

Научная статья

УДК 543.632.9+543.422.3-76

<http://doi.org/10.17072/2223-1838-2022-1-25-35>

### Физико-химические свойства N-бензоил-N'-(2-нафтилсульфонил)гидразина

Юлия Борисовна Ельчищева, Олеся Михайловна Созинова, Петр Тимофеевич Павлов  
Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

**Аннотация.** Представлены результаты исследования физико-химических свойств N-бензоил-N'-(2-нафтилсульфонил)гидразина (БНСГ). Исследована растворимость реагента в этаноле, 0,1 моль/л растворе KOH, толуоле, хлороформе, гексане методами спектрофотометрии и гравиметрии. На основании полученных результатов показано, что БНСГ может быть использован в процессах флотации и экстракции. Кислотно-основные равновесия в растворах реагента изучены спектрофотометрическим методом. Полученные значения констант кислотной диссоциации ( $pK_{a1} 7,78 \pm 0,42$ ;  $pK_{a2} 13,53 \pm 0,44$ ) доказывают, что БНСГ является слабой двухосновной кислотой. Изучена гидролитическая устойчивость реагента спектрофотометрическим методом. Результаты исследования показали, что растворы БНСГ достаточно устойчивы во времени в щелочных средах: степень гидролиза в течение двух часов составляет 8,10%. Сталагмометрическим методом определена поверхностная активность реагента. Установлено, что БНСГ является поверхностно-активным веществом.

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

**Для цитирования:** Ельчищева Ю.Б., Созинова О.М., Павлов П.Т. Физико-химические свойства N-бензоил-N'-(2-нафтилсульфонил)гидразина // Вестник Пермского университета. Серия Химия. 2022. Т. 12, № 1. С. 25–35. <http://doi.org/10.17072/2223-1838-2022-1-25-35>.

Original Article

<http://doi.org/10.17072/2223-1838-2022-1-25-35>

### Physical and chemical properties of N-benzoyl-N'-(2-naphthylsulfonil) hydrazine

Yuliya B. Elchishcheva, Olesya M. Sozinova, Petr T. Pavlov  
Perm State University, Perm, Russia

**Abstract.** In the current study, the physicochemical properties of N-benzoyl-N'-(2-naphthylsulfonil)hydrazine (BNSH) were measured by spectrophotometric and gravimetric methods. The solubility of this reagent was determined in ethanol, KOH (0.1 mol/L), toluene, chloroform, and hexane solutions. It was shown that BNSH can be used in the processes of flotation and extraction. Results of spectrophotometry confirmed that BNSH is a weak diacid due to obtained values of the acid dissociation constants ( $pK_{a1} 7,78 \pm 0,42$ ;  $pK_{a2} 13,53 \pm 0,44$ ). Also, it was established that BNSH solutions are sufficiently stable over time in alkaline media: the degree of hydrolysis.

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

**For citation:** Elchishcheva, Yu.B., Sozinova, O.M. and Pavlov, P.T. (2022) “Physical and chemical properties of N-benzoyl-N'-(2-naphthylsulfonil) hydrazine”, *Bulletin of Perm University. Chemistry*, vol. 12, no. 1, pp. 25–35. (In Russ.). <http://doi.org/10.17072/2223-1838-2022-1-25-35>.

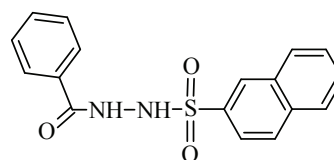
При поиске эффективных реагентов для концентрирования металлоионов большой интерес представляют хелатообразующие лиганды, способные образовывать малорастворимые комплексы [1]. С этой точки зрения заслуживают внимания ацилсульфонилгидразины (АСГ) – соединения, содержащие в своем составе гидразидную группу, способную к образованию прочных комплексных соединений с ионами цветных металлов, и сульфонильную. Сульфонильная группа обладает сильной электроакцепторной 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.

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 [2, 3].

В работах Чекановой Л.Г с сотрудниками исследованы физико-химические свойства *N*-ацил-*N'*-(*p*-толуолсульфонил)гидразинов общей формулой  $RC(O)NHNHSO_2C_6H_4(CH_3)$ , где  $R = C_6H_{13}, C_4H_9CH(C_2H_5), C_{12}H_{25}$ , ди(*n*-толуолсульфонил)гидразина  $C_6H_4(CH_3)SO_2NHNHSO_2C_6H_4(CH_3)$ . Изучены процессы комплексообразования АСГ с ионами  $Cu(II)$ ,  $Co(II)$  и  $Ni(II)$  в аммиачных и щелочных растворах. Показана возможность использования реагентов в качестве собирателей для ионной флотации цветных металлов [4–6].

