

Научная статья

УДК 543.632.9 +543.422.3-76

<http://doi.org/10.17072/2223-1838-2022-2-107-116>

## Физико-химические свойства N-бензоил-N'-(фенилсульфонил)гидразина

Юлия Борисовна Ельчищева, Софья Ивановна Уланова, Петр Тимофеевич Павлов

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

**Аннотация.** Работа посвящена исследованию физико-химических и поверхностно-активных свойств N-(бензоил)-N'-(фенилсульфонил)гидразина (БФСГ) для оценки возможности применения реагента в процессах концентрирования ионов цветных металлов. Методами спектрофотометрии, рефрактометрии и гравиметрии изучена растворимость реагента в этаноле, 0,1 моль/л растворе КОН, толуоле, хлороформе, гексане. Кислотно-основные равновесия в растворах реагента и гидролитическая устойчивость исследованы спектрофотометрическим методом. БФСГ не проявляет поверхностной активности на границе раздела жидкость-газ.

**Ключевые слова:** ацилсульфонилгидразины; физико-химические свойства; органические лиганды; растворимость; ультрафиолетовая спектрометрия.

**Для цитирования:** 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. <http://doi.org/10.17072/2223-1838-2022-2-107-116>.

Original Article

<http://doi.org/10.17072/2223-1838-2022-2-107-116>

## Physico-chemical properties of N-benzoyl-N'-(phenylsulfonyl) hydrazine

Yuliya B. Elchishcheva, Sofiya I. Ulanova, Petr T. Pavlov

Perm State University, Perm Russia

**Abstract.** The work is devoted to the study of the physicochemical and surface-active properties of N-(benzoyl)-N'-(phenylsulfonyl) hydrazine (BPSH) to assess the possibility of using the reagent in the processes of concentration of non-ferrous metal ions. The solubility of the reagent in ethanol, 0,1 mol/l KOH solution, toluene, chloroform, and hexane was studied by spectrophotometry, refractometry, and gravimetry. Acid-base equilibria in reagent solutions and hydrolytic stability were studied by spectrophotometric method. BPSH does not show surface activity at the liquid-gas interface.

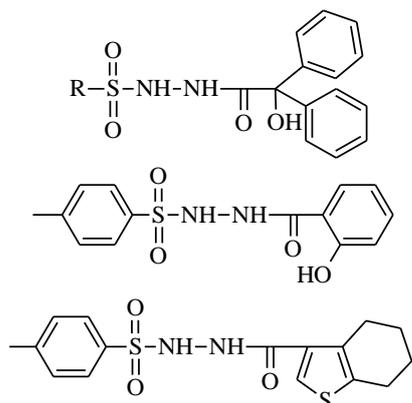
**Key words:** acylsulfonylhydrazines; physico-chemical properties; organic ligands; solubility; UV-spectrometry.

**For citation:** Elchishcheva Yu.B., Ulanova S.I., Pavlov P.T. (2022) “Physico-chemical properties of N-benzoyl-N'-(phenylsulfonyl) hydrazine”, *Bulletin of Perm University. Chemistry*, vol. 12, no. 2, pp. 107–116. (In Russ.). <http://doi.org/10.17072/2223-1838-2022-2-107-116>.



Интерес к ацильным производным сульфогидразидов связан с широкой и многогранной сферой их применения: поверхностно-активные вещества, антиоксиданты, вулканизирующие агенты, основа источников питания в радиоэлектронной технике, фунгициды, медицинские препараты [1–3]. Отмечены отечественные исследования по изучению биологической активности ряда сульфонилгидразидов двухосновных кислот [4].

К одним из первых отечественных работ, посвященных изучению физико-химических свойств ацилсульфонилгидразинов (АСГ), можно отнести исследования Н.Е. Воробьевой с сотрудниками [5, 6]. Были синтезированы и изучены физико-химические свойства следующих ацилсульфонилгидразинов:



Исследованные ацилсульфонилгидразины предложены в качестве реагентов для экстракционно-спектрофотометрического определения осмия(VI) [7].

