

УДК 622.363

## АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ВСПЕНИВАТЕЛИ ДЛЯ ФЛОТАЦИОННОГО ОБОГАЩЕНИЯ СИЛЬВИНИТОВЫХ РУД



**Н. Н. ПАНТЕЛЕЕВА,**  
ведущий научный сотрудник,  
канд. техн. наук



**Т. М. ГУРКОВА,**  
зав. лабораторией,  
gurkova@galurgy.sp.ru



**М. Е. АЛЬТЕР,**  
научный сотрудник



**И. В. ДЕЛЮКИНА,**  
ведущий инженер

АО «ВНИИ Галургии», Санкт-Петербург, Россия

### Введение

Пенообразователи или вспениватели — поверхностно-активные органические вещества, адсорбирующиеся преимущественно на поверхности раздела жидкость–газ. Назначение вспенивателей — способствовать образованию в объеме пульпы воздушных пузырьков определенного размера, а на поверхности пульпы — достаточно устойчивого пенного слоя необходимого строения. Вспениватели оказывают следующее действие:

- способствуют диспергированию воздуха во флотационной машине;
- препятствуют коалесценции воздушных пузырьков;
- снижают (приблизительно в 2 раза) скорость подъема пузырьков воздуха в пульпе, способствуя их лучшей минерализации;
- повышают прочность прилипания флотирующихся минеральных частиц к пузырькам воздуха;
- способствуют образованию трехфазной флотационной пены определенных свойств и характера [1].

Огромное влияние на свойства пены оказывают: тип руды, качество воды (при обогащении водонерастворимых ископаемых) и тип собирателя [2].

При проведении флотации сильвина (КС) из сильвинитовой руды процесс протекает в насыщенном солевом растворе  $\text{KCl-NaCl}$ . При этом алифатические амины, являющиеся собирателями сильвина, находятся в коллоидно-мицеллярном состоянии и

Приведены результаты исследований по изысканию новых вспенивателей, входящих в состав катионного собирателя для флотации сильвина, альтернативных применяемым в настоящее время на фабриках ПАО «Уралкалий» гликолевому эфиру (флотовфабрики Березниковского участка Верхнекамского месторождения) и смеси оксаля и полиэтиленгликоля (флотовфабрики Соликамского участка). Определены наиболее перспективные вспениватели с позиции эффективности флотации и стоимости реагентов.

**Ключевые слова:** флотация, сильвинит, собиратель сильвина — эмульсия амина, вспениватели, насыщенный солевой раствор, шламы.

**DOI:** <http://dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.04.12>

обладают достаточными пенообразующими свойствами. Поэтому основной задачей вспенивателей при катионной флотации водорастворимых полезных ископаемых является диспергирование мицеллярных структур собирателя, активирующее его закрепление на мицеллярных частицах [3, 4]. Применение вспенивателей, сочетающих пенообразующие свойства и способность улучшать коллоидные свойства собирателя в жидкой флотационной фазе, создает наилучшие условия для флотации минеральных частиц катионными собирателями.

Для флотации минерального сырья предложено более 200 видов пенообразователей [5]. Пенообразующая способность вспенивателей зависит от их природы и концентрации.

Молекулы вспенивателей являются полярно-аполярными (дифильными). В качестве вспенивателей могут использоваться спирты нормального и циклического строения, альдегиды, фенолы, гликоли, органические кислоты и их производные, эфиры и т. д. [1, 5–8].

На флотовфабриках Соликамского участка Верхнекамского месторождения в качестве вспенивателя применяют реагент «Оксаль» или Т-66, Т-92 (ТУ 2452-029-05766801-94). Он является продуктом переработки высококипящих побочных продуктов производства диметилдиоксана (смесь спиртов диоксанового ряда). Применяется совместно с полиэтиленгликолем.

На флотовфабриках Березниковского участка Верхнекамского месторождения используют гликолевый эфир [9] либо отечественный (ТУ 38-0567858-05-94), либо китайского производства. Он является 2,2,4-триметил-пентадиол-1,3-моноизобутиратом и уменьшает расход амина по сравнению с применением реагента «Оксаль».

На флотовфабриках Республики Беларусь (г. Солигорск) в качестве вспенивателя достаточно эффективно применяется сосновое масло [6] (смесь терпеновых спиртов, терпеновых угле-

**Таблица 1. Химический состав (%) руд Соликамского и Березниковского участков Верхнекамского месторождения (средние значения из двух параллельных определений)**

Проба	KCl	Н. о.	MgCl <sub>2</sub>
Руда СКПРУ-3	25,44	1,70	—
Руда БКПРУ-3	29,63	3,70	0,017

**Таблица 2. Состав нерастворимого остатка из руд Соликамского и Березниковского участков Верхнекамского месторождения**

Нерастворимый остаток из руды	СКПРУ-3	БКПРУ-3
Общее содержание, %	1,8	3,67
Диспергированный «свободный», %	0,68	1,34
Недиспергированный внутрикристаллический, %		
В том числе:	1,12	2,33
«красный»	0,21	0,51
нешламующиеся из галита	0,91	1,82

водородов, кетонов, фенолов и др., ГОСТ 6792-62), характеризующееся сильным специфическим запахом и высокой стоимостью. Проходили испытания вспенивателя СФК (спиртовой фракции кислот, получаемой в качестве побочного продукта при окислении циклогексана при производстве капролактама, ВТУ 6-03-5-1-76), не давшие явного положительного эффекта.