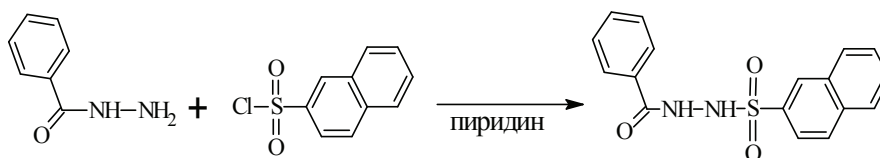
Флотационное извлечение пены зависит от гидрофобизирующей способности реагента. Хорошая гидрофобизация наблюдается у реагентов с объемными алкильными радикалами [7]. Утяжеление молекулы реагента за счет введения крупного гидрофобного радикала приводит к значительному расширению диапазона рН комплексообразования, количественному извлечению комплекса с ионами цветных металлов и повышению чувствительности аналитической реакции, но не уменьшает ее избирательности. Поэтому работы авторов [8, 9] были посвящены изучению физико-химических свойств и процессов комплексообразования *N*-(ацил,арил)-*N'*-(2-нафтилсульфонил)гидразинов общей формулой  $RC(O)NHNHSO_2C_{10}H_7$ , где  $R = C_5H_{11}, C_4H_9CH(C_2H_5), C_{14}H_{29}$  и  $C_6H_5(OH)$  с ионами цветных металлов в аммиачных средах. Изученные реагенты зарекомендовали себя как хорошие осадители и собиратели ионов цветных металлов.

Для дополнения нафтильного ряда *N*-ацил-*N'*-(2-нафтилсульфонил)гидразинов, а также для определения возможности применения реагента в процессах концентрирования ионов цветных металлов авторами изучены физико-химические и поверхностно-активные свойства *N*-бензоил-*N'*-(2-нафтилсульфонил)гидразина (далее БНСГ):



#### Объекты и методы исследования

**Синтез реагента.** *N*-бензоил-*N'*-(2-нафтилсульфонил)гидразин получали взаимодействием бензгидразида с 2-нафталинсульфохлоридом в среде пиридина [10]:



Строение реагента подтверждены данными ИК-, ЯМР  $^1\text{H}$ - спектроскопии и элементного анализа.

**Реактивы и приборы.** В работе использовали стандартный  $1,0 \cdot 10^{-2}$  моль/л этанольный раствор БНСГ, точную концентрацию которого устанавливали кондуктометрическим титрованием 0,1 моль/л раствором КОН [11]; растворы гидроксида калия (моль/л: 1,0; 0,1; 0,01); раствор хлористоводородной кислоты (2,0 моль/л); растворители: этиловый спирт, гексан, толуол, хлороформ.

Для проведения спектрофотометрических исследований (определение растворимости БНСГ в 0,1 моль/л КОН; изучение гидролитической 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. Для определения точной концентрации БНСГ выполняли кондуктометрическое титрование на кондуктометре SEVEN-MULTIS70-K (MettlerToledo, Швейцария). Растворимость БНСГ в толуоле, гексане и хлороформе определяли гравиметрическим методом, используя сушильный шкаф LOIP LF 60/350-VS1 и аналитические весы фирмы ASCULAB (США). Ацилсульфонилгидразины практически нерастворимы в воде, но хорошо растворимы в этиловом спирте, поэтому поверхностное натяжение на границе раствор

БНСГ – воздух измеряли последовательным разбавлением спиртовых растворов реагента сталагмометрическим методом [12]. Предварительно определяли поверхностное натяжение водно-спиртовых растворов без реагента.

### Результаты и обсуждения

*Определение растворимости БНСГ.* 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 этими соображениями обусловлен выбор растворителей для БНСГ.

Растворимость реагента в 0,1 моль/л растворе КОН определяли спектрофотометрическим методом [13]. С целью определения максимума светопоглощения был зарегистрирован спектр раствора БНСГ в 0,1 моль/л КОН на фоне холодного опыта (рис. 1).

