

ОЦЕНКА СЕЛЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВИЯ СУЛЬФИДРИЛЬНЫХ СОБИРАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ДИТИОФОСФАТОВ

Н.Д. Жаролла¹, А.Р. Ергешев¹, В.А. Игнаткина¹

¹ НИТУ «МИСиС», Москва, Россия, e-mail: nazymarzu.zharolla@mail.ru

Аннотация: По количеству запасов меди Россия занимает 4 место, являясь одним из самых крупных поставщиков данной продукции. Благодаря своим свойствам и количеству потребления медь пользуется большим спросом. В связи с этим интенсивное освоение горной промышленности привело к сокращению запасов во всем мире, вынуждая перерабатывать труднообогатимую руду. Чтобы перерабатывать такую руду, необходимо разработать новые реагентные и схемные режимы флотации. Изучено влияние фосфорсодержащих сульфидрильных собирателей на показатели флотации труднообогатимой колчеданной медной руды. В качестве реагентов-собирателей исследованы: Берафлот 3026, Берафлот 40, Берафлот 3035 (Институт «Гвинцветмет»), Аэрофин 3418А, Аэрофлот 308, Аэрофлот 238 (Solvay (Cytec)), БТФ 1552, БТФ 1517, БТФ 163 (ООО «Квадрат плюс»). В качестве стандарта при сравнении использован бутиловый ксантогенат. В одинаковых условиях сравнены показатель селективности для межцикловой медной флотации и потери меди с отвальными хвостами. Выявлено, что собиратель БТФ 1517 является наиболее селективным собирателем из сравниваемых, коэффициент селективности для межцикловой Cu флотации равен 4,01, а потери меди в хвостах – 11,35%, по 2-м концентратам Cu показатель селективности составил 3,88. Также наилучший результат получен для БТФ 1552 и БТФ 163 с показателями селективности по 1-му концентрату Cu 4,94 и 6,13, а по 2-м концентратам Cu — 3,79 и 3,26 соответственно, при значениях потерь меди 12,90% и 15,98%. Самый низкий результат показал бутиловый ксантогенат с селективным показателем в 1-м концентрате Cu 3,58 и по 2-м концентратам Cu, где потери меди в хвостах равны 20,85%, 2,19.

Ключевые слова: теннантит, пирит, флотация, медно-колчеданная руда, сульфидрильные собиратели, минерал, мышьяк, медь.

Для цитирования: Жаролла Н.Д., Ергешев А.Р., Игнаткина В.А. Оценка селективности действия сульфидрильных собирателей на основе дитиофосфатов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 11. – С. 14–26. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-11-0-14-26.

Estimation of selectivity of sulfhydryl collectors on a dithiophosphate basis

N.D. Zharolla¹, A.R. Yergeshev¹, V.A. Ignatkina¹

¹ National University of Science and Technology «MISIS», Moscow, Russia,
e-mail: nazymarzu.zharolla@mail.ru

Abstract: Copper reserves in Russia rank fourth largest in the world, which makes the country one of the top copper suppliers. Copper enjoys high demand owing to its properties. Intense copper mining has resulted in the decline in copper reserves worldwide and forced transition to processing of difficult and rebellious ore. Such ore treatment needs new reagents and circuits of flotation. The influence of phosphorus-bearing sulfhydryl collectors on flotation performance of rebellious copper sulphide ore is studied. The tests were performed with collecting agents: Beraflot 3026, Beraflot 40, Beraflot 3035 (Gvintsvetmet Institute), Aero-fin 3418A, Aero-flot308, Aero-flot 238 (Solvay (Cytec)), BTF 1552, BTF 1517 and BTF 163 (Kvadrat plyus). Butyl xanthate was used as a reference standard. The selectivity indexes of inter-circuit copper flotation and copper losses with tailings in the tests with the listed agents and in the reference tests performed in the same conditions were compared. The dialkyl dithiophosphate-based collector BTF 1517 appears as the most selective agent, with inter-circuit Cu selectivity of 4.01 and copper loss with tailings of 11.35%. The selectivity in Cu concentrates was 3.88. Collectors BTF 1552 and BTF 163 also showed the best selectivity of 4.94 and 6.13, respectively, in one Cu concentrate and 3.79 and 3.26, respectively, in two Cu concentrates, at copper losses of 12.90% and 15.98%. The lowest selectivity was obtained with butyl xanthate—3.58 in one Cu concentrate and 2.19 in two Cu concentrates, at copper loss with tailings of 20.85%.