Для использования в калийной промышленности были рекомендованы также производные полиэтиленгликоля (реагенты ОП-4 (ВТУ V-298-52), ОП-7 и ОП-10 (ГОСТ 8433-57), представляющие собой смесь полиэтиленгликолевых эфиров моно- и диоктилфенолов.

В последние годы поиск новых вспенивателей не прекращается, реагенты выпускаются как отечественными, так и зарубежными фирмами (Clariant, Cytec и др.) [10–13].

#### Исследования по изысканию новых вспенивателей

Основным требованием к вспенивателям при флотации водорастворимых солей является их диспергирующее влияние на коллоидно-мицеллярное состояние аминов в насыщенных солевых растворах хлоридов калия и натрия, поэтому их применяют в виде совместной водной эмульсии амин — вспениватель — полярный реагент при расходе вспенивателя 20–40 % расхода амина. Подача вспенивателя в эмульсию амина обеспечивает введение в солевой раствор диспергированного раствора собирателя, что активирует флотацию сильвина.

Применяемый на флотофабриках Березниковского участка вспениватель — гликолевый эфир является водонерастворимым реагентом. Его можно использовать только в виде эмульсии с амином, диспергируя мицеллы последнего. Улучшение коллоидного состояния аминов в присутствии гликолевого эфира повышает сорбционные свойства собирателя на поверхности минеральных частиц и их флотирруемость [14].

Применяемый на флотофабриках Соликамского участка Верхнекамского месторождения вспениватель «Оксаль» является во-

дорастворимым реагентом. Он образует с амином более крупные мицеллы, и расход амина для обеспечения эффективной флотации KCl возрастает. Возможна индивидуальная подача реагента в питание основной сильвиновой флотации.

Для сравнения пенообразующих свойств различных применяемых вспенивателей, а также новых, выпускаемых в России и за рубежом, авторами были проведены исследования, ставящие своей целью сопоставление свойств реагентов для выявления наиболее перспективных. В качестве амина использовали Armeen HT производства фирмы Akzo Nobel, в качестве активатора — каталитический газоль (КГ).

Опыты по сравнению вспенивающих свойств различных пенообразователей проводили на двух пробах руд Верхнекамского месторождения (Соликамского и Березниковского участков), отличающихся по содержанию хлористого калия и состава нерастворимого остатка (н. о.), а также по составу последнего. Химический анализ двух типов руд и соотношение минеральных составляющих нерастворимого остатка приведены в табл. 1 и 2.

Нерастворимый остаток сильвинитовых руд состоит из глинистых минералов (иллит, хлорит), выводимых в цикле шламовой флотации (в дальнейшем «свободный» шлам), и внутрикристаллического н. о. в виде «красного» н. о., находящегося в сильвине (гематит, гетит и другие аморфные окислы железа), а также внутрикристаллического н. о. в галитовых отходах (кварц, калиево-полевой шпат, ангидрит, доломит). При измельчении руды и контактировании с насыщенным соевым раствором высвобождаются в основном «свободные» глинистые минералы, обладающие высокой удельной поверхностной и сорбционной активностью по отношению к амину.

Внутрикристаллический н. о. не оказывает столь сильного влияния на флотацию KCl, как «свободные» шламы.

Данные табл. 2 свидетельствуют о том, что нерастворимый остаток из руды Соликамского участка содержит в большей степени ангидрит, а нерастворимый остаток Березниковского участка — глинистые минералы.

В процессе исследований [9] было установлено, что при добавлении вспенивателей к амину происходит диспергация молекул амина, и такое улучшение коллоидного состояния аминов приводит к повышению их сорбции на частицах хлористого калия. Наибольшее увеличение сорбции наблюдается при добавлении к амину гликолевого эфира, наименьшее — «Оксалья». В присутствии глинисто-карбонатных шламов увеличение степени дисперсности амина приводит к увеличению его сорбции не только на амине, но и на шламах, в особенности при высоком содержании глинистых составляющих в шламе. Поэтому применение вспенивателей с высоким диспергирующим эффектом требует использования при флотации реагентов-депрессоров, экранирующих поверхность глинистых «свободных» шламов.

