

## ИЗУЧЕНИЕ ФЛОТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ НОВЫХ СОБИРАТЕЛЕЙ ПРИ ОБОГАЩЕНИИ ШЕЕЛИТ-СУЛЬФИДНЫХ РУД

© 2017 г. Л.А. Саматова, В.И. Рябой, Е.Д. Шепета

Институт горного дела (ИГД) ДВО РАН, г. Хабаровск

ООО «Механобр-Оргсинтез-Реагент», г. Санкт-Петербург

*Статья поступила в редакцию 31.05.16 г., доработана 29.07.16 г., подписана в печать 16.08.16 г.*

Изучены флотационные свойства образцов диалкилдитиофосфатов щелочных металлов БТФ-1552, ИМА-206, ИМА-И413. Оценены показатели обогащения с использованием реагента М-ТФ и его смеси с ИМА-И413 и ксантогенатом. На основе выполненных исследований установлено, что применение смеси собирателей ИМА-И413 и бутилового ксантогената в соотношении 5 : 1 при расходе 20 + 5 г/т позволяет повысить извлечение в медный концентрат: Cu на 0,79 %, Au на 4,1 % и Ag на 2,4 %, при снижении выхода сульфидного концентрата в 2 раза. Недостатком данной композиции реагентов является рост содержания As в медном концентрате на 0,67 %. Из испытанных образцов диалкилдитиофосфатов лучшие показатели по приросту извлечения меди и благородных металлов получены на собирателе БТФ-1552. Извлечение в медный концентрат увеличилось: Cu на 1,9 %, Au на 3,2 % и Ag на 1,8 %, при снижении выхода сульфидного концентрата в 1,4 раза. Рост содержания As в медном концентрате составил 0,34 %.

**Ключевые слова:** скарновые руды, шеелит, сульфидные минералы, флотация, селективные собиратели, аэрофлоты, ксантогенаты.

**Саматова Л.А.** — канд. техн. наук, доцент, зав. лабораторией комплексного использования минерального сырья ИГД ДВО РАН (680000, г. Хабаровск, ул. Тургенева, 51). E-mail: samatova\_luiza@mail.ru.

**Шепета Е.Д.** — канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник той же лаборатории. E-mail: elenashepeta56@mail.ru.

**Рябой В.И.** — докт. техн. наук, ген. директор ООО «Механобр-Оргсинтез-Реагент» (199155, г. Санкт-Петербург, ул. Одоевского, 24, кор. 2, оф. 130). E-mail: frim@iscl.nw.ru.

**Для цитирования:** Саматова Л.А., Рябой В.И., Шепета Е.Д. Изучение флотационных свойств новых собирателей при обогащении шеелит-сульфидных руд // Изв. вузов. Цвет. металлургия. 2017. No. 2. С. 21–28. DOI: dx.doi.org/10.17073/0021-3438-2017-2-21-28.

*Samatova L.A., Ryaboy V.I., Shepeta E.D.*

### Studying flotation properties of new collectors in scheelite-sulfide ore beneficiation

The article studies flotation properties of BTF-1552, IMA-206, and IMA-I413 alkali metal dialkyldithiophosphate samples. The article estimates beneficiation indices when using the reagent M-TF and its mixture with IMA-I413 and xanthogenate. On the basis of undertaken studies it was found that application of the mixture of IMA-I413 collectors with butyl xanthate at the ratio of 5 : 1 and the feed ratio of 20 + 5 g/t made it possible to increase the extraction into the copper concentrate: Cu by 0,79 %, Au by 4,1 % and Ag by 2,4 %, while the sulfide concentrate yield decreased by a factor of 2. The disadvantage of this reagent composition is the increase in As content in the copper concentrate by 0,67 %. Of all tested dialkyldithiophosphate samples, the best incremental indices of copper and noble metals recovery were obtained when using the BTF-1552 collector. The extraction into the copper concentrate increased: Cu by 1,9 %, Au by 3,2 %, and Ag by 1,8 %, while the sulfide concentrate yield decreased by 1,4 times. The increase in As content in the copper concentrate was 0,34 %.

**Keywords:** skarn ores, scheelite, sulfide minerals, flotation, selective collectors, aeroflot agents, xanthogenates.

**Samatova L.A.** — Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Head of Laboratory of complex mineral processing related problems, Institute of Mining FEB RAS (680000, Russia, Khabarovsk, Turgenyev str., 51). E-mail: samatova\_luiza@mail.ru.

**Shepeta E.D.** — Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher of the same Laboratory. E-mail: elenashepeta56@mail.ru.

**Ryaboy V.I.** — Dr. Sci. (Eng.), Director General LLC «Mekhanobr-Orgsintez-Reagent» (199155, Russia, Saint-Peterburg, Odoevskogo str., 24, bldg. 2, of. 130). E-mail: frim@iscl.nw.ru.