Key words: tennantite, pyrite, flotation, copper sulphide ore, sulfhydryl collector, mineral, arsenic, copper.

For citation: Zharolla N. D., Yergeshev A. R., Ignatkina V. A. Estimation of selectivity of sulfhydryl collectors on a dithiophosphate basis. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(11):14-26. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-11-0-14-26.

Введение

Медь находит широкое применение как в виде самостоятельной продукции, так и при производстве сплавов с оловом, никелем, алюминием, кремнием, цинком, железом и другими элементами [1]. По проведенным исследованиям (International Copper Study Group, ICSG) потребление рафинированной меди в мире за 2016 г. составило 23,5 млн т. По оценкам аналитиков из CRUgroup глобальное потребление меди превысит 26 млн т к 2023 г., что на 10% выше, чем за 2018 г., по оценочным данным дефицит прогнозируется примерно в 245 тыс. т [2].

Классификация медьсодержащих руд и основные типы промышленных месторождений меди в России и странах ближнего зарубежья подробно описаны в литературе [3]. Основные запасы меди сосредоточены в медно-никелевых рудах, на долю которых приходится 40%.

Вторыми по запасам меди (25–27%) являются колчеданные медные и медно-цинковые руды, месторождения которых разрабатываются на Урале и Северном Кавказе; главными компонентами таких месторождений являются: медь, цинк, а также золото, серебро, свинец, мышьяк и т.д.

Медно-колчеданная руда за счет ряда своих свойств, таких как тонкая и неравномерная вкрапленность, близкая флотоактивность сульфидов, высокое содержание пирита, считается труднообогатимой. Основные медьсодержащие месторождения уже вовлечены в процесс переработки на Южном Урале; в ряде медных и медно-цинковых месторождений возрастает содержание минералов блеклых руд [4]. Рост спроса рынка на медь способствует вовлечению подобного мышьяксодержащего медного минерального сырья в переработку.

Флотационный метод обогащения является наиболее эффективным технологическим процессом разделения тонкодисперсных сульфидов между собой и породных минералов. Пирит является достаточно изученным минералом, но как показывает опыт, колчеданные руды демонстрируют высокую упорность к селективному флотационному обогащению. Депрессия пирита и пирротина осуществляется в высокощелочной известковой среде. На эффективность флотационного разделения влияет ионно-молекулярное состояние жидкой фазы пульпы [5, 6].

Существуют два основных мышьяк-содержащих минерала в медных рудах: теннантит ($\text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$) и энаргит (Cu_3AsS_4). Эти минералы обычно встречаются в комбинации с халькопиритом (CuFeS_2), борнитом (Cu_4FeS_5), ковеллином (CuS) или халькозином (Cu_2S). Энаргит хорошо флотируется с ксантогенатом и дитиофосфатом в широком диапазоне pH 8–10, а также тиокарбаматом и меркаптаном при pH 5–7 [7]. И если энаргит изучен довольно хорошо [8], то лишь ограниченное количество исследований проведены для отделения теннантита от связанных с ним других сульфидов меди, не содержащих мышьяк, что может быть связано с дефицитом высококачественного теннантита [9]. Медный минерал — теннантит — относится к первичным сульфидам меди. Массовая доля меди в теннантите выше, чем в халькопирите (41–52% против 30–34%), поэтому его извлечение является актуальной задачей. Флотационные свойства данного минерала до конца еще не изучены [10].

Проблема отделения энаргита и теннантита от сульфидов меди, не содержащих мышьяк, рассмотрена в статье [11]. С использованием метода селективного окисления в кислой среде или окисления и селективного растворения

в щелочной среде достигнуто образование разных поверхностных соединений на частицах сульфидных минералов при разных значениях pH, с разной скоростью окисления среды. Образование различных соединений и отличие скоростей окисления ранее исследованы с использованием дзета-потенциала в работе [12]. Установлено, что интенсивность окисления при pH 11 среди медных сульфидных минералов располагается в порядке убывания: халькозин > теннантит > энаргит > ковеллина > халькопирит. Установлено, что теннантит плохо флотируется ксантогенатом, но хорошо флотируется собирателями, содержащими меркаптан, аэрофин и дитиофосфаты [7].

