

Научная статья

УДК 543.422.3+543.452+544.722.2

<http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-1-21-31>

## Физико-химические свойства этилового эфира N'-тозилгидразида щавелевой кислоты

Юлия Борисовна Ельчищева, Ольга Александровна Посохина, Петр Тимофеевич Павлов  
Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

**Аннотация.** Представлены результаты исследования физико-химических свойств этилового эфира N'-тозилгидразида щавелевой кислоты (ЭТГ). Исследована растворимость реагента в этаноле, 0,1 моль/л растворе КОН, толуоле, хлороформе, гексане, воде методами спектрофотометрии, рефрактометрии и гравиметрии. На основании полученных результатов показано, что ЭТГ может быть использован в процессах флотации и экстракции. Кислотно-основные равновесия в растворах реагента изучены спектрофотометрическим методом. Полученные значения констант кислотной диссоциации ( $pK_{a1} = 7,56 \pm 0,14$ ;  $pK_{a2} = 13,48 \pm 0,22$ ) доказывают, что ЭТГ является слабой двухосновной кислотой. Изучена гидролитическая устойчивость реагента спектрофотометрическим методом. Результаты исследования показали, что растворы ЭТГ достаточно устойчивы во времени в щелочных средах: степень гидролиза в течение двух часов составляет 4,77%. Сталагмометрическим методом определена поверхностная активность реагента. Установлено, что ЭТГ является поверхностно-активным веществом.

**Ключевые слова:** ацилсульфонилгидразины; органические лиганды; растворимость; ультрафиолетовая спектрометрия; поверхностная активность.

**Для цитирования:** Ельчищева Ю.Б., Посохина О.А., Павлов П.Т. Физико-химические свойства этилового эфира N'-тозилгидразида щавелевой кислоты // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2023. Т. 13, № 1. С. 21–31. <http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-1-21-31>

Original Article

<http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-1-21-31>

## Physico-chemical properties of ethyl ether N'-tosylhydrazide of oxalic acid

Yulia B. Elchishcheva, Olga A. Posokhina, Petr T. Pavlov  
Perm State University, Perm, Russia

**Abstract.** The results of a study of the physicochemical properties of N'-tosylhydrazide oxalic acid (ETH) ethyl ester are presented. The solubility of the reagent in ethanol, 0,1 mol/l KOH solution, toluene, chloroform, hexane, and water was studied by spectrophotometry, refractometry, and gravimetry. Based on the results obtained, it was shown that ETG can be used in flotation and extraction processes. Acid-base equilibria in reagent solutions were studied by spectrophotometric method. The obtained values of acid dissociation constants ( $pK_{a1} = 7,56 \pm 0,14$ ;  $pK_{a2} = 13,48 \pm 0,22$ ) prove that ETG is a weak dibasic acid. The hydrolytic stability of the reagent was studied by the spectrophotometric method. The results of the study showed that ETG solutions are quite stable in time in alkaline media: the degree of hydrolysis for two hours is 4,77%. The surface activity of the reagent was determined by the stalagmometric method. ETG has been found to be a surfactant.

**Key words:** acylsulfonylhydrazines; organic ligands; solubility; ultraviolet spectrometry; surface activity.

**For citation:** Elchishcheva Yu.B., Posokhina O.A. and Pavlov P.T. (2022) "Physico-chemical properties of ethyl ether N'-tosylhydrazide of oxalic acid", *Bulletin of Perm University. Chemistry*, vol. 13, no. 1, pp. 21–31. (In Russ.). <http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-1-21-31>.



Обогащение и переработка бедного, трудно-обогатимого минерального сырья, извлечение ценных компонентов из техногенных отходов, очистка промышленных сточных вод от ионов цветных и тяжелых металлов предприятий различных отраслей, в особенности химической и предприятий цветной металлургии, являются важными аспектами в промышленном цикле.

Ведется обширный поиск новых эффективных реагентов для процессов концентрирования и разделения, позволяющих производить очистку минерализованных и сточных вод в одну ступень с достижением высокой степени извлечения целевых компонентов и обеспечением остаточных концентраций в соответствии с нормами ПДК.

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 [2, 3]. Сульфонильная группа обладает сильной электроноакцепторной способностью и поэтому может активировать соседнюю аминогруппу, облегчая отрыв от нее протона, т.е. способна усиливать кислотные свойства соединения [4]. Сочетание данных групп создает перспективу в области поиска новых реагентов для концентрирования ионов металлов.