**Citation:** Samatova L.A., Ryaboy V.I., Shepeta E.D. Izuchenie flotatsionnykh svoystv novykh sobiratelei pri obogashchenii sheelit-sul'fidnykh rud. *Izv. vuzov. Tsvet. metallurgiya*. 2017. No. 2. P. 21–28. DOI: dx.doi.org/10.17073/0021-3438-2017-2-21-28.

## Введение

Территория Приморского края характеризуется многочисленными объектами вольфрамо-вой минерализации, запасы которых определяют уникальность его минерально-сырьевой базы по

вольфраму (~23 % разведанных запасов страны), представленной месторождениями разных рудно-формационных и морфогенетических типов. В настоящее время эксплуатируются скарновые шеелит-сульфидные месторождения «Восток-2» и «Лермонтовское», в которых руды являются комплексными, содержащими  $WO_3$ , Cu, Au, Ag, Bi, Te и др., близкими по минеральному составу, но различными по петрохимическим особенностям магматических пород и количественному соотношению вольфрамовой и сопутствующей медной минерализации [1, 2].

Главные минералы скарновых шеелит-сульфидных руд — шеелит, пирротин; второстепенные — халькопирит, арсенопирит, сфалерит, пирит, галенит и висмутин. Основную значимость руд этих месторождений определяет шеелит. Сульфидная минерализация, с которой связаны основные концентрации сопутствующих элементов, позволяет дополнительно к шеелитовому концентрату выпускать медный, в котором концентрируются халькопирит, золото и серебро. Вредной примесью в медном концентрате является мышьяк, представленный арсенопиритом [3].

В связи с этим актуальной задачей при извлечении сульфидных минералов является повышение селективности действия и собирательных свойств реагентов, используемых при флотации сульфидных руд. Перспективным направлением для ее решения представляется, прежде всего, применение диалкилдитиофосфатов (ДТФ), вследствие их доступности и ряда специфических особенностей флотационного взаимодействия с сульфидными минералами [4–6]. Ранее выполненные исследования по данной теме для скарновых шеелит-сульфидных руд отражены в статьях [7–9].

Целью данной работы являлось исследование флотационных свойств образцов диалкилдитиофосфатов щелочных металлов (БТФ-1552, ИМА-206, ИМА-И413) в сравнении с сочетаниями собирателей ИМА-И413 и бутилового ксантогената, диизобутилового дитиофосфата с тионокарбаматом (реагент М-ТФ) с преобладанием доли последнего и смеси М-ТФ с ксантогенатом.

## Материалы и методы исследований

Традиционная схема переработки руд на Приморской обогатительной фабрике (ПОФ) включает сульфидный, медный и последующий шеелитовый

циклы. На первой стадии флотационного обогащения выделяется коллективный сульфидный концентрат. В основном цикле решаются задачи комплексного извлечения сульфидных минералов, повышения селективного разделения халькопирита и арсенопирита и минимизации потерь шеелита с сульфидами.

В селекции для повышения контрастности разделения сульфидных минералов применяются активный уголь и ди(три)натрийфосфат. В настоящее время в качестве селективного стандартного собирателя на предприятии используется аэрофлот марки ИМА-И413.

Товарный медный концентрат содержит 16 % Cu, 0,6 % As, 32,5 г/т Au, 178 г/т Ag и 37 % S. Лабораторные опыты выполнены по стандартной схеме переработки руды на ПОФ. Исходное сырье для исследований представлено пробой скарновой руды, содержащей 0,19 % Cu, 0,04 % As, 3,80 % S, 0,5 г/т Au и 4,9 г/т Ag. Опыты поставлены на водопроводной воде с  $pH = 7,5$  в открытом и замкнутом циклах. Регуляторы среды в процесс флотации не вводились, значения  $pH_{S_{фл}} = 8,4$ ,  $pH_{Cu_{фл}} = 8,8$ .

При подборе лабораторного времени измельчения за основу взят параметр распределения меди в активный флотационный класс  $-0,08+0$  мм. При близких его величинах в измельченной руде в лабораторных и промышленных условиях обеспечивается сопоставимость распределения меди в шламах. С учетом этого продолжительность лабораторного измельчения руды (1 кг) выбрана в 20 мин. Содержание в разгрузке мельницы класса  $-0,08+0$  мм составило 76,4 %, распределение в этот класс Cu — 81,2 %, выход шламов  $-0,015+0$  мм — 19,2 %, распределение Cu — 20,7 %. При переработке данной руды на ПОФ содержание флотационного класса в питании флотации составило 63 %, распределение меди — 80,7 %, в том числе в шламах — 20,3 и 22,8 %.