Из полученных данных следует, что максимум светопоглощения раствора БНСГ в 0,1 моль/л КОН находится при  $\lambda = 218$  нм. При оптимальной длине волны построен градуировочный график для определения концентрации БНСГ (рис. 2). Закон Бугера–Ламберта–Бера выполняется в интервале от  $1,0 \cdot 10^{-6}$  до  $5,0 \cdot 10^{-6}$  моль/л. Молярный коэффициент светопоглощения составляет  $1,02 \cdot 10^5$  см<sup>2</sup>/моль.

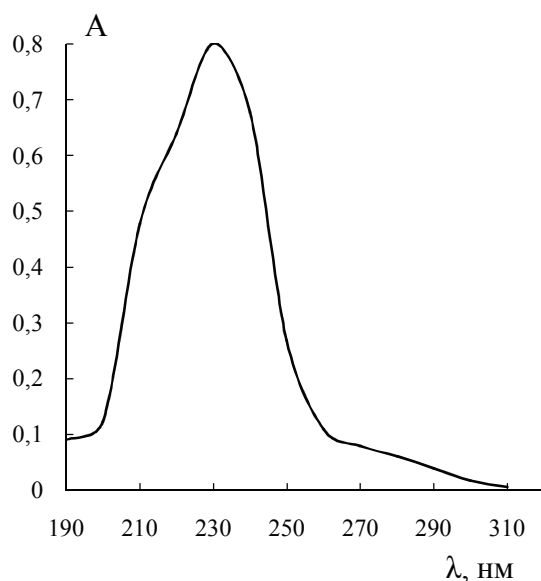


Рис.1. Спектр поглощения раствора БНСГ в 0,1 моль/л КОН:  
 $C_{\text{БНСГ}} = 5,0 \cdot 10^{-6}$  моль/л;  $l = 1,0$  см

По градуировочному графику определяли растворимость БНСГ в 0,1 моль/л растворе КОН. Для этого насыщали 0,1 моль/л раствор КОН реагентом при  $(20 \pm 0,5)^\circ\text{C}$  в термостате в течение 24 ч. Полученные растворы фильтровали через фильтр с синей лентой и после разбавления 0,1 моль/л раствором КОН фотометрировали в оптимальных условиях ( $\lambda = 218\text{ нм}$  и  $l = 1,0$  см).

Растворимость реагента в этиловом спирте, хлороформе, гексане и толуоле определена гравиметрическим методом. Для этого растворитель (5,0 мл) насыщали БНСГ, термостатировали при комнатной температуре  $(20 \pm 0,5^\circ\text{C})$  в течение 24 часов. Далее 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.

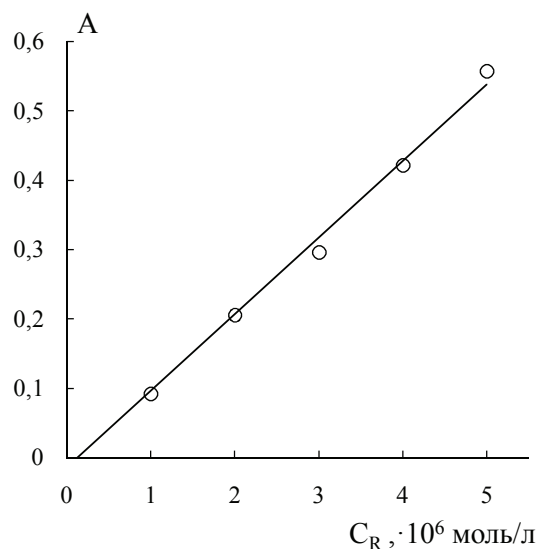


Рис.2. Градуировочный график для определения растворимости БНСГ в 0,1 моль/л КОН:  $\lambda = 218\text{ нм}$ ,  $l = 1,0$  см  
 $(A = 0,114C_R - 0,029, R^2 = 0,995)$

Данные о растворимости реагента при  $20^\circ\text{C}$  приведены в табл.1. Из полученных результатов экспериментов следует, что БНСГ плохо растворяется в гексане, умеренно растворим в толуоле и в 0,1 моль/л растворе КОН, хорошо растворим в хлороформе и этиловом спирте. Поэтому перспективно использовать БНСГ в процессах экстракции и флотации.