#### Лабораторные исследования на руде СКПРУ-3

Опыты по флотации руды Соликамского участка Верхнекамского месторождения крупностью (–1,4+0) мм проводили во флотомашине кипящего слоя с объемом камеры 1400 мм; навес-

ка руды составляла 400 г, средняя крупность руды — 0,555 мм. Предварительно руду подвергали флотационному обесшламливанию при расходе флокулянта (Аккофлок А-110) 7,5 г/т и собирателя шламов неонла АФ 9-25 — 20 г/т руды.

В качестве вспенивателей применяли:

- гликолевый эфир (30 % количества амина);
- смесь «Оксаля» (33 %) и полиэтиленгликоля (ПЭГ, 11 %) — стандартный режим обогатительных фабрик Соликамского участка Верхнекамского месторождения;

— стандартный режим обогатительных фабрик Соликамского участка Верхнекамского месторождения;

- флотанол С-07 (30 %) (полипропиленгликоль) производства фирмы Clariant;
- реагент ФРИМ-2ПМ (30 %), применяется для обогащения полиметаллических руд, смесь алифатических спиртов нормального и изостроения;
- смесь 2 ПМ (33 %) — производное реагента ФРИМ-2ПМ и ПЭГ 11 %.

- реагенты фирмы Cytec: OPFх-95 (смесь спиртов и гликолевого эфира); OPF-507 (смесь полигликолей); OPF-597 (смесь спиртов, альдегидов, эфиров, полигликолей и полиэтиленгликоля).

Готовили эмульсии амина, вспенивателя и активатора с массовой долей амина 0,5 %, во всех случаях добавка каталитического газойля (активатор) составляла 30,5 %. Поскольку режим шламовой флотации во всех случаях был идентичным, эффективность действия испытанных вспенивателей оценивали по показателям сильвиновой флотации.

Данные по обогащению руды СКПРУ-3 приведены на **рис. 1**.

Очевидно, что наилучшие результаты дает использование в качестве вспенивателей гликолевого эфира и флотанола. Применение «Оксаля» в смеси с ПЭГ увеличивает расход амина, требуемый для достижения аналогичного извлечения более чем в два раза.

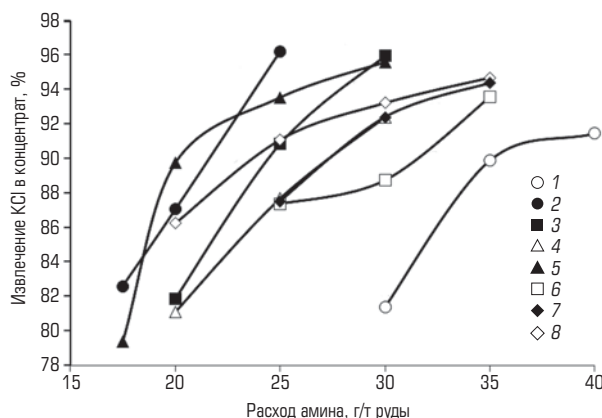
### Лабораторные исследования на руде БКПРУ-3

Опыты по флотации руды Березниковского участка Верхнекамского месторождения крупностью (–1,4+0) мм также проводили в флотомашине кипящего слоя с объемом камеры 1400 мм; навеска руды составляла 400 г, средняя крупность руды — 0,53 мм.

Поскольку руда Верхнекамского месторождения обладает более высоким содержанием нерастворимого остатка, и в его составе преобладают глинистые фракции, то после шламовой флотации (расход Аккофлора А-110 — 7,5 г/т руды и этомина НТ/40 — 15 г/т) в питание сильвиновой флотации необходимо подавать депрессор шламов КС-МФ. Расход депрессора в опытах составлял 50 г/т руды.

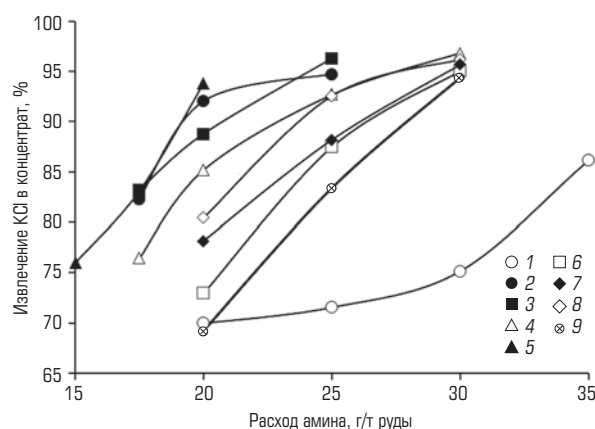
Для опытов готовили амины с добавкой девяти видов вспенивателей. Кроме вспенивателей, испытанных для обогащения руды СКПРУ-3, для обогащения руды БКПРУ-3 применяли также сосновое масло МС-70. Результаты опытов представлены на **рис. 2**.