В поисковых исследованиях для флотации медно-цинковых пиритсодержащих руд испытаны следующие сочетания сульфгидрильных собирателей: МКБТ (меркаптобензотиазол) совместно с дитиофосфатами, смесь бутилового и изопропилового ксантогената как в сочетании с МКБТ, так и без него, композиция диалкилдисульфидов и дитиофосфатов и т.д. [13].

В настоящей работе исследованы влияние бутилового ксантогената и 10-ти сульфгидрильных фосфоросодержащих собирателей на флотацию сульфидов меди из медно-колчеданной руды.

На основании данных статьи [13] в качестве собирателей взяты такие реагенты, как Берафлот 40 и Берафлот 3035, Берафлот 3026. В работе изучено влияние сульфгидрильных собирателей медной флотации, представленных на рынке флотореагентов: Аэрофин 3418А, Аэрофлот 308, Аэрофлот 238, БТФ 1552, БТФ 1517 и БТФ 163.

Методы и материалы исследований

В исследовательских целях использовалась медно-колчеданная руда с ис-

ходным содержанием меди $2,5 \pm 0,3\%$, цинка $0,6 \pm 0,2\%$ и мышьяка $0,45 \pm 0,24\%$. Сульфидная медь на $3,33\%$ представлена теннантитом, на $3,41\%$ халькопиритом на $0,55\%$ борнитом. Сульфиды железа на $70,55\%$ представлены пиритом и продуктом его разрушения — мельниковитом.

Дисперсность частиц разделяемых сульфидов является таким же важным параметром, как и физико-химические свойства руды в процессах флотации. Извлечение меди в процессе флотации достигает максимального значения для частиц размером $20 - 70$ мкм. Это связано с тем, что более крупные или тонкие частицы сложно извлечь пенной флотацией [14]. Поэтому при измельчении важно обеспечить селективность разрушения ассоциаций сростков, избегая, с одной стороны, ошламование

руды, а с другой стороны, потери сростков минералов. На рис. 1 приведена схема проведения опытов.

Основную и контрольную флотации проводили в механической флотомашине «Механобр» с объемом камеры $0,5$ л. Перечистная флотация проведена в механической флотомашине «Механобр» меньшего типоразмера с объемом камеры $0,1$ л.

Первую стадию измельчения проводили до получения класса $50\% - 0,074$ мм; расход $\text{Na}_2\text{S} - 50$ г/т, $\text{CaO} - 2$ кг/т соответственно. В межцикловой флотации добавляется собиратель с расходом 5 г/т, затем пенообразователь; при необходимости в камеру предварительно добавляется известь для доведения pH до $8,5 - 9$, кондиционируется в течение 1 мин. Во второй стадии измельчения содержание класса крупности $- 0,074$ мм соста-