К настоящему времени АСГ зарекомендовали себя как перспективные хелатообразующие лиганды, образующие при комплексообразовании флотоактивные комплексы [8]. Л.Г. Чекановой с сотрудниками выполнен цикл работ по исследованию физико-химических свойств N-ацил-N'-(п-тозил)гидразинов общей формулой  $RC(O)NHNHSO_2C_6H_4(CH_3)$ , где  $R = H, C_2H_5, C_3H_7, C_4H_9, C_6H_{13}, C_4H_9CH(C_2H_5), C_8H_{15}, C_{10}H_{21},$

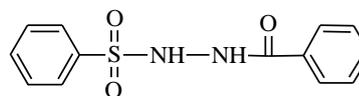
$C_{12}H_{25}$  [9]. Показана возможность использования АСГ в качестве собирателей для ионной флотации цветных металлов [10].

Авторами [11] изучены физико-химические свойства N-(2,2-диметилпропаноил)-N'-(п-тозил)гидразина (НППТ), представителя исследуемого ряда N-ацил-N'-(п-тозил)гидразинов, необходимые для оценки возможности применения реагента в процессах концентрирования ионов цветных металлов, в частности, экстракции и флотации. Реагент апробирован на сульфидной медной руде Томинского месторождения (Челябинская область). В результате экспериментов установлено, что реагент обладает выраженными собирательными свойствами по отношению к медным рудам.

Целью настоящей работы было исследование физико-химических свойств N-(бензоил)-N'-(фенилсульфонил)гидразина (БФСГ) с целью определения возможности применения реагента в процессах концентрирования цветных металлов.

#### Объекты и методы исследования

Исследуемый реагент можно представить следующей формулой:



В работе использовали  $1,0 \cdot 10^{-2}$  моль/л этанольный раствор БФСГ, точную концентрацию которого устанавливали кондуктометрическим титрованием 0,1 моль/л раствором КОН [12]; растворы гидроксида калия (моль/л: 1,0; 0,1; 0,01); аммиака (моль/л: 2,0; 1,0; 0,1); растворители: этиловый спирт, гексан, толуол, хлороформ.

Для проведения спектрофотометрических исследований (определение растворимости БФСГ в 0,1 моль/л КОН; изучение гидролити-

ческой устойчивости реагента в 0,1 моль/л КОН; исследование кислотно-основных равновесий) применяли спектрофотометр СФ-2000 (ОКБ-Спектр, Санкт-Петербург). Значения рН растворов реагента измеряли на рН-метре АНИОН 4100 (Инфраспек-Аналит, Новосибирск) с комбинированным электродом ЭСК-10603/7. Кондуктометрическое титрование на кондуктометре SEVENMULTIS70-K (Mettler Toledo, Швейцария). Для определения растворимости реагента в этиловом спирте измеряли показатель преломления на рефрактометре RE40D (MettlerToledo, Япония).

Растворимость БФСГ в толуоле, гексане и хлороформе определяли гравиметрическим методом, используя сушильный шкаф LOIP LF 60/350-VS1 и аналитические весы фирмы ACCULAB (США). Выявлено, что ацилсульфонилгидразины практически не растворимы в воде, но хорошо растворимы в этиловом спирте, поэтому поверхностное натяжение на границе раствор БФСГ–воздух измеряли последовательным разбавлением спиртовых растворов реагента сталагмометрическим методом [13]. Предварительно определяли поверхностное натяжение водно-спиртовых растворов без реагента.

### Результаты и их обсуждение

Определение растворимости БФСГ. Для оценки практического использования реагента в процессах концентрирования металлов необходимо изучить его растворимость в традиционно используемых растворителях. 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

этимися соображениями обусловлен выбор растворителей для БФСГ.

Для изучения растворимости реагента в 0,1 моль/л растворах КОН применяли спектрофотометрический метод [14]. С целью определения максимального светопоглощения сняты спектры раствора БФСГ в растворе КОН (рис.1).