Флотация в коллективном сульфидном цикле проводилась во флотомашинах с объемом камер 3,0 и 1,0 (0,5) л, в цикле медной селекции — 0,5 и 0,3 (0,1) л. Образцы собирателей диалкилдитиофосфатов (ДТФ) щелочных металлов были предоставлены ООО «Механобр-Оргсинтез-Реагент», а образец М-ТФ, смесь диизобутилового дитиофосфата с тионокарбаматом — университетом МИСиС. Рабочие растворы собирателей (1 %) готовились за сутки до проведения опытов, растворы ксантогенатов и сочетаний реагентов — непосредственно в день тестирования.

## Обсуждение результатов экспериментов

Из литературного обзора материалов по данной теме следует, что особенности действия диалкилдитиофосфатов зависят от их комплексообразующих свойств и поверхностной активности на границе раздела жидкость—газ (Ж—Г) [9—11]. Комплексообразующая способность ДТФ определяется их кислотной силой и особенностями строения хелатного цикла с катионом металла. В соответствии с этими представлениями ДТФ как соли сильной кислоты (по кислотной силе диалкилдитиофосфорные кислоты близки соляной кислоте) по сравнению, например, с ксантогенатами (Кх) — солями слабых кислот (для этилксантогеновой кислоты константа диссоциации  $K_{HR} = 3,4 \cdot 10^{-3}$ ) — способны образовывать менее прочные комплексы с катионами металлов. Исключением из этого правила являются случаи, когда происходит образование дативной  $\pi$ -связи. При использовании диалкилдитиофосфатов щелочных металлов возможность формирования  $\pi$ -связи маловероятна, в отличие от ксантогенатов, в связи с чем прочность их комплексов с катионами металлов и, соответственно, с поверхностью минералов, содержащих эти катионы, будет определяться исключительно их кислотной силой.

Образованию более слабых комплексов с катионами металлов в случае ДТФ способствует также возникновение более напряженного внутреннего 4-членного цикла вследствие его крупных размеров по сравнению, например, с ксантогенатами. Этим объясняется и большая площадь покрытия минеральной поверхности с применением ДТФ по сравнению с Кх. Для дибутилдитиофосфата натрия, по данным [10], она составляет  $70 \cdot 10^{-16} \text{ см}^2$ , а для бутилового ксантогената —  $37 \cdot 10^{-16} \text{ см}^2$ .

Различие в прочности образуемых комплексов металлов диалкилдитиофосфатов и других собирателей, например ксантогенатов, является мерой их селективности действия при разделении минералов, содержащих соответствующие катионы металлов, и в определенной степени характеристикой их собирательной способности. Чем больше различие в прочности комплексов, определяемой константой устойчивости, тем выше должна быть селективность действия реагентов. Более высокая собирательная способность реагентов соответствует большей величине константы устойчивости их комплексов с катионами металлов вследствие

того, что в этом случае формируется менее поляризованная и, соответственно, менее гидратированная химическая связь [11—13].

Аэрофлоты вследствие более высокой поверхностной активности на границе раздела Ж—Г способствуют усилению диспергации воздуха, устойчивости воздушных пузырьков и образованию микропузырьков. Из данных [14, 15] следует, что наличие микропузырьков воздуха в ряде случаев способствует повышению извлечения тонких частиц (<20 мкм) за счет возрастания скорости флотации. Однако увеличение гидратируемости поверхности пузырька снижает вероятность его контакта с гидрофобными частицами, пена становится более устойчивой, объемной, обводненной и маломинерализованной [16]. Эти особенности действия диалкилдитиофосфатов обуславливают и снижение селективности их действия за счет повышения флотиремости тонких частиц пустой породы.

Согласно результатам, полученным в ходе экспериментов, установлено, что в интервале расхода аэрофлота ИМА-И413 20—100 г/т объем концентрата основной флотации изменяется в пределах 0,3—1,5 л, соответственно, выход был 4(6) —15,5 %, а качество по содержанию меди 0,46—1,89 %. Потери шеелита на единицу выхода сульфидного концентрата составили 0,44—0,60 %.

Считается, что извлечение в пенный продукт пустой породы и шеелита, поверхность которых в сульфидном цикле гидрофильна, может происходить за счет закрепления тонких шламов на пузырьке воздуха через гидратную пленку без ее разрыва [17, 18].