Л.Г. Чекановой с сотрудниками выполнен цикл работ по исследованию физико-химических и комплексообразующих свойств N-ацил-N'-(тозил)гидразиновой общей формулой

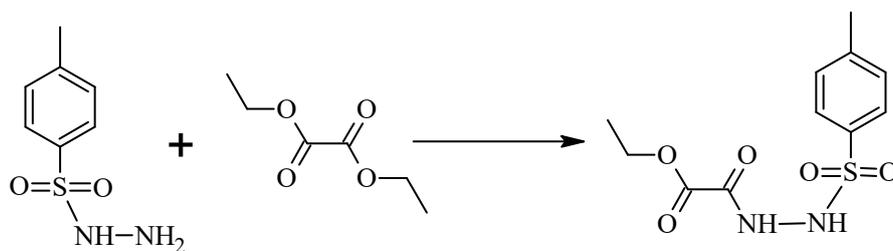
$RC(O)NHNHSO_2C_6H_4(CH_3)$ , где  $R = H, C_2H_5, C_3H_7, C_4H_9, C_6H_{13}, C_4H_9CH(C_2H_5), C_8H_{15}, C_{10}H_{21}, C_{12}H_{25}$  в аммиачных и щелочных средах с ионами цветных металлов (ЦМ) [5–7]. Было установлено, что свойства изучаемых соединений удовлетворяют требованиям, предъявляемым к потенциальным собирателям для ионной флотации цветных металлов. К настоящему времени АСГ зарекомендовали себя как перспективные хелатообразующие лиганды, образующие при комплексообразовании флотоактивные комплексы. Показана возможность использования реагентов в качестве собирателей для ионной флотации ЦМ [8, 9].

Представляет несомненный интерес исследование физико-химических и комплексообразующих свойств соединений, относящихся к ряду N-ацил-N'-(тозил)-гидразинов, отличающихся более простой и доступной в синтезе структурой ацильного радикала, которые могут быть перспективны как реагенты в промышленных процессах концентрирования ионов и минералов ЦМ.

В представленной работе изучены физико-химические и поверхностно-активные свойства этилового эфира N'-тозилгидразида щавелевой кислоты с целью исследования практического применения данного соединения в процессах концентрирования ионов ЦМ.

#### Объекты и методы

*Синтез реагента:* этиловый эфир N'-тозилгидразида щавелевой кислоты (ЭТГ) получен реакцией конденсации тозилгидразина с диэтилоксалатом в среде абсолютного метанола в присутствии метилата натрия [10] по схеме:



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

*Реактивы и оборудование:* в работе использованы стандартный  $1,0 \cdot 10^{-2}$  моль/л этанольный раствор ЭТГ, точную концентрацию которого устанавливали кондуктометрическим титрованием 0,1 моль/л раствором КОН [11]; растворы гидроксида калия (моль/л: 10,0; 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 ЭТГ 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 (Инфраспак-Аналит, Новосибирск) с комбинированным электродом ЭСК-10603/7. Для определения точной концентрации ЭТГ выполняли кондуктометрическое титрование на кондуктометре SEVENMULTIS70-K (Mettler Toledo, Швейцария). Растворимость ЭТГ в толуоле, гексане, хлороформе и воде определяли гравиметрическим методом, используя сушильный шкаф LOIP LF 60/350-VS1 и аналитические весы фирмы ACCULAB (США). Ацилсульфонилгидразины хорошо растворимы в этиловом спирте, поэтому поверхностное натяжение на границе раствор ЭТГ – воздух измеряли после-

довательным разбавлением спиртовых растворов реагента сталагмометрическим методом. Предварительно определяли поверхностное натяжение водно-спиртовых растворов без реагента.

### Результаты и обсуждение

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 ЭТГ.

Растворимость ЭТГ в воде, хлороформе, гексане и толуоле определяли гравиметрическим методом. Для этого в стеклянных бюксах готовили насыщенные растворы реагента и выдерживали их в термостатируемых условиях при  $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$  в течение 24 ч. После фильтрования отбирали аликвоты (1,0 мл), упаривали в сушильном шкафу при температуре  $(105\text{--}110)^\circ\text{C}$  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.