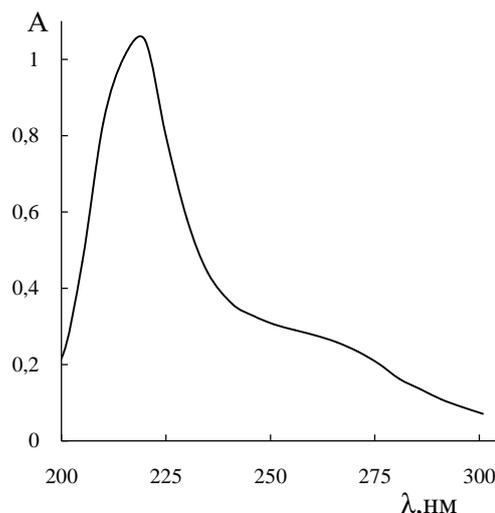


Рис.1. Спектр поглощения БФСГ в 0,1 моль/л КОН:  
 $C_{\text{БФСГ}} = 4,0 \cdot 10^{-5}$  моль/л;  $l = 1,0$  см

При оптимальной длине волны (216 нм) построен градуировочный график (рис.2) для определения концентрации БФСГ. Закон Бугера–Ламберта–Бера выполняется в интервале от  $5,0 \cdot 10^{-6}$  до  $3,0 \cdot 10^{-5}$  моль/л. Молярный коэффициент светопоглощения составляет  $4,87 \cdot 10^4$  см<sup>2</sup>/моль. Для определения растворимости реагента 0,1 моль/л водный раствор КОН насыщали БФСГ, термостатировали при температуре  $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$  в течение 24 часов. Насыщенный раствор отфильтровывали через фильтр с синей лентой и после разбавления 0,1 моль/л раствором КОН фотометрировали при длине волны 216 нм в кварцевой кювете толщиной слоя 1,0 см.

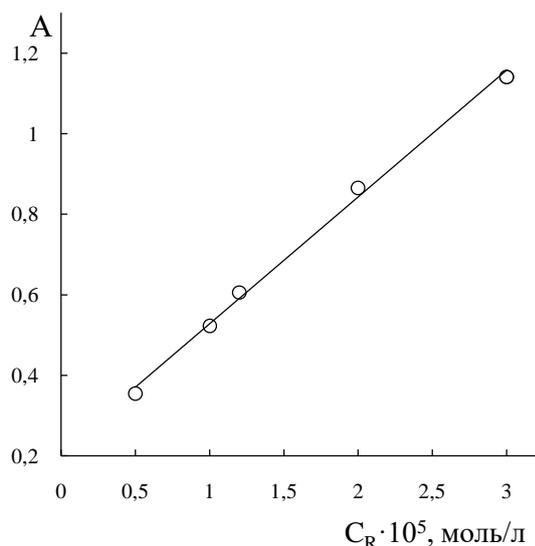


Рис.2. Градуировочный график для определения растворимости БФСГ в 0,1 моль/л растворе КОН:

$$\lambda = 216 \text{ нм}, l = 1,0 \text{ см}$$

$$(A = 0,315C_R + 0,212, R^2 = 0,996)$$

Для определения растворимости БФСГ в этиловом спирте применяли изотермический метод сечений профессора Р.В. Мерцлина [15]. Для создания серии смесей в стеклянные бюксы помещали одинаковое количество растворителя массой 0,5 г и переменное количество реагента, взвешенные на аналитических весах ( $\pm 2 \cdot 10^{-4}$  г). Полученные смеси в закрытых бюк-

сах термостатировали ( $20 \pm 1^\circ\text{C}$ ) и выдерживали для насыщения жидкой фазы реагентом, как минимум в течение 24 ч, при периодическом перемешивании. Постоянство значения показателя преломления жидкой фазы для каждой навески свидетельствовало о достижении состояния равновесия. Показатели преломления жидкой фазы измеряли с погрешностью  $1 \cdot 10^{-4}$ . Результаты экспериментов представлены на рис. 3.