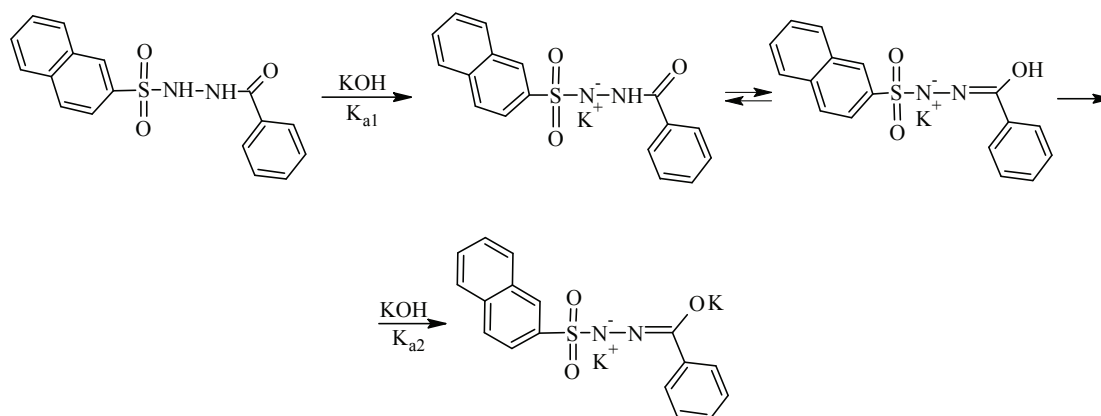
Таблица 1

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

Этанол $1,53 \cdot 10^{-2}$ (5,00)	0,1 моль/л КОН $5,82 \cdot 10^{-3}$ (1,90)	Толуол $5,20 \cdot 10^{-3}$ (1,70)	Хлороформ $1,07 \cdot 10^{-2}$ (3,50)	Гексан $1,20 \cdot 10^{-3}$ (0,400)
---------------------------------------	---	---------------------------------------	--	--

*Кислотно-основные свойства БНСГ.* 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 БНСГ использовали спектрофотометрический метод [14]. Для определения оптимальной



Для расчета значений  $pK_{a1}$  и  $pK_{a2}$  исследуемого реагента была изучена зависимость оптической плотности растворов от значений рН среды при  $\lambda = 225$  нм. Для растворов БНСГ на кривой  $A \sim f(\text{pH})$  наблюдали два перегиба: первый – в области  $\text{pH} = 7,0\text{--}8,2$ , соответствующий диссоциации реагента по I ступени, а второй – при  $\text{pH} = 12,8\text{--}13,8$ , соответствующий диссоциации по II ступени (рис.4).

Полученные значения  $pK_{a1}$  и  $pK_{a2}$  были обработаны методом математической статистики и соответственно составили  $7,78 \pm 0,42$  и  $13,53 \pm 0,44$ . Из полученных значений  $pK$  видно, что исследуемый реагент – слабая двухосновная кислота, диссоциирующая по двум ступеням в зависимости от рН раствора. Процесс диссоциации реагента в щелочных средах первоначально сопровождается отщеплением протона от сульфониламидной группы вследствие

длины волны были проанализированы спектры поглощения растворов реагента в зависимости от рН раствора. Из спектров поглощения растворов БНСГ (рис.3) следует, что по характеру УФ-спектры ( $\lambda = 190\text{--}250$  нм) различных форм реагента имеют разное поглощение.

Это подтверждает наличие в растворах реагента ( $\text{H}_2\text{L}$ ) кислотно-основных равновесий, представленных в общем виде схемой:

большей электроотрицательности последней по сравнению с карбонильной группой.

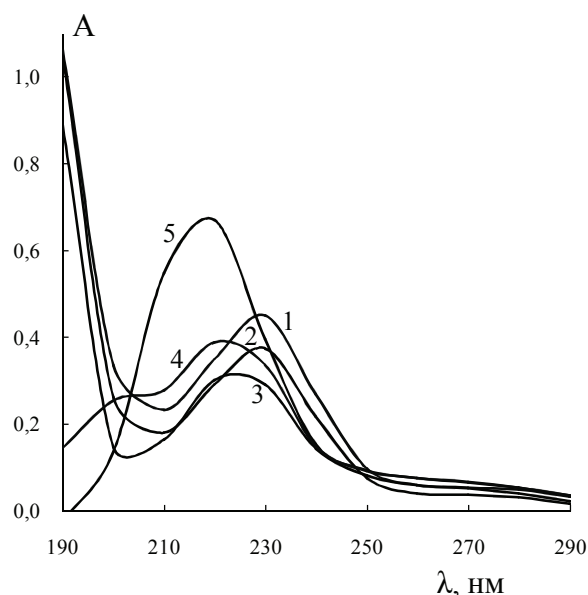


Рис. 3. Спектры поглощения растворов БНСГ в воде в зависимости от рН:  
1 – 3,9; 2 – 6,8; 3 – 9,0; 4 – 11,9; 5 – 13,2  
( $C_{\text{БНСГ}} = 6,0 \cdot 10^{-6}$  моль/л, р-ры KOH,  $l = 1,0$  см)