Растворимость ЭТГ в 0,1 моль/л растворе КОН определена спектрофотометрическим ме-

тодом в кварцевых кюветах с толщиной слоя 1,0 см [12]. С целью определения максимального светопоглощения зарегистрированы спектры поглощения раствора реагента в 0,1 моль/л КОН (рис. 1).

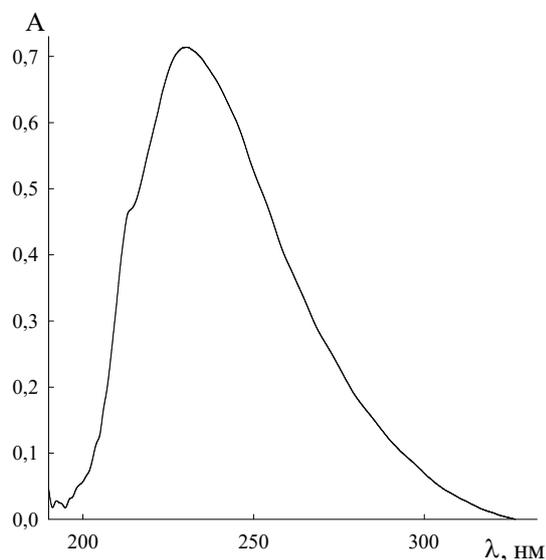


Рис. 1. Спектр поглощения  $1,0 \cdot 10^{-2}$  моль/л раствора ЭТГ в 0,1 моль/л КОН,  $l = 1,0$  см

Из рис. 1 следует, что оптимальная длина волны составляет 237 нм. В оптимальных условиях построен градуировочный график для определения растворимости реагента в 0,1 моль/л КОН, по которому рассчитан средний молярный коэффициент светопоглощения, который составил  $8405 \text{ см}^2/\text{моль}$ . Для определения растворимости ЭТГ в 0,1 моль/л растворе КОН растворитель насыщали реагентом, термостатировали при температуре  $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$  в течение 24 часов. Насыщенный раствор фильтровали через фильтр с синей лентой и после разбавления аликвоты фильтрата 0,1 моль/л раствором КОН фотометрировали в оптимальных условиях при длине волны 237 нм.

Для определения растворимости в спирте применяли изотермический метод сечений профессора Р.В. Мерцлина [13], а в качестве измеряемого физического свойства, соответст-

венно, выступал показатель преломления жидкой фазы (растворителя). В стеклянные бюксы помещали одинаковое количество растворителя массой 0,5 г, вносили переменное количество реагента для создания достаточной серии смесей взвешиванием на аналитических весах ( $\pm 2 \cdot 10^{-4}$  г). Полученные смеси в закрытых бюксах термостатировали ( $20 \pm 1^\circ\text{C}$ ) и выдерживали для насыщения жидкой фазы реагентом, как минимум, в течение 24 ч при периодическом перемешивании. Воспроизводимость значений показателя преломления свидетельствует о достижении равновесия между жидкой и твердой фазами (рис. 2). Показатель преломления жидкой фазы определен с погрешностью  $\pm 1 \cdot 10^{-4}$ .

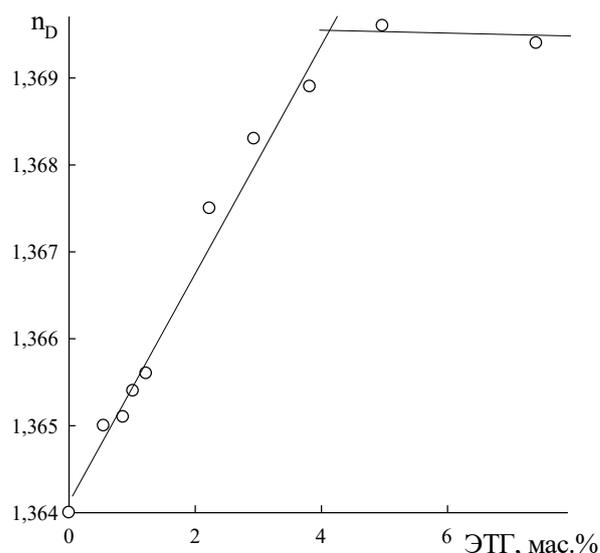


Рис. 2. Зависимость показателя преломления жидкой фазы ( $n_D$ ) от содержания ЭТГ

Данные о растворимости реагента приведены в табл. 1. ЭТГ хорошо растворяется в этиловом спирте, в водных растворах КОН, умеренно растворим – в воде, хлороформе и толуоле и совершенно не растворим в гексане.