Очевидно, что при обогащении руды БКПРУ-3 наиболее эффективными из испытанных вспенивателей оказались гликоле-



**Рис. 1.** Влияние расхода амина на извлечение КС1 в концентрат при флотации руды СКПРУ-3 с применением различных вспенивателей:

- 1 — «Октябрь» + ПЭГ; 2 — гликолевый эфир; 3 — флотанол С-07; 4 — OPF-507; 5 — OPFх-95; 6 — OPF-597; 7 — ФРИМ-2ПМ; 8 — ФРИМ-2ПМ + ПЭГ



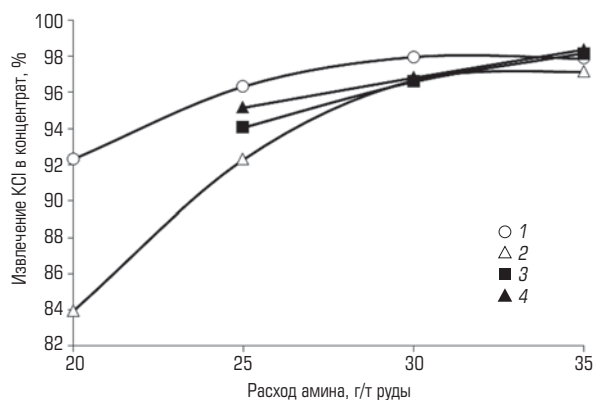
**Рис. 2.** Влияние расхода амина на извлечение КС1 в концентрат при флотации руды БКПРУ-3 с применением различных вспенивателей:

- 1 — «Октябрь» + ПЭГ; 2 — гликолевый эфир; 3 — флотанол С-07; 4 — OPF-507; 5 — OPFх-95; 6 — OPF-597; 7 — ФРИМ-2ПМ; 8 — ФРИМ-2ПМ + ПЭГ; 9 — МС-70

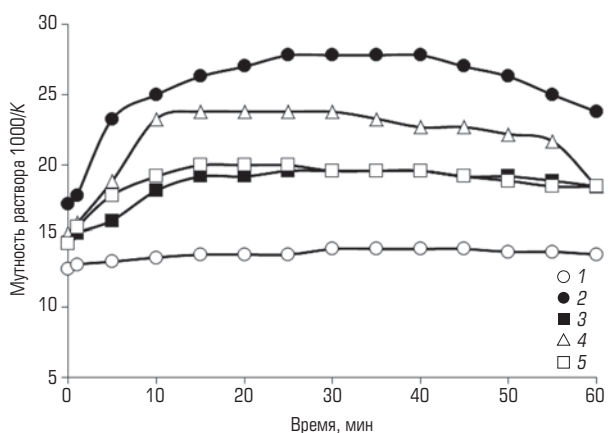
вый эфир, флотанол С-07 производства фирмы Clariant и реагент OPFх-95 производства фирмы Cytec.

Поскольку на флотовых фабриках Республики Беларусь в качестве вспенивателя успешно применяют сосновое масло, для выбора оптимального состава последнего были проведены отдельные опыты с использованием сосновых масел биохимического холдинга «Оргхим», содержащих различное количество терпеновых масел.

Опыты проводили на руде БКПРУ-4 крупностью –1,4+0 мм с содержанием КС1 28,85 % и н. о. 5,8 %, средняя крупность руды — 0,57 мм. В цикл шламовой флотации подавали флокулянт А-110 (17,5 г/т руды) и неонла АФ 9-20 (20 г/т руды). Расход депрессора КС-МФ, подаваемого в питание сильвиновой флотации, составлял 100 г/т руды.



**Рис. 3. Влияние расхода амина на извлечение КСІ в концентрат при флотации руды БКПРУ-4 с применением различных образцов соснового масла:**  
 1 — гликолевый эфир; 2 — Terpine 60;  
 3 — Terpine 70; 4 — Terpine 95



**Рис. 4. Влияние различных вспенивателей на коллоидные свойства амина (с добавкой активатора — каталитического газойля):**  
 1 — «Оксаль»; 2 — гликолевый эфир; 3 — флотанол С-07;  
 4, 5 — реагенты OPF-507 и OPF-597 соответственно

В качестве собирателя сильвина использовали амин БАТЗ № 4 С<sub>17-20</sub> с добавкой вспенивателей (25 %) и активатора каталитического газойля (20 %). Сосновые масла сравнивали с гликолевым эфиром, показавшим наилучшие результаты по данным предыдущих исследований для руд двух типов. Результаты опытов приведены на рис. 3. Видно, что с увеличением количества терпеновых масел в составе вспенивателя от 60 до 95 показатели флотации улучшаются. В то же время добавление к амину гликолевого эфира дает более высокие результаты, чем применение сосновых масел.

Таким образом, наиболее эффективными из испытанных вспенивателей, которые могут рассматриваться как альтернатива гликолевому эфиру, являются флотанол С-07 производства фирмы Clariant, OPFх-95 и OPF-507 производства фирмы Cytex, а также сосновое масло с высоким содержанием терпеновых кислот.