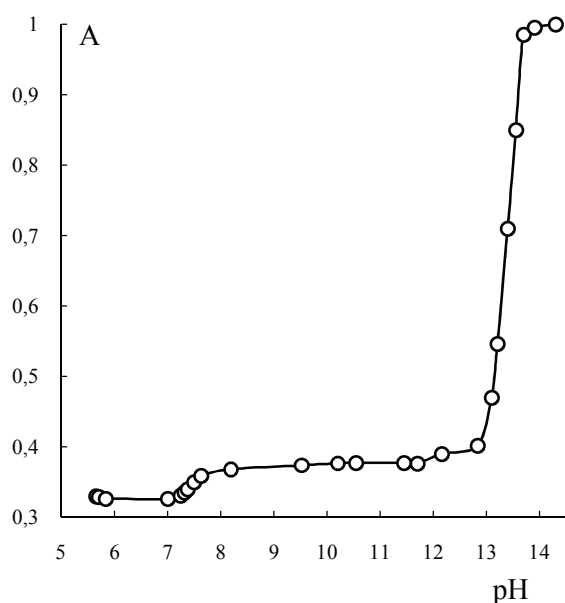


Рис. 4. Определение констант кислотной диссоциации БНСГ:

$$C_{\text{БНСГ}} = 1,0 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л}; \lambda = 225 \text{ нм}; l = 1,0 \text{ см}$$

Можно предположить, что комплексы исследуемого реагента с ионами цветных металлов должны существовать в щелочных и аммиачных средах. Поэтому актуальным является изучение устойчивости БНСГ в растворе КОН.

**Определение устойчивости БНСГ к гидролизу в щелочных средах.** Для проведения флотации важным условием является достаточная устойчивость реагента. Устойчивость БНСГ в щелочных растворах определяли спектрофотометрическим методом [15]. Щелочной

раствор БНСГ с концентрацией  $4,0 \cdot 10^{-6}$  моль/л (по 0,1 моль/л КОН) готовили последовательным разбавлением спиртового раствора реагента ( $1,0 \cdot 10^{-4}$  моль/л).

Полученный раствор термостатировали при  $(20 \pm 0,5)^\circ\text{C}$  в течение двух часов. Убыль концентрации БНСГ определяли через 15, 30, 45, 60, 90 и 120 мин. После охлаждения растворы реагента фотометрировали на фоне холостого опыта при оптимальной длине волны  $\lambda = 218 \text{ нм}$  и  $l = 1,0 \text{ см}$ . В течение двух часов качественный состав исследуемого раствора БНСГ был постоянен, так как спектр поглощения раствора реагента оставался без изменений. Расчет степени гидролиза БНСГ проводили по формуле

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

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

Зависимость степени гидролиза раствора реагента в 0,1 моль/л КОН при  $(20 \pm 0,5)^\circ\text{C}$  представлена в табл. 2. Полученные результаты свидетельствуют о достаточной устойчивости БНСГ в подобных средах.

Таблица 2

Степень гидролиза ( $\alpha$ ) БНСГ в 0,1 моль/л КОН во времени ( $C_{\text{БНСГ}} = 4,0 \cdot 10^{-6}$  моль/л,  $t = 20 \pm 0,5^\circ\text{C}$ )

t, мин	15	30	45	60	90	120
$\alpha, \%$	2,40	3,59	4,90	5,44	7,17	8,10

*Поверхностно-активные свойства БНСГ.* Одной из характеристик флотореагента является способность понижать поверхностное натяжение на границе жидкость–газ. Адсорбцию БНСГ на границе раздела водно-спиртового раствор–воздух изучали с помощью сталагмомет-

рического метода [16]. Исследуемое соединение ограничено растворимо в воде, поэтому поверхностное натяжение на границе раствор БНСГ–воздух измеряли последовательным разбавлением спиртового раствора реагента 0,1 моль/л раствором КОН. Введение реагента в

интервале концентраций от  $1,96 \cdot 10^{-5}$  до  $5,0 \cdot 10^{-3}$  моль/л значительно повлияло на значения поверхностного натяжения по сравнению с фоновым раствором. Из полученных данных можно сделать вывод, что изучаемый реагент снижает поверхностное натяжение на границе спиртово-щелочной раствор–воздух более чем в два раза, поэтому его можно отнести к ПАВ.