Растворимость реагента в хлороформе, гексане и толуоле определена гравиметрическим методом. Для этого растворитель (5,0 мл) насыщали БФСГ, термостатировали при комнатной температуре ( $20 \pm 1^\circ\text{C}$ ) в течение 24 часов. После фильтрования отбирали аликвоту раствора реагента (1,0 мл), упаривали в сушильном шкафу в стеклянных бюксах при температуре  $100\text{--}105^\circ\text{C}$  до постоянной массы. Растворимость S (г/л) рассчитывали по формуле

$$S = (m_2 - m_1) \cdot 1000,$$

где  $m_1$  – масса пустого бюкса, г;  $m_2$  – масса бюкса с веществом, г.

Таблица 1

**Растворимость соединения БФСГ в некоторых средах при  $20^\circ\text{C}$ , моль/л (г/л)**

EtOH	0,1 моль/л КОН	Толуол	Хлороформ	Гексан
$7,38 \cdot 10^{-2}$ (20,4)	$1,63 \cdot 10^{-2}$ (4,50)	$4,30 \cdot 10^{-3}$ (1,20)	$2,03 \cdot 10^{-2}$ (5,60)	-

В табл. 1 представлены результаты исследования растворимости реагента. Наблюдается хорошая растворимость БФСГ в 0,1 моль/л растворе КОН, этиловом спирте и хлороформе; реагент умеренно растворим в толуоле и практически не растворим в гексане. Полученные результаты показали, что реагент может использоваться в процессах флотации и экстракции.

#### *Кислотно-основные равновесия*

Изучение протолитических равновесий в растворах реагента важно не только для понимания распределения различных форм в зависимости от кислотности среды, но также способствует прогнозированию области рН существования комплексных соединений. Для определения констант диссоциации использован спектрофотометрический метод [16]. Зарегист-

рированы спектры поглощения растворов реагента при разных значениях рН (рис.3).

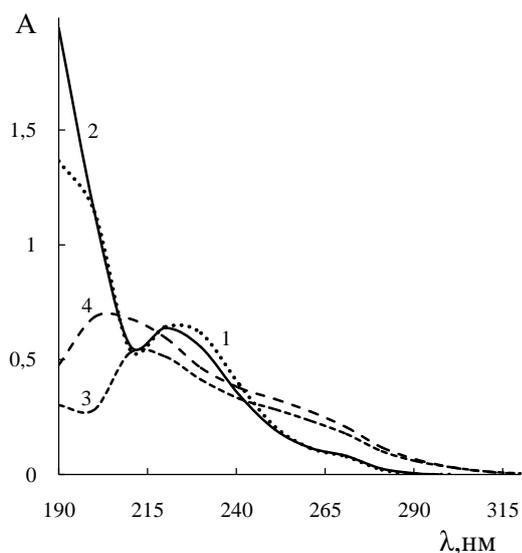


Рис. 3. Спектры поглощения растворов БФСГ в воде в зависимости от рН: 1 – 2,92; 2 – 6,23; 3 – 11,7; 4 – 13,5.  $C_{\text{БФСГ}} = 4,0 \cdot 10^{-5}$  моль/л

Спектры поглощения растворов реагента в кислой, нейтральной и щелочной областях отличаются, что подтверждает существование молекулярной и ионизированных форм реагента. Наибольшая разница в светопоглощении для растворов БФСГ находится в интервале 225–235 нм.

Для определения значений  $pK_a$  реагента построена зависимость оптической плотности растворов БФСГ от рН раствора при длине волны 225 нм, на которой зафиксированы два

перегиба, соответствующие диссоциации БФСГ. Первый перегиб наблюдается в области  $pH = 6,7-9,4$ , соответствующий диссоциации реагента по I ступени, второй перегиб – в области  $pH = 12,6-13,3$ , соответствующий диссоциации реагента по II ступени (рис. 4).