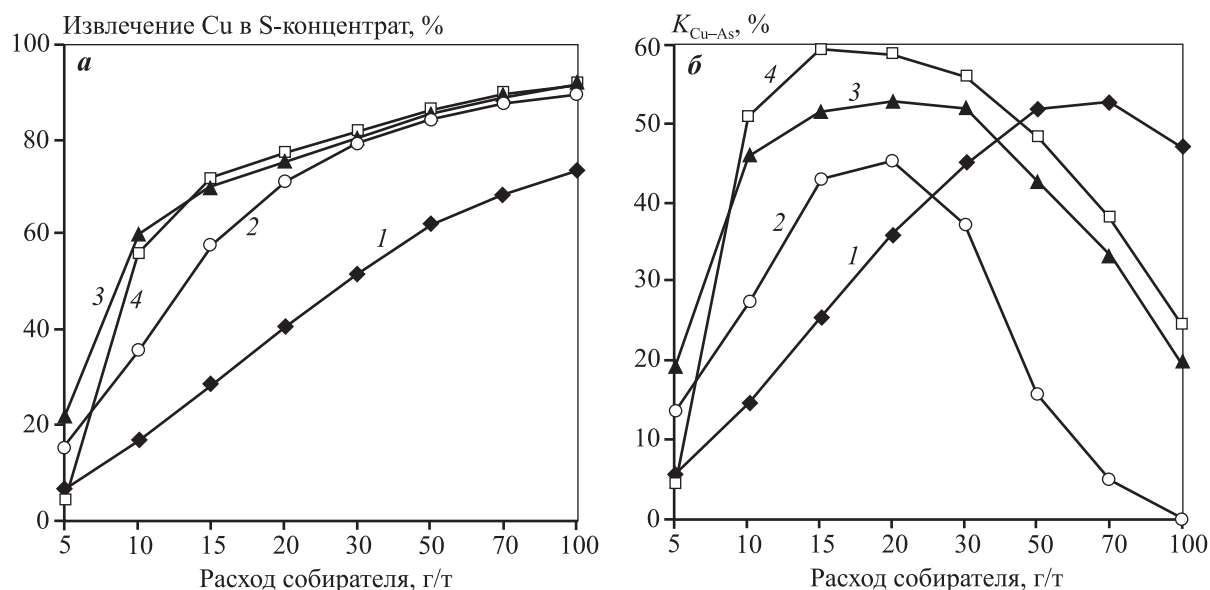
Ксантогенат в сравнении с диалкилдитиофосфатами не селективен по отношению к арсенопириту, но имеет ряд преимуществ. Выход концентрата сульфидной флотации при одинаковых расходах сравниваемых собирателей в среднем меньше в 1,7—2,6 раза, пенный слой сжат, пузырьки воздуха плотно нагружены минеральными частицами, эффективность флотации крупных минеральных зерен увеличивается. Потери шеелита на бутиловом ксантогенате значительно ниже и составляют 0,18—0,33 % на единицу выхода сульфидного концентрата.

В рамках выполненных исследований в ходе первого тестирования анализировалась флотация сульфидных минералов из скарновой шеелит-сульфидной руды при использовании собирателей марок ИМА-И413, М-ТФ и ксантогенатов.

Опыты поставлены на стадии основной сульфидной флотации при дробной подаче реагентов. Результаты представлены на рисунке. Из его данных следует, что максимальный уровень извлечения меди (89–93 %) достигается при расходе собирателей 100 г/т, однако наибольший уровень коэффициента селективности ( $K_{Cu-As}$  — разница в

извлечении Cu и As, %) соответствует интервалу расходов 15–20 г/т (этилКх — 70 г/т).

В табл. 1 представлены показатели обогащения серебра, золота и сульфидных минералов (халькопирита, арсенопирита и пирротина) при разных комбинациях собирателей. Сочетания используемых реагентов готовились в соотношении 5 (ИМА



Зависимость эффективности флотации халькопирита (а) и коэффициента селективности (б) от расхода собирателей на стадии основной флотации

1 — этилКх, 2 — бутКх, 3 — ИМА-И413, 4 — М-ТФ

Таблица 1

Показатели флотации\* сульфидов, золота и серебра с использованием разных собирателей и их сочетаний (5:1)

Собиратель	Расход, г/т	Выход, %	Содержание, %					Извлечение, %				
			Ag, г/т	Au, г/т	Cu	As	S	Ag, г/т	Au, г/т	Cu	As	S
ИМА-И413	20	3,99	56,5	5,40	3,68	0,24	16,38	45,45	44,02	75,32	23,84	17,20
	100	15,37	22,37	2,20	1,17	0,19	16,15	69,30	68,89	92,62	72,82	65,33
ЭтилКх	70	1,90	—	—	6,68	0,33	17,43	—	—	68,59	15,88	8,72
	100	2,36	89,9	8,57	5,79	0,45	19,07	42,81	38,54	73,65	25,56	11,85
БутКх	20	1,70	97,4	9,57	7,77	0,67	22,54	33,32	32,54	71,12	25,85	10,95
	100	6,00	46,0	5,03	2,78	0,66	28,88	57,15	60,34	89,87	89,33	45,65
М-ТФ	20	3,68	53,6	5,10	4,01	0,20	19,16	40,25	37,52	77,25	18,43	18,79
	100	12,02	25,52	2,77	1,46	0,22	17,04	64,70	67,92	91,71	67,20	54,54
ИМА-И413 + этилКх	20	3,74	65,1	5,87	3,94	0,19	19,17	47,74	45,05	77,08	16,08	21,50
ИМА-И413 + бутКх	15	2,93	83,2	7,85	5,06	0,28	21,06	49,06	46,88	78,06	20,53	15,99
М-ТФ + этилКх	15	2,71	82,0	6,25	5,16	0,27	19,62	44,72	33,88	71,36	18,08	14,23
М-ТФ + бутКх	15	2,91	80,2	6,25	5,12	0,41	24,37	48,01	36,75	78,84	27,60	19,00
Руда	—	—	4,90	0,50	0,19	0,04	3,80	—	—	—	—	—

\* Сульфидный концентрат основной флотации.