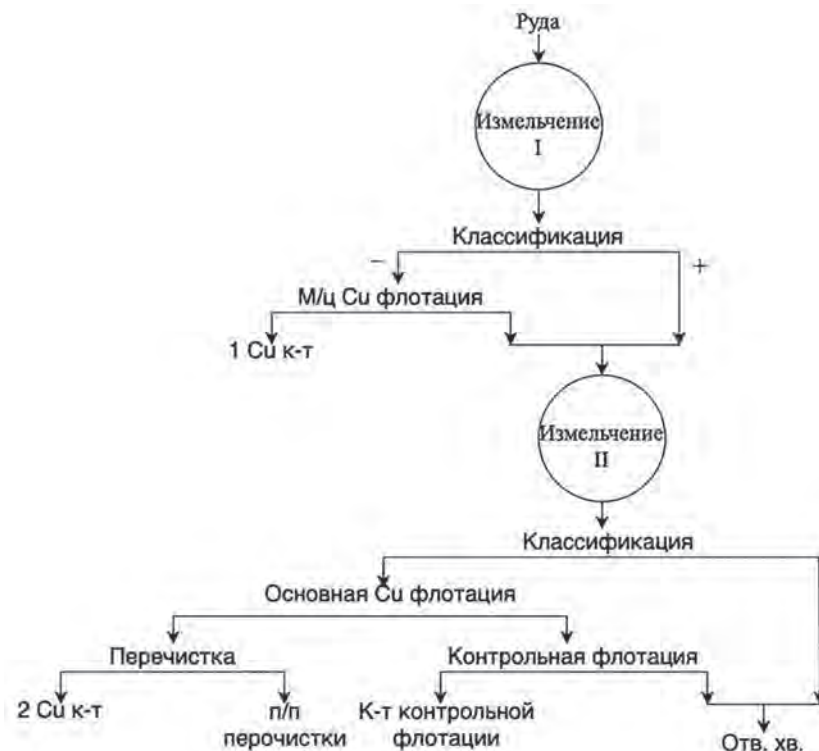


Рис. 1. Схема лабораторных опытов флотации медно-колчеданной руды

Fig. 1. Test flow chart of copper sulphide ore flotation

вило 90 – 95% с добавлением извести 2 кг/т. Основную флотацию проводят в течение 6 мин с расходом собирателя 48 г/т и пенообразователя – 10 г/т. В контрольную флотацию вводят собиратель с расходом 24 г/т и пенообразователь. Перечистную флотацию проводят в течение 3-х мин без добавления каких-либо реагентов.

В опытах в качестве сульфидрильного собирателя использовали бутиловый ксантогенат (стандарт) и следующие 9 сульфидрильных фосфорсодержащих флотореагентов: Берафлот 3026, Берафлот 40, Берафлот 3035 (Институт «Гвинцветмет»), Аэрофин 3418А, Аэрофлот 308, Аэрофлот 238 (Solvay (Cytec)), БТФ 1552, БТФ 1517 и БТФ 163 (ООО «Квадрат плюс»), характеристика которых приведена в табл. 1.

Применяли 0,1% растворы сульфидрильного собирателя, приготовленные из расчета их 100%-ной активности.

Флотационные продукты после сушки взвешены, отобраны пробы для химического анализа.

Для определения меди, мышьяка и цинка в полученных флотационных продуктах использовался рентгено-флуорес-

центный анализ (РФА), осуществленный при помощи рентгено-флуоресцентного дифрактометра марки «ELVAX Light». Отобранные и истертые до класса крупности $-0,0020+0$ мм пробы загружали в кювету, покрытую пленкой MYLAR. Затем кюветы с пробой устанавливали на подложку в камеру анализатора. Далее прибор считывал и обрабатывал спектры методом регрессионного анализа, выдавая на выходе дифрактограмму с процентным содержанием элементов в пробе. Дифрактограмма считывалась с калибровочного графика, который построен, основываясь на продуктах с уже известной концентрацией анализируемых компонентов.

Результаты и обсуждения

Значения pH и Eh влияют на химизм поверхностных взаимодействий минералов с собирателями, депрессорами и другими реагентами. В результате тех или иных взаимодействий меняются полупроводниковые и флотационные свойства сульфидов [15]. Согласно данным N.O. Lotter, D.J. Bradshaw, A.R. Barnes [16], лучшие диапазоны pH и Eh для флотации теннантита находятся в пре-

Таблица 1

Характеристика сульфидрильных собирателей Characteristic of sulfhydryl collectors

Наименование собирателя	Характеристика
Берафлот 3026	Смесь диалкилдитиофосфата, алкиленалкилсульфида и алкилового эфира полиалкиленгликоля, активность 100%
Берафлот 40	Диизобутиловый дитиофосфат, активность 56%
Берафлот 3035	Тионокарбамат и диизобутиловый дитиофосфат, активность 90%
Аэрофин 3418А	Диизобутиловый дитиофосфинат, активность 52%
Аэрофлот 208	Смесь дитиофосфатов, активность 60%
Аэрофлот 238	Бутиловый дитиофосфат, активность 60%
БТФ 1552	Диалкилдитиофосфат натрия, активность 50%
БТФ 1517	Диалкилдитиофосфат натрия, активность 40%
БТФ 163	Диалкилдитиофосфат натрия, активность 60%
Ксантогенат бутиловый	Дитиокарбонат, активность 100%