Одним из основных требований к реагентам для использования их в процессах концентрирования цветных металлов является их ста-

бильность, в том числе химическая, во времени. Так как комплексообразование АСГ с ионами цветных металлов преимущественно происходит в щелочных средах, то актуально определить устойчивость ЭТГ в щелочных растворах. Устойчивость реагента к гидролизу определяли

спектрофотометрическим методом [14]. Щелочной раствор ЭТГ с концентрацией  $5,0 \cdot 10^{-5}$  моль/л в 0,1 моль/л растворе КОН термостатировали при температуре  $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$  в течение двух часов.

Таблица 1

Растворимость ЭТГ в некоторых средах при 20 °С, моль/л (г/л)

вода	гексан	0,1 моль/л КОН	Этиловый спирт	толуол	хлороформ
$5,94 \cdot 10^{-3}$ (1,70)	Не растворяется	$5,51 \cdot 10^{-2}$ (15,8)	$1,71 \cdot 10^{-1}$ (49,7)	$4,19 \cdot 10^{-3}$ (1,20)	$6,64 \cdot 10^{-3}$ (1,90)

Оптическую плотность исследуемых растворов измеряли на фоне холостого опыта при длине волны 237 нм. Расчет степени гидролиза ЭТГ осуществляли по формуле

$$\alpha = \frac{|A_0 - A_t|}{A_0} \cdot 100,$$

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

По истечении двух часов качественный состав изучаемого раствора ЭТГ был постоянен, что подтверждают идентичные спектры поглощения (рис. 3). Зависимость степени гидролиза от времени выдерживания раствора реагента отображена в табл. 2. По полученным результатам можно сделать вывод, что реагент проявляет достаточно высокую устойчивость в щелочной среде в течение двух часов.

Таблица 2

Степень гидролиза ( $\alpha$ , %)

0,01 моль/л раствора ЭТГ в 0,1 моль/л КОН

$\tau$ , мин	10	20	40	60	90	120
$\alpha$ , %	0,26	0,94	1,25	1,55	4,03	4,77

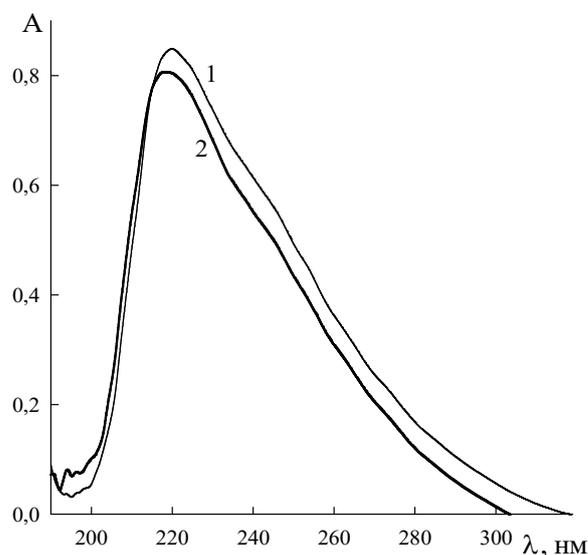


Рис. 3. Спектр поглощения  $1,0 \cdot 10^{-2}$  моль/л раствора ЭТГ в 0,1 моль/л КОН в начале (1) и через 120 мин (2) после начала исследования

Адсорбция ЭТГ на границе раздела водно-спиртовой раствор – воздух изучена с помощью сталагмометрического метода [15]. На рис. 4. приведена изотерма поверхностного натяжения ЭТГ. 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 сказыва-

ется на величине поверхностного натяжения раствора.

Введение реагента в диапазоне концентраций от  $7,81 \cdot 10^{-5}$  до  $1,0 \cdot 10^{-2}$  моль/л значительно повлияло на значения поверхностного натяжения по сравнению с фоновым раствором. ЭТГ снижает поверхностное натяжение на границе стандартный раствор – воздух более чем в два раза, поэтому реагент можно отнести к ПАВ.