или М-ТФ) к 1 (Кх) при смешивании 1 %-ных растворов, затем собиратель подавался во флотацию дробно (по 5 г/т). По полученным показателям обогащения подбирался оптимальный расход сочетаний собирателей, при котором достигнут наибольший коэффициент селективности.

Повышение расхода реагентов с разной собирательной активностью в пределах 20—100 г/т (см. табл. 1) приводит к росту извлечения меди и благородных металлов в сульфидный концентрат суммарно на 66—100 %, при этом извлечение мышьяка повышается на 49—63 % (указаны данные граничных собирателей ИМА и бутКх). Вследствие этого эффективность собирательного действия реагентов на стадии основного коллективного цикла в интервале расхода реагентов 15—20 г/т (этилКх — 100 г/т) оценивалась как разность извлечения ценных минералов халькопирита, благородных металлов и вредной примеси арсенопирита, в результате чего собиратели расположились следующим образом:

$$\begin{aligned} \text{бутКх} < \text{этилКх} < \text{М-ТФ} + \text{этилКх} < \text{М-ТФ} \leq \\ &\leq \text{М-ТФ} + \text{бутКх} < \text{ИМА} < \text{ИМА} + \text{этилКх} = \\ &= \text{ИМА} + \text{бутКх}. \end{aligned}$$

Сочетание М-ТФ и ИМА-И413 с бутКх при незначительной доле последнего позволяет сохранить низкую эффективность флотации пирротина при повышении извлечения халькопирита и благородных металлов. Эти данные для скарновой руды согласуются с результатами, полученными на сульфидных мономинеральных фракциях [19].

Схема проведения экспериментов на втором этапе тестирования соответствовала стандартной

технологии обогащения руд на ПОФ — до получения конечного медного концентрата. Опыты поставлены в открытом цикле. Дополнительно исследованы флотационные свойства аэрофлотов БТФ-1552 и ИМА-206. В табл. 2 приведены результаты обогащения сульфидных минералов при расходах реагентов, обеспечивших наибольшую степень селективности ( $K_{\text{Cu-As}}$ ).

Прирост извлечения по меди в конечный концентрат получен в пределах 8,4—1,3 % на собирателях БТФ-1552, ИМА-206, М-ТФ, ИМА-И413 + бутКх при повышении содержания мышьяка соответственно на 0,02—0,63 % по сравнению со стандартным образцом ИМА-И413 (см. табл. 2). Близкие свойства по селективности относительно стандартного собирателя показал ИМА-206: снижение содержания меди в медном концентрате на 2 % и незначительный прирост содержания мышьяка на 0,02 %.

Корреляция эффективности флотации ценных минералов (халькопирита, золота, серебра) и вредной примеси арсенопирита в лабораторных и промышленных условиях достигается при проведении опытов в замкнутом цикле. Результаты тестирования в данном режиме представлены в табл. 3. Расход собирателей — стандартный для всех образцов, составивший в коллективном цикле 20 + 5 г/т.

По активности — суммарному извлечению меди и благородных металлов с учетом извлечения арсенопирита (см. табл. 3) — собиратели расположились в ряду:

$$\begin{aligned} \text{S-цикл: } \text{М-ТФ} < \text{ИМА-206} < \text{ИМА-И413} < \\ &< \text{ИМА} + \text{бутКх} < \text{БТФ-1552}; \end{aligned}$$

Таблица 2

**Показатели обогащения сульфидов по коллективно-селективной схеме опытов открытого цикла**

Собиратель	Расход, г/т	Медный концентрат			Сульфидный концентрат					
		Содержание, мас. %		Извл. Cu, %	Выход, %	Извлечение, %				$K_{\text{Cu-As}}$
		Cu	As			Cu	As	S	WO <sub>3</sub>	
ЭтилКх	100 + 25	25,31	0,81	57,43	1,58	68,28	16,74	12,58	0,47	51,54
БутКх	30 + 10	26,0	1,46	56,87	1,55	71,32	25,48	18,74	0,46	45,84
ИМА-И413	20 + 5	23,6	0,38	59,31	2,91	76,16	20,19	25,63	1,37	55,97
ИМА + этилКх	20 + 5	24,0	0,70	58,55	2,73	75,53	28,32	29,35	0,86	47,21
ИМА + бутКх	20 + 5	25,50	1,01	60,59	2,43	79,41	36,09	26,24	0,69	43,32
М-ТФ	20 + 5	23,78	0,57	60,67	3,07	77,89	21,15	25,68	1,05	56,74
БТФ-1552	20 + 5	25,23	0,71	67,72	1,70	77,23	27,73	17,56	0,68	49,50
ИМА-206	20 + 5	21,64	0,40	62,63	1,42	74,63	20,03	14,66	0,57	54,60