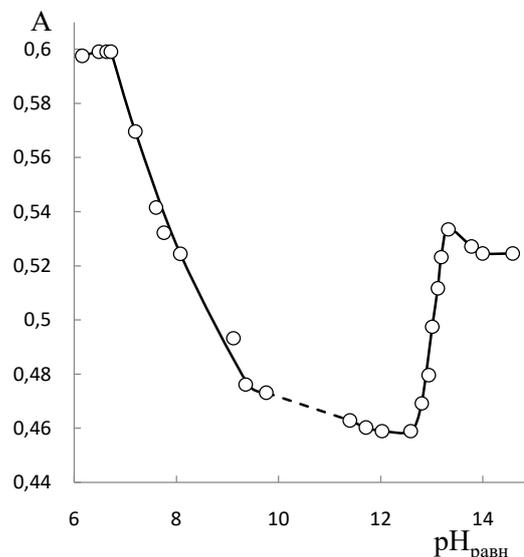
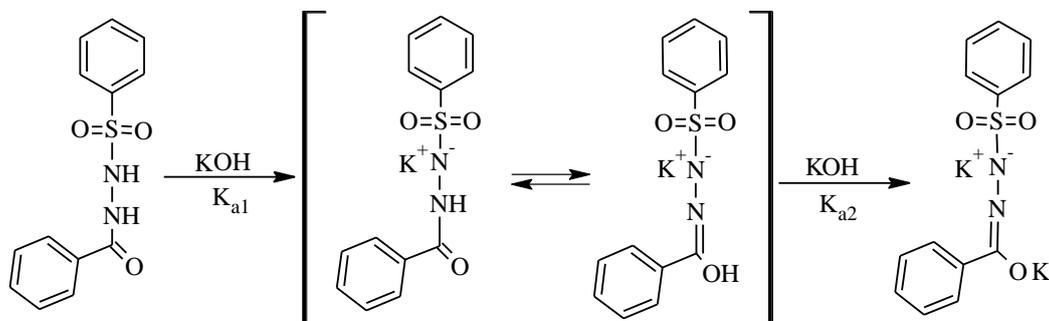


Рис. 4. Зависимость оптической плотности растворов БФСГ от  $pH_{\text{равн}}$ :  $C_{\text{БФСГ}} = 4,0 \cdot 10^{-5}$  моль/л,  $\lambda = 225$  нм,  $l = 1,0$  см

Процесс кислотной диссоциации сульфонилидразидов сопровождается первоначальным отрывом протона  $NHSO_2$ -фрагмента за счет большего акцепторного действия  $SO_2$  по сравнению с группой  $CO$  [17]. Поэтому процесс диссоциации реагента в общем виде можно представить следующей схемой:



Рассчитанные и обработанные методом математической статистики значения констант диссоциации составили:  $pK_{a1} = 7,88 \pm 0,35$  и

$pK_{a2} = 13,01 \pm 0,59$  при  $n = 5$  и  $P = 0,95$ . Можно сделать вывод, что БФСГ является слабой двухосновной кислотой и комплексообразование

с ионами цветных металлов преимущественно происходит в слабощелочных и щелочных средах.

*Определение устойчивости к гидролизу в щелочных средах*

Для проведения флотации важным условием является достаточная устойчивость реагента. Комплексообразование реагента с ионами цветных металлов, как упомянуто ранее, возможно в щелочных растворах, поэтому актуальным является изучение устойчивости в растворе КОН. Гидролитическую устойчивость определяли спектрофотометрическим методом [18]. Раствор БФСГ ( $2,0 \cdot 10^{-5}$  моль/л) в 0,1 моль/л растворе КОН выдерживали при комнатной температуре в течение двух часов. Изменение концентрации реагента определяли

через 15, 30, 45, 60 минут. Исследуемые растворы реагента фотометрировали на фоне холостого опыта при оптимальной длине волны – 216 нм. Расчет степени гидролиза БФСГ осуществляли по следующей формуле:

$$\alpha, \% = \frac{A_0 - A_i}{A_0} \cdot 100,$$

где  $A_0$  – оптическая плотность раствора реагента в начальный момент времени;  $A_i$  – оптическая плотность раствора реагента после термостатирования.

На протяжении часа качественный состав изучаемого раствора БФСГ был постоянен, что подтверждают идентичные спектры поглощения ( $\lambda = 216$  нм). Зависимость степени гидролиза от времени выдерживания раствора реагента отображена в табл. 2.