На рис. 5 приведена изотерма поверхностного натяжения N-бензоил-N'-(2-нафтилсульфонил)гидразина. Падающая ветвь кривой отражает процесс постепенного заполнения поверхностного слоя молекулами ПАВ, при этом адсорбция достигает предельного значения, а дальнейшее введение ПАВ приводит к образованию мицелл в объеме раствора и менее значительно сказывается на величине поверхностного натяжения раствора.

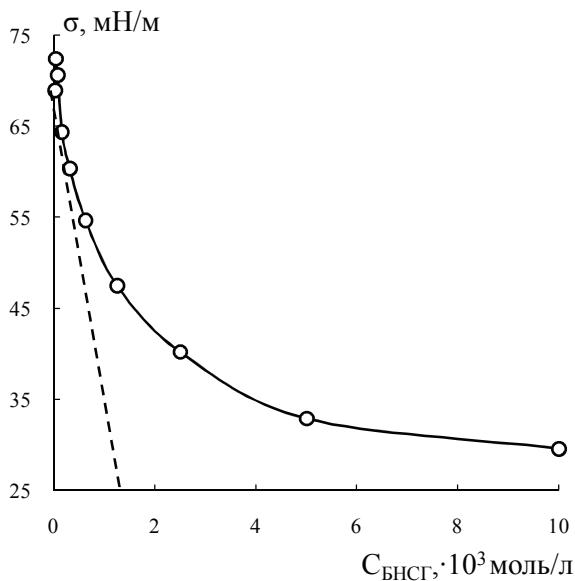


Рис.5. Изотерма поверхностного натяжения на границе спиртово-щелочной раствор БНСГ–воздух

Значение тангенса угла наклона прямой, касательной к изотерме поверхностного натяжения растворов БНСГ в области малых концентраций соответствует значению поверхностной

активности реагента. Расчет производили по формуле

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

Согласно проведенным расчетам, поверхностная активность N-бензоил-N'-(2-нафтилсульфонил)гидразина составила  $0,020 \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{моль}$ . Полученное значение согласуется с литературными данными по поверхностной активности анионоактивных ПАВ ( $0,02\text{--}0,05 \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{моль}$ ). Из этого следует, что реагент способен проявлять поверхностную активность в спиртово-щелочном растворе.

#### Кинетическая устойчивость пен БНСГ.

При проведении флотации большую роль играет характер и свойства образующихся пен. Малоустойчивые (хрупкие) пены, также, как и слишком устойчивые, не являются оптимальными для флотационного процесса. Образующиеся пены должны обеспечивать вторичное (дополнительное) концентрирование флотуемого минерального сырья. Недостаточно устойчивые пены уменьшают эффективность извлечения по причине недостаточного выноса образующегося сублата, а чрезмерно стабильные минерализованные пены затрудняют дальнейший технологический процесс с извлекаемым коллигеном в виде пенного продукта, например, дальнейшие операции дополнительной (перечистой) флотации. Ввиду этого представляет интерес изучение устойчивости образующихся пен и изменение их объема во времени.

Несмотря на то, что флотационные пены, содержащие воздух, частицы сублата и воду, являются трехфазными, методически представляется более верным изучение первоначально двухфазных пен. Поэтому актуально провести

изучение устойчивости пенообразования в водных растворах БНСГ [17]. В цилиндр объемом 50 мл с притертой пробкой наливают 25 мл раствора реагента и встряхивают в течение 60 с. После прекращения встряхивания отмечают объем образовавшейся пены. Далее отмечают изменения объема пены во времени. Аналогич-

ные опыты проводят с растворами БНСГ, разбавленными в 2, 4, 8, 16 раз и т.д. (до тех концентраций, пока реагент устойчивой пены давать не будет – получающаяся пена мгновенно разрушается). После проведения эксперимента делают вывод об устойчивости пены. Результаты исследования отображены в табл. 3.