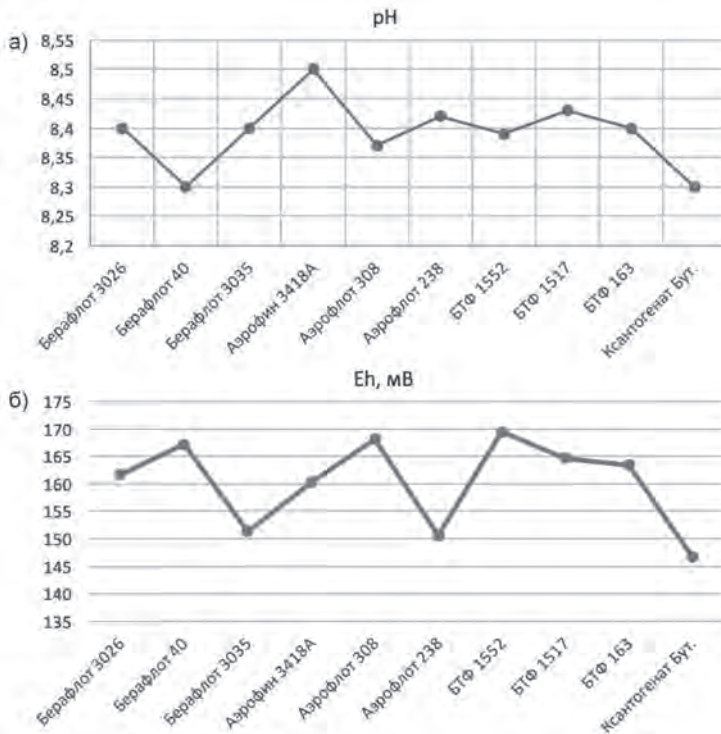


Рис. 2. Измеренные значения pH (а) и Eh (б) в камере перед Cu межцикловой флотацией
 Fig. 2. Measured values of pH (a) and Eh (b) in cell before inter-circuit Cu flotation

делах: $8 < \text{pH} < 12$ и $+150 < \text{Eh} < +250$ мВ, для халькопирита – $6 < \text{pH} < 10$ и $0 < \text{Eh} < +200$ мВ, для пирита – $4 < \text{pH} < 8$ и $-150 < \text{Eh} < +300$ мВ, соответственно. На рис. 2 показаны значения pH (а) и Eh (б) в жидкой фазе перед Cu межцикловой флотацией. По полученным данным, значения pH и Eh входят в рекомендуемый диапазон, тем самым обеспечивая эффективную среду для флотации теннантита и халькопирита.

В табл. 2 приведены технологические показатели флотационных продуктов с исследуемыми собирателями.

Для сравнения и оценки селективности собирателей произведен расчет показателя селективности по известной формуле В.И. Трушлевича:

$$S = \frac{\beta_K - \beta_{XB}}{\alpha},$$

где S – показатель селективности; β_K – содержание меди в концентрате, %; β_{XB} – содержание меди в хвостах, %; α – содержание меди в исходной руде, %.

Для более полного сравнения работы сульфидрильных фосфорсодержащих собирателей также учитываются и потери Cu в отвальных хвостах. В табл. 3 приведены значения показателей селективности по 1 и 2-м концентратам, а также потери ценных компонентов в хвостах.

На рис. 3 и 4 приведены диаграммы сравнения селективности собирателей сульфидрильных собирателей по 1 и 2-м концентратам (диаграммы выполнены по табличным данным).

Исходя из данных флотационных исследований, получен ряд селективности по отношению к минералам по меди в 1-м Cu концентрате:

Таблица 2

Исходные экспериментальные данные для расчета индекса селективности
Input experimental data for selectivity index calculation