Таблица 2

**Степень гидролиза ( $\alpha$ , %) БФСГ в 0,1 моль/л КОН во времени**

( $C_{\text{БФСГ}} = 2,0 \cdot 10^{-5}$  моль/л;  $\lambda = 216$  нм;  $\tau = 20 \pm 1^\circ\text{C}$ )

$\tau$ , мин	15	30	45	60
A	0,599	0,563	0,505	0,495
$\alpha$ , %	11,4	16,7	25,3	26,8

*Изучение поверхностно-активных свойств и пенообразования*

Адсорбцию БФСГ на границе раздела водно-спиртовой раствор–воздух изучали с помощью стагамометрического метода. [19]. Поскольку реагент ограниченно растворим в воде, поверхностное натяжение на границе раствор БФСГ–воздух измеряли путем последовательного разбавления 0,1 моль/л спиртового раствора реагента 0,1 моль/л раствором КОН. В интервале концентраций  $2,5 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 10^{-2}$  моль/л БФСГ не снижает поверхностное натяжение на границе стандартный раствор–воздух, поэтому его нельзя отнести к ПАВ. При проведении флотации важным фактором являются характер

и свойства образующихся пен. Вследствие этого интерес представляет изучение устойчивости образующихся пен, и изменение их объема во времени [20]. При концентрации реагента  $1,25 \cdot 10^{-3} - 3,90 \cdot 10^{-5}$  моль/л устойчивых пен не образуется. Поэтому при проведении флотации, возможно, потребуется введение дополнительного пенообразователя.

**Заключение**

Для БФСГ изучены физико-химические свойства, необходимые для оценки возможности применения реагента в процессах концентрирования ионов цветных металлов, в частности, экстракции и флотации.

Определена растворимость БФСГ в воде, 0,1 моль/л щелочных растворах, хлороформе, этиловом спирте, гексане и толуоле. Лучшая растворимость реагента отмечена в случае спиртовых, щелочных растворов и хлороформе.

Исследованы кислотно-основные свойства БФСГ. Рассчитанные и обработанные методом математической статистики значения констант диссоциации составили:  $pK_{a1} = 7,88 \pm 0,35$  и  $pK_{a2} = 13,01 \pm 0,59$ . Показано, что исследуемый реагент – слабая двухосновная кислота. Можно

предположить, что комплексообразование БФСГ с ионами цветных металлов должно происходить в щелочных и аммиачных средах.

Спектрофотометрические исследования гидролитической устойчивости показали, что степень гидролиза после 60 мин в 0,1 моль/л КОН при 20°C составила 26,8 %.

Исследуемый реагент практически не проявляет поверхностной активности при введении его в интервале концентраций  $2,5 \cdot 10^{-3}$ – $1,0 \cdot 10^{-2}$  моль/л, поэтому его нельзя отнести к ПАВ.