Таблица 3

**Изменение устойчивости объема пены (V, мл) от концентрации БНСГ во времени**

С <sub>БНСГ</sub> , моль/л	τ, с						
	5	10	15	20	30	60	90
2,50·10 <sup>-3</sup>	3	-	-	-	-	-	-
1,25·10 <sup>-3</sup>	15	7	4	3	3	2	1
6,25·10 <sup>-4</sup>	15	6	5	4	3	2	1
3,13·10 <sup>-4</sup>	10	5	4	3	2	1	-
1,56·10 <sup>-4</sup>	5	4	3	2	1	-	-
7,81·10 <sup>-5</sup>	4	3	2	1	-	-	-
3,91·10 <sup>-5</sup>	3	2	1	-	-	-	-

Полученные значения исследований показали, что при концентрации реагента (С<sub>БНСГ</sub> = 5,0·10<sup>-3</sup> моль/л) происходит быстрое разрушение пены, но при уменьшении концентрации образуются умеренно устойчивые пены, поэтому при проведении ионной флотации, возможно, потребуется введение дополнительного пенообразователя.

### Заключение

1. Результаты исследования растворимости БНСГ показали, что реагент перспективно использовать в процессах экстракции и флотации.

2. Исследованы кислотно-основные равновесия реагента. Доказано, что БНСГ является слабой двухосновной кислотой. Полученные значения рК<sub>а1</sub> и рК<sub>а2</sub> составили 7,78 ± 0,42 и 13,53 ± 0,44 соответственно. Можно предположить, что комплексообразование БНСГ с ионами цветных металлов должно существовать в щелочных и аммиачных средах.

3. Спектрофотометрическое исследование гидролитической устойчивости показало, что реагент достаточно устойчив в щелочных средах.

4. Результаты исследований поверхностно-активных свойств показали, что изучаемый реагент снижает поверхностное натяжение на границе стандартный раствор–воздух более чем в два раза, поэтому БНСГ можно отнести к ПАВ. Согласно проведенным расчетам, поверхностная активность реагента составила 0,020Н·м<sup>2</sup>/моль, поэтому БНСГ проявляет поверхностную активность в водно-щелочных растворах.

5. Полученные результаты исследований стабильности пенообразования показали, что БНСГ образует умеренно устойчивые пены, поэтому при проведении флотации потребуется введение дополнительного пенообразователя.



Список источников

1. Радушев А.В., Чеканова Л.Г., Чернова Г.В. Реагенты для ионной флотации цветных металлов // Цветные металлы. 2005. № 7. С. 34–41.
2. Marques. S.M., Abate C.C., Chaves S., Marques F., Santos I., Nuti E., Rossello A., Santos M.A. 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>.
3. Shyam K., Penketh P.G., Divo A.A., Loomis R.H., Rose W.C., Sartorelli A.C. 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. Чеканова Л.Г., Радушев А.В., Воронкова О.А., Байгачева Е.В., Алехина Ю.В. Извлечение ионов цветных металлов из аммиачных растворов с N-ацил-N'-(*p*-толуол-сульфонил)гидразинами // Химическая технология. 2011. Т. 12, № 12. С. 754–759.
5. Воронкова О.А., Чеканова Л.Г., Щербань М.Г., Радушев А.В., Павлов П.Т., Чернова Г.В. 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.
6. Чеканова Л.Г., Воронкова О.А., Радушев А.В., Павлов П.Т., Байгачева Е.В. Комплексообразование N-ацил-N'-(*p*-толуолсульфонил)гидразинов с ионами цветных металлов в аммиачных средах // Журнал неорганической химии. 2013. Т. 58, № 1. С. 112–116. <https://doi.org/10.7868/S0044457X13010042>.
7. Глембоцкий В.А., Классен В.И. Флотация. М.: Недра, 1973. С. 384.
8. Ельчищева Ю.Б., Сунгатуллина Л.Р., Армянинова Е.Д., Шахторин Н.А., Павлов П.Т., Максимов А.С. Физико-химические и комплексообразующие свойства N-ацил-N'-(2-нафтилсульфонил)гидразинов // Вестник Пермского университета. Серия Химия. 2017. Т. 7, № 2. С. 194–208.
9. Ельчищева Ю.Б., Максимов А.С., Андрова А.В., Дробинина В.Р., N-(2-гидроксibenзоил)-N'-(2-нафтилсульфонил)гидразин – как реагент для осаждения ионов цветных металлов из аммиачных растворов // Вестник Пермского университета. Серия Химия. 2018. Т. 8, № 2. С. 131-144. <https://doi.org/10.17072/2223-1838-2018-2-131-144>.
10. Веретенникова О.В. Арилсульфогидразиды дизамещенных гликолевых кислот и их производные: дис. ... канд. хим. наук. Пермь, 1984. 138 с.
11. Радушев А.В., Чеканова Л.Г., Гусев В.Ю., Сазонова Е.А. Определение гидразидов и 1,2-диацилгидразинов алифатических карбоновых кислот кондуктометрическим титрованием // Журнал аналитической химии. 2000. Т. 55, №5. С. 496–499.
12. Ланге К.Р. Поверхностно-активные вещества: синтез, свойства, анализ, применение. СПб.: Профессия, 2004. 240 с.
13. Булатов М. И., Калинин И.П. Практическое руководство по фотометрическим методам анализа. М.: Химия, 1986. 431с.