Расчет затрат на реагенты с учетом расхода собирателя и стоимости реагентов показал, что это соотношение следующее: «Оксаль» + ПЭГ : гликолевый эфир : флотанол С-07 : OPFх-95 = 1 : 0,746 : 0,989 : 0,843.

Как указывалось выше, флотационная активность и избирательность действия эмульсии алифатических аминов зависят от их дисперсности в жидкой солевой фазе. Дисперсность определяет количество наиболее флотоактивных ионов собирателя и равномерность покрытия ими поверхности минералов. Влияние вспенивателей на размер пузырьков воздуха и стабильность пены изучается различными исследователями [15–17].

Коллоидное состояние амина с добавлением различных вспенивателей, показавших наилучшие результаты в процессе флотации хлористого калия, оценивали, измеряя мутность раствора амина во времени. После добавления амина в насыщенный солевой раствор суспензию перемешивали, включали секундомер и фиксировали мутность раствора каждые 5 мин. Объемная концентрация амина в жидкой фазе составляла 82,3 мг/л насыщенного солевого раствора.

После определения коэффициента светопропускания  $K$ , изменяющегося в интервале от 0 до 100 %, рассчитывали величину, обратную коэффициенту светопропускания ( $1000/K$ ), характеризующую мутность насыщенного солевого раствора, и строили зависимость  $1000/K = F(\tau)$ . По полученной зависимости оценивали коллоидное состояние амина во времени (рис. 4), которое характеризовалось несколькими этапами изменения мутности:

- *первый этап* — процесс мицеллообразования, характеризующийся повышением мутности раствора (увеличением количества диспергированных мицелл);
- *второй этап* — конец мицеллообразования и получение устойчивой эмульсии; при этом мутность раствора некоторое время не изменяется;
- *третий этап* — агрегирование мицелл и их высаливание; при этом мутность раствора снижается.

Во всех случаях расход вспенивателей составлял 25 % количества амина и каталитического газойля 25 %. В качестве вспенивателей применяли «Оксаль», гликолевый эфир, флотанол С-07, реагенты OPF-597 и OPF-507.

Из рис. 4 видно, что наиболее сильным диспергирующим действием из испытанных образцов вспенивателей обладает гликолевый эфир; наиболее слабым — «Оксаль». Флотанол С-07 и реагенты фирмы Cytex занимают промежуточное положение и обладают более сильным диспергирующим действием по сравнению с «Оксалем».

### Выводы

Выявленные реагенты (флотанол С-07 и реагенты фирмы Cytex) значительно активируют флотацию хлористого калия и примерно в 2 раза снижают расход амина по сравнению с использованием смеси «Оксаль» и полиэтиленгликоля. Это способствует уменьшению затрат на производство хлористого калия, несмотря на более высокую их стоимость по сравнению со смесью «Оксаль» + ПЭГ. Все вспениватели, показавшие наибольшую

эффективность действия, характеризуются высоким диспергирующим действием на коллоидно-мицеллярные структуры амина в насыщенном солевом растворе. Усиление диспергирующего действия на амин приводит к повышенной сорбции последнего не только на сильвине, но и на нерастворимых примесях руды, находящихся как в диспергированном виде, так и на поверхности со-

левых частиц в воде шламовых образований. В связи с этим применение вспенивателей такого типа должно осуществляться с предварительной добавкой в питание сильвиновой флотации депрессора шламов. О важности взаимного влияния вспенивателей, депрессоров шламов и собирателей сильвина указывал еще в 2000 г. Дж. Ласковский [18].