#### Список источников

1. Marques S.M., Abate C.C., Chaves S., et al. New bifunctional metalloproteinase inhibitors: an integrated approach towards biological improvements and cancer therapy // Journal of Inorganic Biochemistry. 2013. Vol. 127. P. 188–202. <https://doi.org/10.1016/j.jinorgbio.2013.03.003>.
2. Ariesan V., Michaela P., Aurelia M. Darstellung von Acylsulfonyl-Hydrazin-Derivaten // Archiv der Pharmazie. 1972. Vol. 305. P. 99–200. <https://doi.org/10.1002/ardp.19723050308>.
3. Shyam K., Penketh P.G., Divo A.A., et al. Synthesis and evaluation of 1-acyl-1,2-bis(methylsulfonyl)-2-(2-chloroethyl)hydrazines as antineoplastic agents // Journal of Medicinal Chemistry. 1993. Vol. 36. № 23. P. 3496–3502. <https://doi.org/10.1021/jm00075a002>.
4. Зверева О.В., Милютин А.В., Бобровская О.В., Одегова Т.Ф. Синтез, противовоспалительная и антибактериальная активность  $\beta$ -N-(галогенбензоил) и  $\beta$ -N-(4-метилфенилсульфонил)-гидразидов 4-арил-2-гидрокси-4-оксо-2-бутеновых (ароилпировиноградных) кислот // Химико-фармацевтический журнал. 2004. Т. 38, № 2. С. 32–33.
5. Воробьева Н.Е. Ацилсульфонилгидразины – реагенты на осмий: автореф. дис. ... канд. хим. наук. Рига, 1989. 17 с.
6. 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.
7. Воробьева Н.Е., Живописцев В.П., Павлов П.Т. Экстракционно-фотометрическое определение осмия (VI) N'-(п-толуолсульфонил)гидразидом бензиловой кислоты // Журнал аналитической химии. 1989. Т. 64, № 3. С. 467–471.
8. Воронкова О.А., Чеканова Л.Г., Щербань М.Г., и др. Комплексообразование и флотация ионов цветных металлов из щелочных растворов с N-ацил-N'-(п-толуолсульфонил)-гидразинами // Журнал прикладной химии. 2012. Т. 85, № 12. С. 2005–2010.
9. 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.

10. Чеканова Л.Г., Радушев А.В., Воронкова О.А., и др. Извлечение ионов цветных металлов из аммиачных растворов с N-ацил-N'-(п-толуол-сульфонил)гидразинами // Химическая технология. 2011. № 12. С. 7547–7559.
11. Васильев В.С., Ельчищева Ю.Б., Павлов П.Т., и др. Физико-химические свойства N-(2,2-диметилпропаноил)-N'-(п-толуолсульфонил)гидразина // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2019. Т. 9, № 3. С. 212–218.
12. Радушев 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.
13. Щукин Е.Д., Амелина Е.А., Перцов А.В. Коллоидная химия. М.: Изд-во МГУ, 1982. 348 с.
14. Булатов М. И., Калинин И.П. Практическое руководство по фотометрическим методам анализа М.: Химия, 1986. 431 с.
15. Никурашина Н.И., Мерцлин Р.В. Метод сечений. Приложение его к изучению многофазного состояния многокомпонентных систем. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1969. 122 с.
16. Бернштейн. И.Я., Каминский Ю.Л. Спектрофотометрический анализ в органической химии. Л.: Химия, 1986. 116 с.
17. Черных В.П., Макурина В.И. Реакционная способность замещенных амидов и гидразидов ароматических сульфокислот // Реакционная способность органических соединений. 1977. Т. XIV, № 1 (49). С. 106–115.
18. Ельчищева Ю.Б. Равновесия при комплексообразовании 1,2-диацилгидразинов с ионами цветных металлов: дис. ... канд. хим. наук. Пермь, 2008. 113 с.
19. Абрамзон А.А., Бочаров В.В., Гаевой Г.М. Поверхностно-активные вещества. Л.: Химия, 1979.
20. Елесина В.В., Балабанова С.С., Верещагин А.Л. Получение и изучение устойчивости пен. Бийск: БТИ АлтГТУ, 2018. 17 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](mailto:analitik1973@mail.ru)

**Софья Ивановна Уланова**, студент, кафедры аналитической химии и экспертизы, Пермский государственный национальный исследовательский университет (614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15), [sofiaulanova1999@gmail.com](mailto:sofiaulanova1999@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](mailto:pavlovpt@mail.ru)

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Поступила 03 апреля 2022 г.; одобрена 20 мая 2022 г.; принята к публикации 27 мая 2022 г.