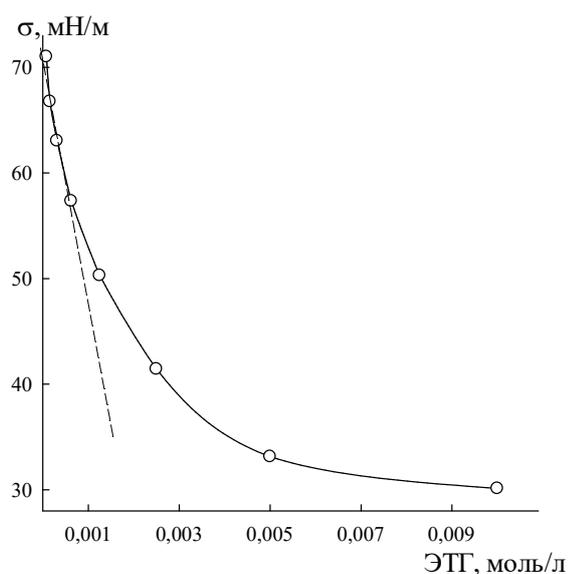


Рис. 4. Изотерма поверхностного натяжения на границе водно-спиртовой раствор ЭТГ – воздух

Значение тангенса угла наклона прямой, касательной к изотерме поверхностного натяжения водно-щелочных растворов ЭТГ в области малых концентраций соответствует значению поверхностной активности реагента. Расчет производили по формуле

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

Согласно проведенным расчетам, поверхностная активность ЭТГ составляет  $0,035 \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{моль}$ . Полученное значение согласуется с литературными данными по поверхностной активности анионных ПАВ ( $0,02\text{--}0,05 \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{моль}$ ).

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 [16]. В цилиндр объемом 50,0 мл с притертой пробкой наливали 25,0 мл раствора реагента и встряхивали в течение 60 с. После прекращения встряхивания отмечали изменения объема пены во времени. Аналогичные опыты проводили с растворами ЭТГ, разбавленными в 2, 4, 8, 16 раз и т.д. (до тех концентраций пока реагент устойчивой пены давать не будет – получающаяся пена мгновенно разрушается).

Результаты исследования представлены в табл. 4. При концентрации ЭТГ  $5,0 \cdot 10^{-3}$  моль/л происходит быстрое разрушение пены, но при уменьшении концентрации образуются малоустойчивые пены, поэтому при проведении флотации потребуется введение дополнительного пенообразователя.

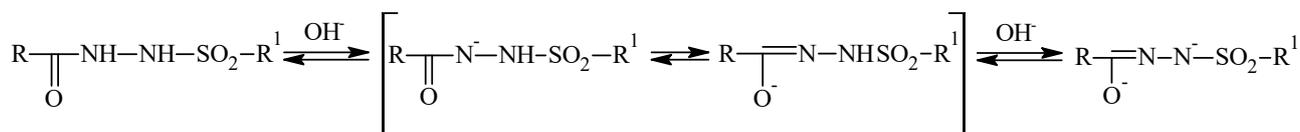
Таблица 3

**Изменение объема пены, образованной растворами ЭТГ во времени**

С <sub>ЭТГ</sub> , моль/л	τ, с				
	0	5	10	30	60
$2,50 \cdot 10^{-3}$	5	3	1	0	0
$1,25 \cdot 10^{-3}$	6	3	2	1	0
$6,25 \cdot 10^{-4}$	8	6	5	3	1
$3,13 \cdot 10^{-4}$	5	3	2	1	0
$1,56 \cdot 10^{-4}$	5	3	2	1	0
$7,80 \cdot 10^{-5}$	3	2	1	0	0
$3,90 \cdot 10^{-5}$	5	3	2	0	0

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. N-ацил-N'-сульфонилгидразины могут выступать как сла-

бые двухосновные NH-кислоты (H<sub>2</sub>L), которые можно охарактеризовать соответствующими константами кислотной диссоциации K<sub>a1</sub> и K<sub>a2</sub>.



Процесс кислотной ионизации сульфонилгидразидов сопровождается первоначальным отрывом протона NHSO<sub>2</sub>-фрагмента за счет большего акцепторного действия SO<sub>2</sub> по сравнению с группой CO [17].