**Библиографический список**

1. Князева А. А. Калийные соли в России и их использование // Комбинированные процессы переработки минерального сырья : теория и практика : сб. науч. тр. междунар. науч.-технич. конф. — СПб., 2015. С. 58–59.
2. Gustafsson J.-O., Lima O., Данилов А. В. Влияние структуры пены на флотацию железных руд // Комбинированные процессы переработки минерального сырья: теория и практика : сб. науч. тр. междунар. науч.-техн. конф. — СПб., 2015. С. 44–45.
3. Titkov S., Sabirov R., Novoselov V. The Flotation of Water-Soluble Minerals — Peculiarities and new Technologies // Proceedings of the Symposium «100 years of flotation». — Brisbane, Australia, 2009. P. 705–802.
4. Титков С. Н. Развитие технологии флотационного обогащения водорастворимых полезных ископаемых // Горный журнал. 2007. № 8. С. 20–24.
5. Желнин А. А. Теоретические основы и практика флотации солей. — Л. : Химия, 1973. — 184 с.
6. Тусупбаев Н. К., Бектурганов Н. С. Усовершенствование технологии флотационного обогащения тонковкрапленных полиметаллических руд с применением модифицированных реагентов // Плаксинские чтения : сб. материалов. — Алматы, Казахстан, 2014. С. 242–244.
7. Тетерина Н. Н., Сабиров Р. Х., Сквирский Л. Я., Кириченко Л. Н. Технология флотационного обогащения калийных руд / под ред. Н. Н. Тетериной. — Пермь : Соликамская типография, 2002. — 484 с.
8. Yue Hua Tan, James A. Finch Surfactant Structure-Property Relationship: Effect of Alkyl Chain Length and Methyl Branch Position in Aliphatic Alcohols and Polyglycol Ethers on Bubble Rise Velocity / Proceedings of the XV Balkan mineral Processing Congress, Sozopol, Bulgaria, June 12–16, 2013. P. 423–427.
9. Титков С. Н., Гуркова Т. М., Алексеева Е. И., Пантелеева Н. Н. Взаимное влияние депрессора и вспенивателя на сорбцию собирателя на флотируемом и породообразующих минералах и флотацию сильвина // Обогащение руд. 2008. № 1. С. 20–23.
10. Иванова В. А., Митрофанова Г. В. Роль реагента Монтанол 800 при флотации апатит-карбонат-силикатных руд / X Конгресс обогатителей стран СНГ : сб. материалов, том II. — М. : МИСИС, 2015. С. 386–388.
11. Тусупбаев Н. К. Физико-химические основы создания новых реагентов для интенсификации флотации полиметаллических сульфидных руд // Комбинированные процессы переработки минерального сырья : теория и практика : сб. науч. тр. междунар. науч.-техн. конф. Санкт-Петербург, 19–20 мая 2015. — СПб., 2015. С. 16–17.
12. Pat. 8496115 USA. Foaming agent and flotation method for flotation of insoluble components of raw salts / Pedain Klaus-Ulrich ; appl. 24.01.2009 ; publ. 30.07.2013.
13. Нагарадж Девараясамудрам Р. Cytec Technology Corporation (US). Новые дитиокарбаматные агенты для пенной флотации и их использование при обогащении минеральных рудных тел ; заявл. 21.01.2008.
14. Titkov S., Sabirov R. et al. Investigation of cation flotation's activation using new reagents // Proceedings of XXVI Mineral Processing Congress, India, 2012, 3–8 September. P. 1063–1071.
15. Cho Y. S., Laskowski, J. S. Effect of flotation frothers on bubble size and foam stability // International Journal of Mineral Processing. 2002. 64 (2-3). P. 69–80.
16. Krzan M., Lunkenheimer K., Malysa K. On the influence of the surfactant's polar group on the local and terminal velocities of bubbles // Colloids and Surfaces A: physicochemical and Engineering Aspects. 2004. 250 (1-3). P. 431–441.
17. Amini G. R. Mollataheri H., Abdollahi, A. R. Raes Flotation of Sylvite in Potash Sample of Pohl Deposit in Iran // Proceedings of the XIV Balkan Mineral Processing Congress. Tuzla, 14–16 June 2011. Vol. 1. P. 179–184.
18. Laskowski J. S., Yuan X.-M., Alonso E. A. Optimisation of Collector, Slime Modifier and Frother Usage in Potash Ore Flotation // Proceedings of the XV Mineral Processing Congress. Bulgaria, June 2013. P. 71–78. **FX**

«GORNYI ZHURNAL»/«MINING JOURNAL», 2016, № 4, pp. 61–66  
DOI: <http://dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.04.12>

**Alternative frothers for flotational beneficiation of sylvinite ores**

**Information about author**

**N. N. Panteleeva**<sup>1</sup>, Leading Researcher, Candidate of Engineering Sciences

**T. M. Gурkova**<sup>1</sup>, Head of Laboratory, gурkova@galurgy.sp.ru

**M. E. Alter**<sup>1</sup>, Researcher

**I. V. Delyukina**<sup>1</sup>, Leading Engineer

<sup>1</sup> VNII Galurgy Stock Co., St. Petersburg, Russia

**Abstract**

The main requirement for frother in the flotation of water soluble salts is their dispersing effect on the colloid-micellar state of amines in the saturated salt solutions of potassium chloride and sodium, so they are used in the form of an aqueous co-emulsion amine-frother-apolar reactant at a frother flow rate of 20–40% of the amine flow rate. Feed the frother in the emulsion of amine provides an introduction to the saline solution the dispersed collector solution, that activates the flotation of sylvite.

Foaming agents or frothers are organic surfactants adsorbing themselves primarily on the liquid-gas interface surface. The purpose of frothers is to promote formation – within the slurry volume – air bubbles of some specified size and on the slurry surface – sufficiently stable foam layer of needed structure. Frothers act as follows: they promote air dispersion in a flotation cell; prevent coalescence of air bubbles; reduce velocity of rising the air bubbles in slurry (approximately 2 times), thus promoting their better mineralization; increase the adhesion strength of floating mineral particles to the air bubbles; promote formation of three-phase flotation foam with specific properties and character.