14. Бернштейн. И.Я., Каминский Ю.Л. Спектрофотометрический анализ в органической химии. Л.: Химия, 1986. 116 с.
15. Ельчищева Ю.Б. Равновесия при комплексообразовании 1,2-диацилгидразинов с ионами цветных металлов: дис. ... канд. хим. наук. Пермь, 2008. 113 с.
16. Абрамзон А.А., Бочаров В.В., Гаевой Г.М. Поверхностно-активные вещества. Л.: Химия, 1979. 376 с.
17. 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).

**Олеся Михайловна Созинова**, студент кафедры аналитической химии и экспертизы, Пермский государственный национальный исследовательский университет (614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15), [olesasozinova61@gmail.com](mailto:olesasozinova61@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 7 февраля 2022 г.; одобрена 12 февраля 2022 г.; принята к публикации 21 февраля 2022 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. 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.
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, no. 23, pp. 3496–3502.
4. 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-toluenesulfonyl)hydrazines", *Chemical Technology*, vol. 12, no. 12, pp. 754–759 (in Russ.).
5. Voronkova, O.A., Chekanova, L.G., Shcherban, M.G., Radushev, A.V., Pavlov, P.T. and Chernova, G.V. (2012) "Complex formation 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.).

6. 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”, *Journal of Inorganic Chemistry*, vol. 58, no. 1, pp. 112–116 (in Russ.).
7. Glembotskiy, V.A., Klassen, V.I. (1973), *Flotachiya* [Flotation], Moscow, Nedra (in Russ.).
8. Elchishcheva, Yu.B., Sungatullina, L.R., Armyaninova, E.D., Shakhtorin, N.A., Pavlov, P.T. and Maksimov, A.S. (2017) “Physicochemical and complexing properties of N-acyl-N'-(2-naphthylsulfonyl)hydrazines”, *Bulletin of the Perm University. Chemistry*, vol. 7, no. 2, pp. 194–208 (in Russ.).
9. Elchishcheva, Yu.B., Maksimov, A.S., Androva, A.V. and Drobinina, V.R. (2018) “N-(2-hydroxybenzoyl)-N'-(2-naphthylsulfonyl)hydrazine as a reagent for the precipitation of non-ferrous metal ions from ammonia solutions”, *Bulletin of the Perm University. Chemistry*, vol. 8, no. 2, pp. 131–144 (in Russ.).
10. Veretennikova, O.V. (1984) Arylsulfohydrazides of disubstituted glycolic acids and their derivatives. Ph. D. dissertation, Perm, Russia.
11. 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.).
12. Lange, K.R. (2004) *Poverkhnostno-aktivnyye veshchestva: sintez, svoystva, analiz, primeneniye* [Surfactants: synthesis, properties, analysis, application], Saint-Petersburg, Professiya (in Russ.).
13. 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.).
14. Bernstein, I. Ya., Kaminsky, Yu. L. (1986), *Spektrofotometricheskii analiz v organicheskoy khimii* [Spectrophotometric analysis in organic chemistry], Leningrad, Khimiya (in Russ.).
15. Yelchischeva, Yu.B. (2008) Equilibrium in the complexation of 1,2-diacylhydrazines with non-ferrous metal ions, Ph.D. dissertation, Perm, Russia.
16. Abramzon, A.A., Bocharov, V.V., 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), analtik1973@mail.ru.

**Olesya M. Sozinva**, Student, Department of Analytical Chemistry and Expertise, Perm State University (15, Bukireva st., Perm, Russia, 614990), olesasozinova61@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 07 February 2022; approved after reviewing 12February 2022; accepted 21February 2022*