Для определения констант диссоциации использован спектрофотометрический метод. Поскольку различные формы реагента имеют разное поглощение, УФ-спектры поглощения растворов ЭТГ в зависимости от pH отличаются (рис. 5), что подтверждает наличие в растворах реагента кислотно-основных равновесий.

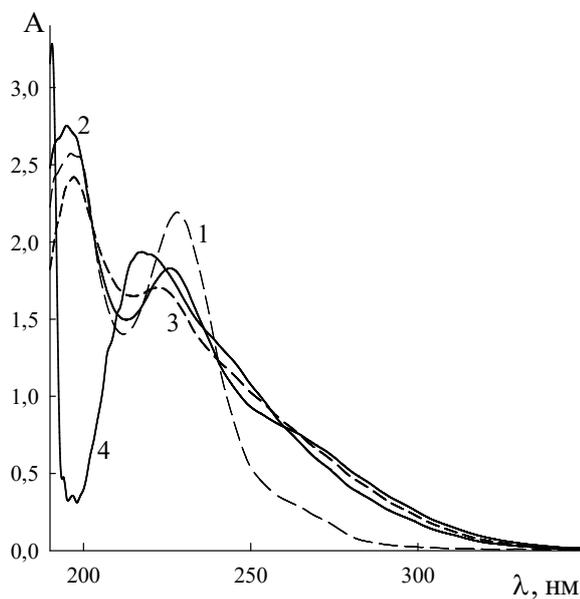


Рис. 5. Спектры поглощения 0,01 моль/л растворов ЭТГ при pH 4,4 (1); 7,4 (2); 10,0 (3); 13,0 (4).

Для расчета значений pK<sub>a1</sub> и pK<sub>a2</sub> исследуемого реагента изучена зависимость оптической плотности растворов от значений pH среды при λ = 215 нм.

В растворе теоретически при изменении кислотности наблюдаются следующие равновесия:

Для растворов ЭТГ на кривой A ~ f(pH) наблюдали 2 перегиба: первый – в области pH = 7,0–8,2, соответствующий диссоциации реагента по I ступени, а второй при pH = 12,8–15,0, соответствующий диссоциации по II ступени (рис. 6).

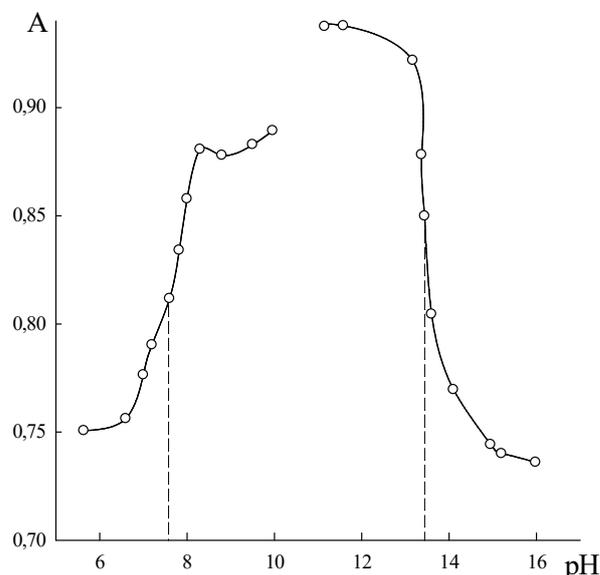


Рис. 6. Определение констант диссоциации ЭТГ (C<sub>ЭТГ</sub> = 1,0 · 10<sup>-2</sup> моль/л; λ = 215 нм)

Рассчитанные значения pK<sub>a1</sub> и pK<sub>a2</sub> составили 7,56 ± 0,14 и 13,48 ± 0,22. Из полученных значений pK<sub>a</sub> видно, что исследуемый реагент – слабая двухосновная кислота. Можно предположить, что комплексы исследуемого реагента с ионами цветных металлов должны существовать в щелочных средах. Построены распределительные диаграммы для протолитических равновесных форм реагента в зависимости от кислотности среды [18] (рис. 7).