Наименование реагента	Продукт	Выход, %	Содержание, %			Извлечение, %		
			Cu	Zn	As	Cu	Zn	As
Берафлот 3026	1 Си концентрат	5,21	7,00	3,49	0,76	13,24	30,43	8,46
	2 Си концентрат	9,82	11,04	2,63	1,02	39,36	43,29	21,41
	Хвосты	64,21	0,99	0,10	0,29	23,07	10,76	39,78
	Исходная руда	100,00	2,76	0,60	0,47	100,00	100,00	100,00
Берафлот 40	1 Си концентрат	6,23	9,91	4,3	1,11	23,30	45,61	14,94
	2 Си концентрат	19,76	6,33	1,14	0,87	47,24	38,36	19,76
	Хвосты	43,90	0,55	0,1	0,24	9,12	7,47	22,77
	Исходная руда	100,00	2,65	0,59	0,46	100,00	100,00	100,00
Берафлот 3035	1 Си концентрат	4,32	12,42	4,5	0,97	18,00	34,65	10,29
	2 Си концентрат	44,27	4,28	0,53	0,62	63,59	41,82	67,38
	Хвосты	20,65	0,80	0,20	0,03	5,54	7,36	1,52
	Исходная руда	100,00	2,98	0,56	0,41	100,00	100,00	100,00
Аэрофин 3418А	1 Си концентрат	2,97	10,79	4,65	1,16	12,34	23,47	7,82
	2 Си концентрат	5,91	10,20	3,71	1,36	23,21	37,29	18,19
	Хвосты	65,37	0,80	0,12	0,24	20,03	13,35	35,64
	Исходная руда	100,00	2,59	0,59	0,44	100,00	100,00	100,00
Аэрофлот 308	1 Си концентрат	2,99	10,77	5,48	1,04	12,56	28,36	2,99
	2 Си концентрат	9,24	10,82	2,87	1,36	38,97	45,89	9,24
	Хвосты	66,85	0,83	0,08	0,26	21,52	9,26	66,85
	Исходная руда	100,00	2,56	0,58	0,43	100,00	100,00	100,00
Аэрофлот 238	1 Си концентрат	2,11	13,79	5,83	0,97	9,80	21,74	5,00
	2 Си концентрат	18,47	10,52	1,58	1,35	65,52	51,64	60,96
	Хвосты	50,71	0,70	0,10	0,02	11,97	8,97	2,48
	Исходная руда	100,00	2,97	0,57	0,41	100,00	100,00	100,00
БТФ 1552	1 Си концентрат	4,01	16,11	5,25	1,27	20,86	37,16	12,37
	2 Си концентрат	15,13	11,58	1,62	1,39	56,56	43,25	51,06
	Хвосты	49,93	0,89	0,09	0,03	12,90	7,93	3,64
	Исходная руда	100,00	3,10	0,57	0,41	100,00	100,00	100,00
БТФ 1517	1 Си концентрат	4,05	12,36	3,71	0,79	17,07	26,64	7,99
	2 Си концентрат	14,79	11,88	2,01	1,39	59,93	52,73	51,34
	Хвосты	55,44	0,60	0,08	0,05	11,35	7,87	6,92
	Исходная руда	100,00	2,93	0,56	0,40	100,00	100,00	100,00
БТФ 163	1 Си концентрат	1,14	17,25	10,76	1,20	7,28	20,55	3,40
	2 Си концентрат	13,34	8,85	1,05	1,10	43,71	23,47	36,51
	Хвосты	61,64	0,70	0,45	0,20	15,98	46,47	30,67
	Исходная руда	100,00	2,70	0,60	0,40	100,00	100,00	100,00
Бутиловый ксантогенат	1 Си концентрат	0,65	10,33	5,21	1,45	2,72	6,00	2,27
	2 Си концентрат	13,72	6,71	1,93	0,98	37,11	46,72	32,20
	Хвосты	35,92	1,44	0,34	0,31	20,84	21,54	26,66
	Исходная руда	100,00	2,48	0,57	0,42	100,00	100,00	100,00

Таблица 3

Показатель селективности собирателей и потерь меди в хвостах
Selectivity index of collectors and copper loss with tailings

Наименование	S _{Cu} межцикловой флотации			S _{Cu} по 2-м концентратам			Потери меди с отвальными хвостами, ε, %		
	Cu	Zn	As	Cu	Zn	As	Cu	Zn	As
Берафлот 3026	2,18	5,67	1,00	3,14	4,27	1,37	23,07	10,76	39,78
Берафлот 40	3,53	7,15	1,88	2,51	3,06	1,48	9,42	7,47	22,77
Берафлот 3035	3,90	7,66	2,31	1,41	1,22	1,52	5,54	7,36	1,52
Аэрофин 3418А	3,85	7,71	2,09	3,70	6,64	2,38	20,03	13,35	35,64
Аэрофлот 308	3,88	9,35	1,80	3,89	5,93	2,36	21,64	9,26	39,32
Аэрофлот 238	4,41	10,14	2,48	3,42	3,39	2,48	11,97	8,97	2,32
БТФ 1552	4,94	9,11	3,01	3,79	4,04	3,24	12,90	7,93	3,64
БТФ 1517	4,01	6,44	3,03	3,88	4,07	3,88	11,35	7,87	6,92
БТФ 163	6,13	17,27	2,49	3,26	2,29	2,26	15,98	46,47	30,67
Бутиловый ксантогенат	3,58	8,59	2,73	2,19	3,07	1,66	20,85	12,21	11,13

БТФ 163>БТФ 1552>Аэрофлот 238 >>БТФ 1517>Берафлот 3035>Берафлот 40>Аэрофин 3418 А>Аэрофлот 308>>Ксантогенат бутиловый>Берафлот 3026.

