 172 с.
3. Веретенникова О.В. Арилсульфогидразиды дизамещенных гликолевых кислот и их производные: дис. ... канд. хим. наук. Пермь, 1984. 138 с.
4. Шварценбах Т., Флашка Г. Комплексонометрическое титрование. М.: Химия, 1970. 360 с.
5. Чеканова Л.Г., Ельчищева Ю.Б., Павлов П.Т., и др. Физико-химические и комплексообразующие свойства N-(2-этилгексаноил)-*N'*-сульфонилгидразинов // Журнал общей химии. 2015. Т.85, вып. 6. С. 923–928.
6. Булатов М.И., Калинин И.П. Практическое руководство по фотометрическим методам анализа. Л.: Химия, 1986. С. 240–250.
7. Ельчищева Ю.Б. Равновесия при комплексообразовании 1,2-диацилгидразинов с ионами цветных металлов: дис. ... канд. хим. наук. Пермь, 2008. 113 с.

8. Айвазов Б.В. Практикум по химии поверхностных явлений и адсорбции. М.: Высшая школа, 1973. 208 с.
9. Коллоидная химия: метод. указания к выполнению лабораторных работ / Перм. ун-т; сост. М. Г. Щербань. Пермь, 2006. 72 с.
10. Ланге К.Р. Поверхностно-активные вещества: синтез, свойства, анализ, применение. Спб.: Профессия, 2004. 240 с.
11. Глембоцкий В.А., Классен В.И. Флотация. М.: Недра, 1973. 384 с.
12. Чеканова Л.Г., Радусhev А.В., Шабалина Л.С. Комплексообразование ионов тетрамин меди (II) с 1,2-диацилгидразинами // Журнал неорганической химии. 2004. Т. 49, № 3. С. 477.
13. Преч Э., Бюльман Ф., Аффолтер К. Определение строения органических соединений. М.: Бином, 2006. 438 с.
14. Тананаев Н.А. Теоретические основы аналитической химии. Ч. I. Св.: УПИ, 1958. 170 с.
4. Schwarzenbach T., Flachka G. Complexometric titration. Moscow: Chemistry, 1970. 360 p.
5. Chekanova L.G., Elchischeva Yu.B., Pavlov P.T., Voronkova O.A., Botalova E.S., Mokrushin I.G. Physic-chemical and complexing properties of N- (2-ethylhexanoyl) -N'-sulfonylhydrazines // Journal of General Chemistry. 2015. T.85. Issue. 6. From 923-928.
6. Bulatov M.I., Kalinkin I.P. Practical guidance on photometric methods of analysis. L.: Chemistry, 1986. P. 240-250.
7. Elchishcheva Yu.B. Equilibria in the complexation of 1,2-diacylhydrazines with ions of non-ferrous metals: diss. Candidate of Chemistry. sciences. Perm, 2008. 113 p.
8. Aivazov B.V. Workshop on the chemistry of surface phenomena and adsorption. - Moscow: Higher School, 1973. - 208 p.
9. Colloid chemistry: a method. instructions for laboratory work / Perm. un-t; comp. M.G. Scherban. - Perm, 2006. - 72 p.
10. Lange K.R. Surface-active substances: synthesis, properties, analysis, application. - St. Petersburg: Profession, 2004. 240 p.
11. Glembotsky V.A., Classen V.I. Flotation. - Moscow: Nedra, 1973. 384 p.
12. Chekanova LG, Radushev AV, Shabalina L.S. Complexation of tetrammine copper (II) ions with 1,2-diacylhydrazines // Journal of Inorganic Chemistry. 2004. P. 49. № 3. P. 477.
13. E. Prech, F. Byulman, K. Affolter Determination of the structure of organic compounds. - M.: Binom, 2006. 438 p.
14. Tananaev N.A. Theoretical bases of analytical chemistry. Part I. Sv.: UPI, 1958. 170 p.

References

1. Shchuklin PV, Romakhina E. Yu. Analysis of the main directions of treatment of industrial wastewater from ions of heavy metals // Bulletin of PSTU. Urbanistics. 2011. № 3. P. 108-118.].
2. Report on research work (No. 02201362191) Study of equilibria in heterogeneous systems containing metal compounds and N, O-containing organic ligands / Perm, ITH UB RAS 2014. - 172 p.
3. Veretennikova O.V. Arylsulfohydrazides of disubstituted glycolic acids and their derivatives. Diss. ... cand. Chem. sciences. Perm, 1984. 138 p.

Об авторах

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

Максимов Андрей Сергеевич,
инженер кафедры аналитической химии и экспертизы
ФГБОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»
614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15.,
htb03starosta@gmail.com.

Андрова Алина Валерьевна,
студент кафедры аналитической химии и экспертизы
ФГБОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»
614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15,
androva-a@mail.ru.

Дробинина Вилена Раисовна,
студент кафедры аналитической химии и экспертизы
ФГБОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»
614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15,
geneeva@outlook.com.

About the authors

Elchishcheva Julia Borisovna,
Candidate of Chemistry,
Associate Professor of the Department of Analytical Chemistry and Expertise
Perm State University
614990, Perm State University. 15, Bukirev st.,
Perm, Russia,
analitik1973@mail.ru.

Maksimov Andrey Sergeevich,
engineer of the Department of Analytical Chemistry and Expertise Perm State University
614990, Perm State University. 15, Bukirev st.,
Perm, Russia,
htb03starosta@gmail.com.

Androva Alina Valerievna,
student of the Department of Analytical Chemistry and Expertise Perm State University
614990, Perm State University. 15, Bukirev st.,
Perm, Russia,
androva-a@mail.ru.

Drobinina Vilena Raisovna,
student of the Department of Analytical Chemistry and Expertise Perm State University
614990, Perm State University. 15, Bukirev st.,
Perm, Russia,
geneeva@outlook.com.

Информация для цитирования

Ельчищева Ю.Б., Андрова А.В., Дробинина В.Р., Максимов А.С. *N*-(2-гидроксибензоил)-*N'*-(2-нафтилсульфонил)гидразин – как реагент для осаждения ионов цветных металлов из аммиачных растворов // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2018. Т. 8, вып. 2. С. 131–144. DOI: 10.17072/2223-1838-2018-2-131-144.

Elchishcheva Yu.B., Androva A.V., Drobinina V.R., Maksimov A.S. *N*-(2-gidroksibenzoil)-*N'*-(2-naftilsulfonyl)gidrazin – kak reagent dlia osazhdeniia ionov tsvetnykh metallov iz ammiach-nykh rastvorov [N-(2-hydroxybenzoyl)-*N'*-(2-naphthylsulfonyl)hydrazine – as a reagent for precipitation of non-ferrous metal ions from ammonium solutions] // Vestnik Permskogo universiteta. Seriya «Khimiya» = Bulletin of Perm University. Chemistry. 2018. Vol. 8. Issue 2. P. 131–144 (in Russ.). DOI: 10.17072/2223-1838-2018-2-131-144