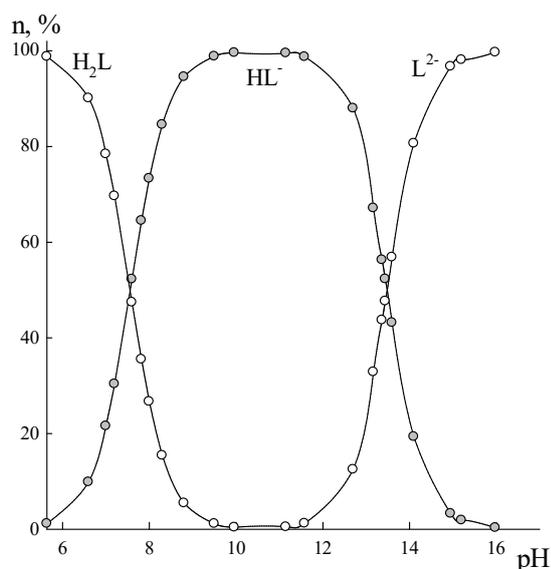


Рис. 8 Диаграмма распределения равновесных форм ЭТГ

### Заключение

1. Результаты исследования растворимости ЭТГ показали, что реагент предположительно можно использовать в процессах экстракции и флотации.
2. Исследованы кислотно-основные равновесия реагента. Доказано, что ЭТГ является

слабой двухосновной кислотой. Полученные значения  $pK_{a1}$  и  $pK_{a2}$  составили соответственно  $7,56 \pm 0,14$  и  $13,48 \pm 0,22$ . Можно предположить, что комплексообразование ЭТГ с ионами цветных металлов должно существовать в щелочных средах.

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

4. Результаты исследований поверхностно-активных свойств показали, что поверхностная активность реагента ( $G, H \cdot m^2/моль$ ) составила  $-0,035$ . Поэтому ЭТГ проявляет поверхностную активность в водно-щелочных растворах.

5. Полученные результаты исследований стабильности пенообразования показали, что ЭТГ образует небольшие по объему и малоустойчивые пены, поэтому при проведении флотации, возможно, потребуется введение дополнительного пенообразователя.

### 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. Коган В.А., Зеленцов В.В., Гэрбэлэу Н.В. и др. Современные представления о строении координационных соединений переходных металлов с органическими производными гидразина // Журнал неорганической химии. 1986. Т. 31, № 11. С. 2831–2843.
3. Мачхошвили Р.И. Координационные соединения металлов с гидразинами: дис.... д-ра хим.н. Москва: ИОНХ, 1983. 457 с.
4. Оаз С. Химия органических соединений серы. М., Химия, 1975.
5. 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. <https://doi.org/10.7868/S0044457X13010042>.
6. Ельчищева Ю.Б., Кириевская В.О., Павлов П.Т., и др. Физико-химические и комплексообразующие свойства ацилсульфонилгидразинов // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2016. Т. 7, №. 2. С. 92–101.

7. 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. <https://doi.org/10.17072/2223-1838-2019-3-212-218>.
8. 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. 754–59.
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'-(п-толуолсульфонил)-гидразинами // Журнал прикладной химии. 2012. Т. 85, № 12. С. 2005–2010.
10. Черных В.П., Макурина В.И., Петюнин П.А. Синтез и свойства аренсульфогидразидов щавелевой кислоты и ее производных // Журнал органической химии. 1975. Т. 11, № 3. С. 556–562.
11. Радушев А.В., Чеканова Л.Г., Гусев В.Ю., Сазонова Е.А. Определение гидразидов и 1,2-диацилгидразидов алифатических карбоновых кислот кондуктометрическим титрованием // Журнал аналитической химии. 2000. Т. 55, №5. С. 496–499.
12. Булатов М. И., Калинин И.П. Практическое руководство по фотометрическим методам анализа. М.: Химия, 1986. 431с.
13. 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.
14. Бернштейн. И.Я., Каминский Ю.Л. Спектрофотометрический анализ в органической химии. Л.: Химия, 1986. 116 с.
15. Абрамзон А.А., Бочаров В.В., Гаевой Г.М. Поверхностно-активные вещества. Л.: Химия, 1979. 376 с.
16. Елесина В.В., Балабанова С.С., Верещагин А.Л. Получение и изучение устойчивости пен. Бийск: БТИ АлтГТУ, 2018. 17 с.
17. Черных В.П., Макурина В.И. Реакционная способность замещенных амидов и гидразидов ароматических сульфокислот // Реакционная способность органических соединений. 1977. Т. 14, № 1, С. 106–115.
18. Пешкова В.М., Громова М.И. Методы абсорбционной спектроскопии в аналитической химии. М.: Высшая школа, 1976. 280 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)