Ряд селективности по меди в 2-х Си концентратах:

БТФ 1517>БТФ 1552>Аэрофлот 238>>БТФ 163>Аэрофлот 308>Аэрофин 3418А> Берафлот 3026>Берафлот 40>Берафлот 3035>Ксантогенат бутиловый.

Ряд селективности к минералам по цинку в 1-м Си концентрате:

БТФ 163>Аэрофлот 238>Аэрофлот 308>БТФ 1552>Ксантогенат бутиловый>Берафлот 3035>Аэрофин 3418А>>Берафлот 40>БТФ 1517 >Берафлот 3026.

Ряд селективности по цинку в 2-х Си концентратах:

Аэрофин 3418А>Берафлот 3026>>БТФ 1517>БТФ 1552>Аэрофин 238>>Ксантогенат бутиловый>Берафлот 40>>БТФ 163>Берафлот 3035.

Ряд селективности к минералам по мышьяку в 1-м Си концентрате:

БТФ 1517>БТФ 1552>Ксантогенат бутиловый>БТФ 163>Аэрофлот 238>>Берафлот 3035>Аэрофин 3418А>>Аэрофлот 308>Берафлот 3026.

Ряд селективности по мышьяку в 2-х Си концентратах:

БТФ 1517>БТФ 1552>Аэрофлот 238>>Аэрофин 3418А>Аэрофлот 308>ЮТФ 163>Ксантогенат бутиловый>Берафлот 3036>Берафлот 40>Берафлот 3026.

По 2-м медным концентратам с учетом потерь ценных компонентов в хвосты наилучший результат показал БТФ 1517. Собиратель БТФ 1552 по показателю селективности не уступает БТФ 1517. БТФ 163 также имеет хороший результат, как другие диалкилдитиофосфаты натрия (БТФ 1517 и БТФ 1552). Дитиофосфаты имеют более низкую степень окисления, чем ксантогенаты, поэтому менее флотоактивны по отношению к пириту. Дитиофосфаты потенциально могут взаимодействовать с мышьяком на поверхности теннантита помимо активных центров меди (Cu²⁺)