This article gives the results of research on finding new frothers which are the part of cationic collector for sylvite flotation, these frothers being the alternatives for those being used at present in the plants of “Uralkali” Public JSC, such as glycol ether (flotation plants at Berezniiki area of the Upper Kama deposit) and mixture of oxal and poly-ethylene-glycol

(flotation plants at Solikamsk area). The most promising frothers – from the viewpoint of flotation efficiency and the reagent cost – have been determined.

There are identified the most promising frother from the standpoint of flotation efficiency and cost of flotation reagents. It is shown that frothers flotanол C-07 and reagents of company Cytec are characterized by the high dispersing action on the colloidal and micellar amine structure in a saturated saline, significantly activated potash flotation and reduced by almost half consumption of the amine compared with a mixture of “Oxalyi” and polyethylene glycol that it allows to reduce the cost of production of potash, despite their higher cost as compared with a mixture of “Oxalyi” + PEG.

All frothers having high dispersion properties simultaneously help to increase the sorption properties as KCl, and the insoluble residue. Amplification of a dispersing action on the amine results in an increased sorption of the latter not only on the sylvite, but on the insoluble impurities of the ore located in a dispersed form, as well as on the surface of the salt particles and in the water slurry formations. In this regard, the use of frothers of this type must be pretreated sylvite flotation feed by sludge depressor for preventing the adsorption of a cationic collector on the surface of the sludge particles.

**Keywords:** Flotation, sylvinite, sylvite collector – amine emulsion, frothers, saturated saline solution, sludges

**References**

1. Knyazeva A. A. Kaliynye soli v Rossii i ikh ispolzovanie (potassium salts in Russia and their use). *Kombinirovannyye protsessy pererabotki mineralnogo syr'ya: teoriya i praktika : Sbornik nauchnykh trudov mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii. Sankt-Peterburg, 19–20 maya 2015* (Combined Processes in Mineral resources processing: Theory and Practice : Collection of scientific papers from International Scientific-Technical Conference. Saint-Petersburg, May 19–20, 2015). Saint Petersburg, 2015. pp. 58–59.
2. Gustafsson J.-O., Lima O., Danilov A. V. Vliyaniye struktury peny na flotatsiyu zheleznykh rud (Impact of foam structure on iron ore flotation). *Kombinirovannyye protsessy pererabotki mineralnogo syr'ya: teoriya i praktika : Sbornik nauchnykh trudov mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii. Sankt-Peterburg, 19–20 maya 2015* (Combined

Processes in Mineral resources processing: Theory and Practice : Collection of scientific papers from International Scientific-Technical Conference. Saint Petersburg, May 19–20, 2015). Saint Petersburg, 2015. pp. 44–45.