Таблица 3

**Показатели обогащения сульфидных минералов и благородных металлов в замкнутом цикле обогащения**

Собиратель	Выход, %	Содержание, мас. %				Извлечение, %				
		Cu	As	Au, г/т	Ag, г/т	Cu	As	S	Au, г/т	Ag, г/т
Коллективный сульфидный концентрат (S-цикл)										
ИМА-И413	6,02	2,65	0,28	4,83	23,39	79,89	42,94	44,91	52,48	69,10
М-ТФ	3,91	3,94	0,35	6,08	29,49	78,95	33,40	33,91	43,62	55,55
БТФ-1552	4,18	3,72	0,39	6,97	33,53	80,34	38,40	35,59	52,95	69,24
ИМА- 206	3,31	4,69	0,45	8,29	42,17	79,27	36,31	34,88	46,24	68,62
ИМА + бутКх	2,97	5,28	0,69	10,19	50,12	81,37	51,23	32,35	56,52	72,91
Медный концентрат (Cu-цикл)										
ИМА-И413	0,78	19,20	0,50	28,0	140,1	75,42	9,87	7,61	39,44	53,63
М-ТФ	0,84	17,45	0,51	22,0	117,7	75,11	10,60	8,48	33,88	47,64
БТФ-1552	0,85	17,70	0,84	27,60	132,0	77,33	17,00	8,28	42,66	55,42
ИМА- 206	0,90	16,53	0,77	24,6	125,9	75,69	16,91	9,75	37,30	55,71
ИМА + бутКх	0,76	19,32	1,17	30,7	150,5	76,21	22,35	6,94	43,56	56,02

Cu-цикл: М-ТФ < ИМА-206 < ИМА + бутКх <  
< БТФ-1552 ≤ ИМА-И413.

По извлечению меди и благородных металлов аэрофлот БТФ-1552 по уровню показателей схож со смесью реагентов ИМА + бутКх, но с более высоким коэффициентом селективности. Относительно стандартного собирателя реагент БТФ-1552 обеспечил суммарный прирост в медный концентрат извлечения ценных минералов на 6,9 % при повышении содержания мышьяка в медном концентрате на 0,34 %. Снижен выход коллективного сульфидного концентрата в 1,4 раза, что обеспечило сокращение потерь WO<sub>3</sub> с сульфидами на 0,8 %, а также уменьшение объема циркуляции в медной селекции.

На собирателе ИМА-206 в опытах открытого цикла извлечение меди и благородных металлов в медный концентрат соответствовало стандартному образцу. В замкнутом цикле на образце ИМА-206 получено более низкое (на 2,7 %) качество медного концентрата, а содержание мышьяка в нем выросло на 0,27 %. На стадии коллективного цикла за счет снижения выхода сульфидного концентрата извлечение арсенопирита оказалось ниже, чем на собирателе ИМА-И413.

При расходе 20 + 5 г/т аэрофлот М-ТФ показал одинаковый с ИМА-И413 уровень селективности к арсенопириту, но с более низким извлечением меди и благородных металлов. Установлено, что для повышения извлечения ценных металлов на

реагентах с существенной долей тионокарбамата требуются более высокие концентрации собирателя в пульпе при индивидуальном использовании реагента либо его применение в сочетании с более сильными сульфгидрильными собирателями (ксантогенатами, дитиофосфатами).

## Заключение

Изучение флотационных свойств представленного сульфидного ряда собирателей по технологии обогащения руд месторождения «Восток-2» позволяет выделить образец диалкилдитиофосфата БТФ-1552, который обеспечивает максимальные показатели извлечения ценных минералов в медный концентрат при расходе собирателя 20 + 5 г/т.

Исследования с указанным реагентом продолжаются с целью разработки его промышленного использования.