### References

1. Marques, S.M., Abate, C.C., Chaves, S., Marques, F., Santos, I., Nuti, E., Rossello, A. and Santos, M.A. (2013) “New bifunctional metalloproteinase inhibitors: an integrated approach towards biological improvements and cancer therapy”, *Journal of Inorganic Biochemistry*, vol. 127, pp. 188–202.
2. Ariesan, V., Michaela, P. and Aurelia, M. (1972) “Darstellung von Acylsulfonyl-Hydrazin-Derivaten”, *Archiv der Pharmazie*, vol. 305, pp. 99–200.
3. Shyam, K., Penketh, P.G., Divo, A.A., Loomis, R.H., Rose, W.C. and Sartorelli, A.C. (1993) “Synthesis and evaluation of 1-acyl-1,2-bis(methylsulfonyl)-2-(2-chloroethyl)hydrazines as antineoplastic agents”, *Journal of Medicinal Chemistry*, vol. 36, № 23, pp. 3496–3502.
4. Zvereva, O.V., Milyutin, A.V., Bobrovskaya, O.V. and Odegova, T.F. (2004) “Synthesis, anti-inflammatory and antibacterial activity of  $\beta$ -N-(halogenbenzoyl) and  $\beta$ -N-(4-methylphenylsulfonyl)-hydrazides of 4-aryl-2-hydroxy-4-oxo-2-butenoic (aroylpyruvic) acids”, *Chemical Pharmaceutical Journal*, vol. 38, no. 2, pp. 32–33. (In Russ.).
5. Vorobieva, N.E. (1989) Acylsulfonylhydrazines – reagents for osmium”, PhD dissertation, Riga, USSR. (In Russ.).
6. 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.).
7. 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.).
8. 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.).
9. 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.).
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”, *Khimicheskaya Tehnologiya*, no. 12, pp. 754–759. (In Russ.).
11. Vasiliev, V.S., Yelchishcheva, Yu.B., Pavlov, P.T. and Chekanova, L.G. (2019), “Physicochemical properties of N-(2,2-dimethylpropanoyl)-N'-(p-toluenesulfonyl) hydrazine”, *Bulletin of Perm University. Chemistry*, vol. 9, no. 3, pp. 212–218. (In Russ.).
12. 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.).
13. Shchukin, E.D., Amelina, E.A. and Pertsov, A.V. (1982) *Kolloidnaya Khimiya* [Colloidal Chemistry], Moscow State University Publishing, Moscow. (In Russ.).

14. Bulatov, M.I. and Kalinkin, I.P. (1986) *Prakticheskoye rukovodstvo po fotometricheskim metodam analiza* [Practical guidance on photometric methods of analysis], Moscow, Khimiya. (In Russ.).
15. Nikurashina, N.I. and Mertslin, R.V. (1969) *Metod sechenij. Prilozhenie ego k izucheniyu mnogofaznogo sostoyaniya mnogokomponentnyh sistem* [The method of sections. Application to the study of his state multiphase multicomponent systems], Saratov University, Saratov. (In Russ.).
16. Bernstein, I.Ya., Kaminsky, Yu.L. (1986) *Spektrofotometricheskii analiz v organicheskoy khimii* [Spectrophotometric analysis in organic chemistry], Leningrad, Khimiya. (In Russ.).
17. Chernykh, V.P., Makurina, V.I. (1977) "Reactivity of substituted amides and hydrazides of aromatic sulfonic acids", *Reactivity of Organic Compounds*, vol. XIV, no. 1, pp. 106–115. (In Russ.).
18. Yelchischeva, Yu.B. (2008) Equilibrium in the complexation of 1,2-diacylhydrazines with nonferrous metal ions, Ph.D. dissertation, Perm, Russia. (In Russ.).
19. Abramzon, A.A., Bocharov, V.V. and Gaevoy, G.M. (1979) *Poverkhnostno-aktivnyye veshchestva* [Surfactants], Leningrd, Khimiya. (In Russ.).
17. Elesina, V.V., Balabanova, S.S., Vereshchagin. A.L. (2018) *Polucheniye i izucheniye ustoychivosti pen* [Obtaining and studying the stability of foams], Biysk, Altay State Technical University. (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.

**Sofia I. Ulanova**, student, Department of Analytical Chemistry and Expertise, Perm State University (15, Bukireva st., Perm, Russia, 614990), sofiaulanova1999@gmail.com

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

#### Conflicts of interests

The authors declare no conflicts of interests.

*Submitted 03 April 2022; approved after reviewing 20 May 2022; accepted 27 May 2022*