**Ольга Александровна Посохина**, студент, кафедра аналитической химии и экспертизы, Пермский государственный национальный исследовательский университет (614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15), [posohinaolya@gmail.com](mailto:posohinaolya@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

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила 8 февраля 2023 г.; одобрена 16 февраля 2023 г.; принята к публикации 6 марта 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. Kogan, V.A., Zelentsov, V.V., Gerbeleu, N.V. and Lukov, V.V. (1986), "Modern concepts of the structure of coordination compounds of transition metals with organic derivatives of hydrazine", *Russian Journal of Inorganic Chemistry*, vol. 31, no. 11, pp. 2831–2843 (in Russ.).
3. Machkhoshvili R.I. (1983) "Coordination compounds of metals with hydrazines", Dissertation of Doctor of Chemical Sciences, Moscow.
4. Oae Sh. (1975) "Chemistry of organic sulfur compounds", Khimiya, Moscow. (in Russ.).
5. 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.).
6. 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.).
7. Vasiliev, V.S., Yelchishcheva, Yu.B., Pavlov, P.T., Chekanova, L.G. (2019), "Physicochemical properties of N-(2,2-dimethylpropanoyl) -N'-(p-toluenesulfonyl) hydrazine", *Bulletin of Perm University. Series "Chemistry"*, Perm, vol. 9, no. 3, pp.212–218. (in Russ.).
8. 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.).
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. Chernykh, V.P., Makurina, V.I. and Petyunin, P.A. (1975), "Synthesis and properties of arenesulfohydrazides of oxalic acid and its derivatives", *Journal of Organic Chemistry*, vol 11, no. 3, pp.556–562. (in Russ.).
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. Bulatov, M.I. and Kalinkin, I.P. (1986), *Practical guidance on photometric methods of analysis*, Moscow: Chemistry. (in Russ.).
13. Nikurashina, N.I. and Mertslin, R.V. (1969), *Metod sechenij. Prilozhenie ego k izucheniyumnogofaznogostoyaniyamnogokomponentnyhsistem* [The method of sections. Application to the study of his state multiphase multicomponent systems], Saratov University, Saratov. (in Russ.).
14. Bernstein, I. Ya., Kaminsky, Yu. L. (1986), *Spectrophotometric analysis in organic chemistry*, Khimiya, Leningrad. (in Russ.).
15. Abramzon, A.A., Bocharov, V.V. and Gaevoy, G.M. (1979), *Surfactants*, Khimiya, Leningrad. (in Russ.).
16. Elesina, V.V., Balabanova, S.S. and Vereshchagin. A.L. (2018), *Obtaining and studying the stability of foams*, Altay State Technical University, Biysk. (in Russ.).
17. Chernykh, V.P. and Makurina, V.I. (1977), “Reactivity of substituted amides and hydrazides of aromatic sulfonic acids”, *Reactivity of organic compounds*, vol. 14, no. 1, pp. 106–115 (in Russ.).
18. Peshkova, V.M. and Gromova, M.I. (1976) *Absorption spectroscopy in analytical chemistry*, Vyshaya Shkola, Moscow (in Russ.).

#### Information about the authors

**Yulia B. Elchischeva**, Candidate of Chemistry Sciences, Associate Professor, Department of Analytical Chemistry and Expertise, Perm State University (15, Bukirevast., Perm, Russia, 614990), [analtik1973@mail.ru](mailto:analtik1973@mail.ru).

**Olga A. Posokhina**, student, Department of Analytical Chemistry and Expertise, Perm State University (15, Bukirevast., Perm, Russia, 614990), [posohinaolya@gmail.com](mailto:posohinaolya@gmail.com)

**Petr T. Pavlov**, Candidate of Chemistry Sciences, Associate Professor, Department of Organic Chemistry, Perm State University (15, Bukirevast., Perm, Russia, 614990), [pavlovpt@mail.ru](mailto:pavlovpt@mail.ru)

#### Conflicts of interests

The authors declare no conflicts of interests.

*Submitted 8 February 2023; approved after reviewing 16 February 2023; accepted 6 March 2023*