## Литература

1. Krymsky R.Sh., Belyatsky B.V., Levsky L.K., Rub M.G. Age and genesis of scheelite ore deposit Vostok-2 (Primorie) with references to Rb—Sr and Sm—Nd isotope data // Mineral deposits: Research and exploration where do they meet: Proc. 4-th Biennial SGA Meeting (Turku, 11—13 Aug. 1997). Rotterdam: Balkema, 1997. P. 651—653.
2. Gvozdev V.I. The arminsky ore district // Metallogeny of the pacific northwest: tectonics, magmatism and metallo-

- geny of active continental margins. Vladivostok: Dalnauka, 2004. P. 87—97.
3. *Гвоздев В.И.* Рудно-магматические системы скарновых шеелит-сульфидных месторождений Востока России. Владивосток: Дальнаука, 2010.
  4. *Игнаткина В.А.* Развитие теории селективности действия сочетаний собирателей при флотации труднообогатимых руд цветных металлов: Автореф. дис. докт. техн. наук. М.: МИСиС, 2011.
  5. *Кондратьев С.А.* Оценка флотационной активности реагентов-собирателей // Обогащение руд. 2010. No. 4. С. 24—30.
  6. *Игнаткина В.А.* Выбор селективных собирателей при флотации минералов, обладающих близкими флотационными свойствами // Изв. вузов. Цвет. металлургия. 2011. No. 1. С. 3—10.
  7. *Шепета Е.Д., Саматова Л.А., Рябой В.И.* Особенности использования ксантогенатов и диалкилдитиофасфатов при флотации сульфидов // Прогрессивные методы обогащения и комплексной переработки природного и техногенного минерального сырья: Тр. Междунар. совещ. «Плаксинские чтения-2014» (Респ. Казахстан, г. Алматы, 16—19 сент. 2014). Стенд. докл.
  8. *Ryaboy V., Kretov V., Smirnova E.* The usage of dialkyldithiophosphates in flotation of sulphide ores // Proc. XV Balkan Miner. Process. Congr. (Sozopol, Bulgaria, June 12—16, 2013). P. 419—422.
  9. *Ryaboy V., Shepeta E., Kretov V., Golikov V.* New dialkyldithiophosphates in flotation of copper, gold and silver containing ores // Proc. XXVII Int. Miner. Process. Congr. (Santiago, Chile, 2014). P. 1—8.
  10. *Митрофанов С.И.* Селективная флотация. М.: Металлургиздат, 1953. С. 111—114.
  11. *Ryaboy V.I., Zhivankov G.V., Shenderovitch V.A., Zlobin M.N., Zaskevitch M.N.* Improvement of diamond recovery in froth separation of kimberlite ore with the help of flotation reagents // Proc. XX Int. Miner. Process. Congr. (Aachen, 1997). Vol. 3. P. 437—445.
  12. *Pan Lei, Jung Sunghwan, Yoon Rol-Hoan.* A fundamental study on the role of collector in the kinetics of bubble-particle interaction // Int. J. Miner. Process. 2012. Vol. 106-109. P. 37—41.
  13. *Амерханова Ш.К., Шляпов Р.М., Уали А.С.* Оценка флотационной активности смеси фосфоросодержащих собирателей // Изв. вузов. Цвет. металлургия. 2015. No. 3. С. 15—27.
  14. *Сорокин М.М.* Флотационные методы обогащения. Химические основы флотации. М.: ИД «МИСиС», 2011. С. 160—162.
  15. *Саматова Л.А., Шепета Е.Д., Рябой В.И.* Повышение извлечения цветных и благородных металлов при флотации шеелит-сульфидных руд // ФТПРПИ. 2013. No. 6. С. 151—157.
  16. *Абрамов А.А., Леонов С.Б., Сорокин М.М.* Химия флотационных систем. М.: Недра, 1982. С. 48—50.
  17. *Дерягин Б.В., Духин С.С., Рулев Н.Н.* Микрофлотация. М.: Химия, 1986.
  18. *Шоу-Цзы Лу.* О роли гидрофобного взаимодействия во флотации и флокуляции // Коллоид. журн. 1990. Т. 52. С. 858—864.
  19. *Игнаткина В.А., Бочаров В.А., Милов Ф.О., Иванова П.Г., Хачатрян Л.С.* Селективное повышение флотоактивности сульфидов цветных металлов с использованием сочетаний сульфидрильных собирателей // Обогащение руд. 2015. No. 3. С. 18—24. DOI: <http://dx.doi.org/10.17580/or.2015.03.03>.