3. Titkov S., Sabirov R., Novoselov V. The Flotation of Water-Soluble Minerals – Peculiarities and new Technologies. Proceedings of the Symposium "100 years of flotation". Brisbane, Australia, 2009. pp. 705–802.
4. Titkov S. N. Razvitiye tekhnologii flotatsionnogo obogashcheniya vodorastvorimykh poleznykh iskopaemykh (Technology development for flotation concentration of water-soluble minerals). *Gornyi Zhurnal = Mining Journal*. 2007. No. 8. pp. 20–24.
5. Zhelin A. A. *Teoreticheskie osnovy i praktika flotatsii soley* (Theoretical basis and practice of salts' flotation). Leningrad : Khimiya, 1973. 184 p.
6. Tusupbaev N. K., Bekturganov N. S. Usovershenstvovanie tekhnologii flotatsionnogo obogashcheniya tonkovkraplennykh polimetallicheskikh rud s primeneniem modifitsirovannykh reagentov (Improvement of the technology of flotation concentration of finely disseminated polymetallic ores using modified reagents). *Plaksinskie chteniya : sbornik materialov* (Plaksin readings : collection of materials). Almaty, Kazakhstan, 2014. pp. 242–244.
7. Teterina N. N., Sabirov R. Kh., Skvirskiy L. Yu., Kirichenko L. N. *Tekhnologiya flotatsionnogo obogashcheniya kaliynykh rud* (Technology for flotation concentration of potassium ores). Edited by N. N. Teterina. Perm : Solikamskaya tipografiya, 2002. 484 p.
8. Yue Hua Tan, James A. Finch Surfactant Structure-Property Relationship: Effect of Alkyl Chain Length and Methyl Branch Position in Aliphatic Alcohols and Polyglycol Ethers on Bubble Rise Velocity. Proceedings of the XV Balkan mineral Processing Congress. Sozopol, Bulgaria, June 12–16, 2013. pp. 423–427.
9. Titkov S. N., Gurkova T. M., Alekseeva E. I., Panteleeva N. N. Vzaimnoe vliyaniye depressora i vspenivatelya na sorbtitsiyu sobiratelya na flotiruemom i porodoobrazuyushchikh mineralakh i flotatsiyu silvina (Mutual influence of depressor and frother on collector sorption on the flotated and rock-forming minerals and on the sylvite flotation). *Obogashchenie rud = Mineral processing*. 2008. No. 1. pp. 20–23.
10. Ivanova V. A., Mitrofanova G. V. Rol reagenta Montanol-800 pri flotatsii apatit-karbonat-silikatnykh rud (Role of Montanol-800 reagent in apatite-carbonate-silicate ore flotation). *X Kongress obogateley stran SNG : Sbornik materialov. Tom II* (The X Congress of CIS countries benefactors : collection of materials. Vol. II). Moscow : MISIS, 2015. pp. 386–388.
11. Tusupbaev N. K. Fiziko-khimicheskie osnovy sozdaniya novykh reagentov dlya intensivatsii flotatsii polimetallicheskikh sulfidnykh rud (Physical-chemical basics for creating new reagents to intensify of polymetallic sulfide ore flotation). *Kombinirovannyye protsessy pererabotki mineralnogo syr'ya: teoriya i praktika : Sbornik nauchnykh trudov mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Sankt-Peterburg, 19–20 maya 2015* (Combined Processes in Mineral resources processing: Theory and Practice : Collection of scientific papers from International Scientific-Technical Conference. Saint-Petersburg, May 19–20, 2015). Saint Petersburg, 2015. pp. 16–17.
12. Pedain Klaus-Ulrich. Foaming agent and flotation method for flotation of insoluble components of raw salts. Patent USA, No. 8496115. Applied: January 24, 2009. Published: July 30, 2013.
13. Devarayasamudram R. Nagaraj. *Novyye ditiokarbamatnye agenty dlya pennoy flotatsii i ikh ispolzovanie pri obogashchenii mineralnykh rudnykh tel* (New dithiocarbamate reagents for foam flotation and their use for concentration of mineral ore bodies). Cytec Technology Corporation (USA). Applied: January 21, 2008.
14. Titkov S., Sabirov R. et al. Investigation of cation flotation's activation using new reagents. Proceedings of XXVI Mineral Processing Congress. India, 3–8 September 2012. pp. 1063–1071.
15. Cho Y. S., Laskowski J. S. Effect of flotation frothers on bubble size and foam stability. *International Journal of Mineral Processing*. 2002. 64 (2-3). pp. 69–80.
16. Krzan M., Lunkenheimer K., Malysa K. On the influence of the surfactant's polar group on the local and terminal velocities of bubbles. *Colloids and Surfaces A: physicochemical and Engineering Aspects*. 2004. 250 (1-3). pp. 431–441.
17. Amini G. R. Mollataheri H., Abdollahi, A. R. Raes Flotation of Sylvite in potassium Sample of Pohl Deposit in Iran. Proceedings of the XIV Balkan Mineral Processing Congress. Tuzla, 14–16 June 2011. Vol. 1. pp. 179–184.
18. Laskowski J. S., Yuan X.-M., Alonso E. A. Optimisation of Collector, Slime Modifier and Frother Usage in potassium Ore Flotation. Proceedings of the XV Mineral Processing Congress. Bulgaria, June 2013. pp. 71–78.

УДК 66.061:62-501.7+661.832

## СПОСОБЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ РАСТВОРЕНИЯ СИЛЬВИНИТОВЫХ РУД НА ГАЛУРГИЧЕСКИХ ФАБРИКАХ



**В. И. ТИМОФЕЕВ**,  
заведующий лабораторией,  
[timofeev@galurgy.spb.ru](mailto:timofeev@galurgy.spb.ru)



**К. С. КИРИШ**,  
младший научный  
сотрудник



**Т. И. РУТКОВСКАЯ**,  
ведущий научный  
сотрудник,  
канд. техн. наук

АО «ВНИИ Галургии», Санкт-Петербург, Россия

### Введение

Управление расходом руды в отделении растворимости на галургических фабриках реализуется путем регулирования соотношения «руда : щелок» в целях стабильного получения раствора с заданной (высокой) степенью насыщения KCl с учетом температурного режима на стадии растворения руды с максимальным выщелачиванием из нее KCl. Для этого необходимо, чтобы количе-

Констатируя большое число и изменчивость взаимовлияющих технологических параметров добычи и обогащения калийных руд, связанные с этим потери производства, авторы предлагают и показывают основные направления оптимизации системы управления процессами подачи и выщелачивания сильвинитовых руд на основе сбалансированного регулирования соотношения «руда : щелок» в целях стабильного получения продуктивного раствора с заданной степенью его насыщения хлористым калием и минимизацией потерь KCl с галитовыми отходами.

Дано подробное описание разработанных авторами стохастической и аналитической математических моделей процесса растворения (выщелачивания) сильвинитовых руд, являющихся основой физического создания автоматизированной системы управления технологическими процессами.

**Ключевые слова:** добыча и обогащение сильвинитовых руд, соотношение «руда : щелок», выщелачивание, продуктивный раствор, потери с отходами, технологические параметры, стохастическая и аналитическая математические модели, автоматизированная система управления и контроля.

**DOI:** <http://dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.04.13>