## References

1. *Krymsky R.Sh., Belyatsky B.V., Levsky L.K., Rub M.G.* Age and genesis of scheelite ore deposit Vostok-2 (Primorie) with references to Rb—Sr and Sm—Nd isotope data // Mineral deposits: Research and exploration where do they meet: Proc. 4-th Biennial SGA Meeting (Turku, 11—13 Aug. 1997). Rotterdam: Balkema, 1997. P. 651—653.
2. *Gvozdev V.I.* The arminsky ore district. In: *Metallogeny of the pacific northwest: tectonics, magmatism and metallogeny of active continental margins*. Vladivostok: Dalnauka, 2004. P. 87—97.
3. *Gvozdev V.I.* Rudno-magmatische sistemy skarnovykh sheelit-sul'fidnykh mestorozhdenij Vostoka Rossii [The ore-magmatic systems of scheelite-sulfide skarn deposits of the Russian Far East]. Vladivostok: Dalnauka, 2010.
4. *Ignatkina V.A.* Razvitie teorii selektivnosti dejstvija sochetanij sobiratelej pri flotacii trudnoobogatimyh rud cvetnykh metallov [Development of the combination of collectors' effect selectivity theory in the flotation of difficult for concentration ores of nonferrous metals]: Abstr. PhD. diss. Moscow: MISIS, 2011.
5. *Kondratyev S.A.* Ocenka flotacionnoj aktivnosti reagentov-sobiratelej [Estimation of flotation activity of reagent-collectors]. *Obogashhenie rud*. 2010. No. 4. P. 24—30.
6. *Ignatkina V.A.* Selection of selective collectors for flotation of minerals with similar flotation properties. *Russ. J. Non-Ferr. Met.* 2011. Vol. 52. No. 1. P. 1—7. DOI: 10.3103/S1067821211010093.
7. *Shepeta E.D., Samatova L.A., Ryaboy V.I.* Osobennosti ispol'zovaniya ksantogenatov i dialkilditiofasfatov pri flotacii sul'fidov [Features of xanthates and dialkyldithiophosphates application in the flotation of sulfides]. In: *Progrressivnye metody obogashheniya i kompleksnoj pererabotki prirodnogo i tehnogenno mineral'nogo syr'ya* [Ad-

- vanced methods of concentration and complex processing of natural and anthropogenic minerals]: International meeting «Plaksinskie chtenia-2014» (Almaty, Republic of Kazakhstan, 16—19 Sept. 2014). Poster presentation.
8. Ryaboy V., Kretov V., Smirnova E. The usage of dialkylidithiophosphates in flotation of sulphide ores. In: *Proc. XV Balkan Miner. Process. Congr.* (Sozopol, Bulgaria, June 12—16, 2013). P. 419—422.
  9. Ryaboy V., Shepeta E., Kretov V., Golikov V. New dialkylidithiophosphates in flotation of copper gold and silver containing ores. In: *Proc. XXVII Int. Miner. Process. Congr.* (Santiago, Chile, 2014). P. 1—8.
  10. Mitrofanov S.I. Selective floatation [Mineral separation by floatation]. Moscow: Metallurgizdat, 1953. P.111—114.
  11. Ryaboy V.I., Zhivankov G.V., Shenderovitch V.A., Zlobin M.N., Zaskevitch M.N. Improvement of diamond recovery in froth separation of kimberlite ore with the help of flotation reagents. In: *Proc. XX Int. Miner. Process. Congr.* (Aachen, 1997). Vol. 3. P. 437—445.
  12. Pan Lei, Jung Sunghwan, Yoon Rol-Hoan. A fundamental study on the role of collector in the kinetics of bubble-particle interaction. *Int. J. Miner. Process.* 2012. Vol. 106-109. P. 37—41.
  13. Amerkhanova Sh.K., Shlyapov R.M., Yali A.S. Ocenka flotacionnoj aktivnosti smesi fosforosoderzhashhih sobiratelej [Estimation of flotation activity of a combination of the phosphorus-bearing collectors]. *Izv. vuzov. Tsvet. metallurgiya.* 2015. No. 3. P. 15—27.
  14. Sorokin M.M. Flotacionnye metody obogashheniya. Himicheskie osnovy flotacii [Flotation methods for beneficiation of minerals. Chemical principles of flotation]. Moscow: MISIS, 2011. P. 160—162.
  15. Samatova L.A., Shepeta E.D., Ryaboy V.I. Povyshenie izvlecheniya cvetnyh i blagorodnyh metallov pri flotacii sheelit-sul'fidnyh rud [To increase the extraction of nonferrous and noble metals in the flotation of scheelite-sulfide ores]. *Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznyh iskopaemyh.* 2013. No. 6. P. 151—157.
  16. Abramov A.A., Leonov S.B., Sorokin M.M. Himija flotacionnyh sistem [The chemistry of flotation systems]. Moscow: Nedra, 1989. P. 48—50.
  17. Deryagin B.V., Dukhin S.S., Rulev N.N. Mikroflotacija [Microflotation]. Moscow: Khimiya, 1986. P. 16.
  18. Shou-Zi Lu. O roli gidrofobnogo vzaimodejstviya vo flotacii i flokuljacii [About the role of hydrophobic interaction in flotation and flocculation]. *Kolloidnyj zhurnal.* 1990. Vol. 52. P. 858—864.
  19. Ignatkina V.A., Bocharov V.A., Milovich F.O., Ivanova P.G., Khachatryan L.S. Selektivnoe povyshenie flotoaktivnosti sul'fidov cvetnyh metallov s ispol'zovaniem sochetanij sul'fgidril'nyh sobiratelej [Selective grow in flotation activity of nonferrous metal sulfides with the use of combination of sulphydril collectors]. *Obogashhenie rud.* 2015. No. 3. P. 18—24. DOI: <http://dx.doi.org/10.17580/or.2015.03.03>.