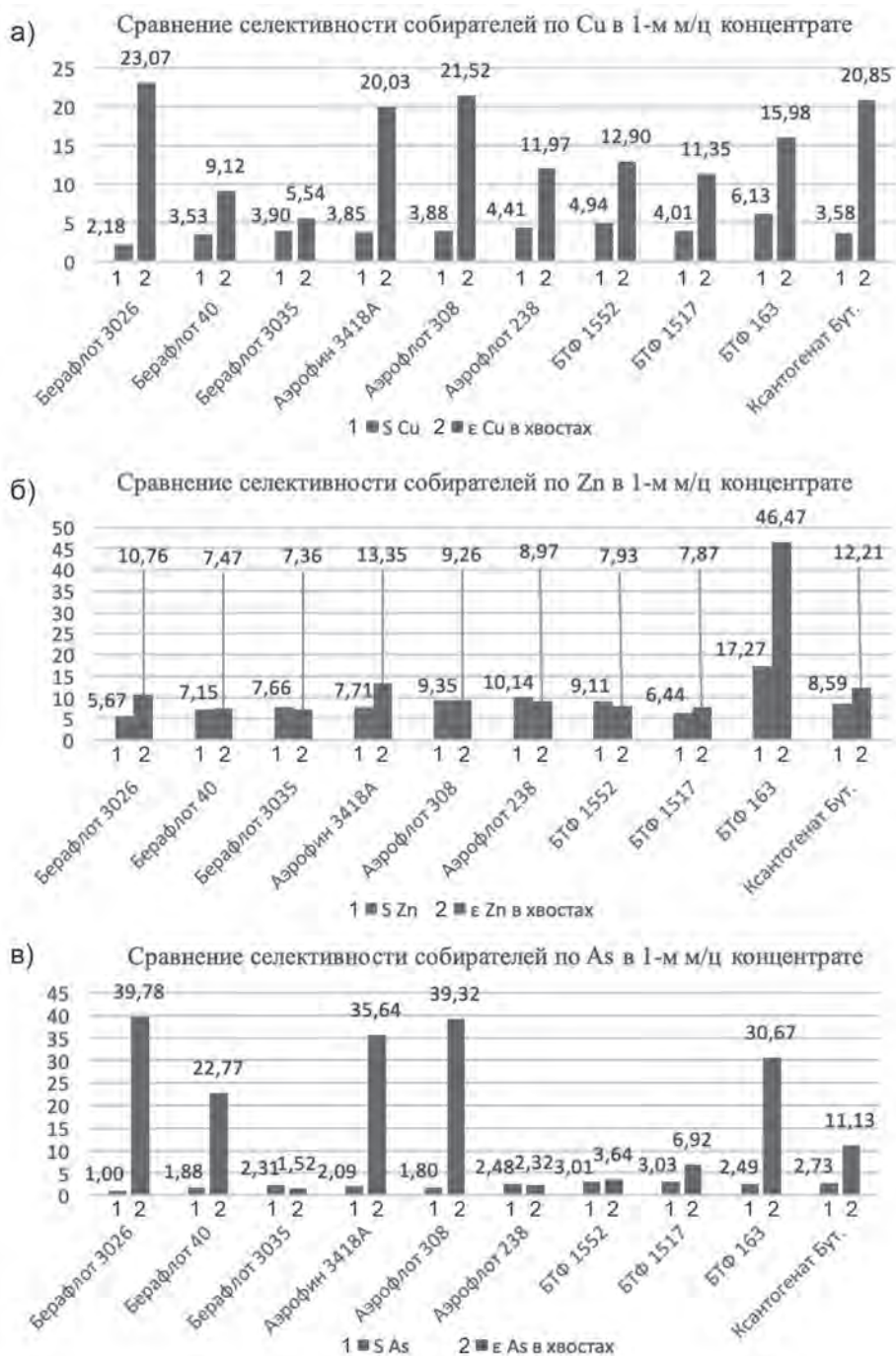


Рис. 3. Показатель селективности сульфгидрильных фосфорсодержащих собирателей и потерь меди (а), цинка (б), мышьяка (в) в хвосты в 1-м концентрате

Fig. 3. Selectivity index of sulfhydryl phosphorus-bearing collectors and loss of copper (a), zinc (b) and arsenic (c) with tailings in one concentrate



Рис. 4. Показатель селективности сульфгидрильных фосфорсодержащих собирателей и потерь меди (а), цинка (б), мышьяка (в) в хвосты по 2-м концентратам

Fig. 4. Selectivity index of sulfhydryl phosphorus-bearing collectors and loss of copper (a), zinc (b) and arsenic (c) with tailings in two concentrates

[17]. Вместе с тем образцы дитиофосфатов Аэрофлот 238, Аэрофлот 308, Аэрофин 3418А и Берафлот 40 показали средние результаты по селективности с высокими значениями потерь ценного компонента в хвосты, извлекают медь недостаточно. Образец Берафлот 3026 (смесь тионокарбамата и дитиофосфата) показал наименьший индекс селективности в 2-х медных концентратах по Cu – 3,14, Zn – 4,27 и As – 1,37, хоть выход отвальных хвостов и достаточно высок (64,21%).

Ксантогенат бутиловый продемонстрировал худшие результаты в 2-х медных концентратах, чем фосфорсодержащие сульфгидрильные собиратели (по Cu – 2,19, Zn – 3,07, As – 1,66).

Заключение

Ксантогенат бутиловый продемонстрировал худший результат по сравнению с 9 сульфгидрильными фосфорсодержащими собирателями, где показатель селективности по 2-м Cu концентратам равен 2,19, а потери меди в хвостах 20,85%. Образцы сульфгидрильных собирателей производителя ООО «Квадрат плюс» БТФ 1517 и БТФ 1552 продемонстрировали более высокий показатель селективности по 2-м Cu концентратам по сравнению с бутиловым ксантогенатом: 3,88 и 3,79 соответственно. Образец БТФ 163 обеспечил наиболее высокое качество межциклового медного концентрата (17,25%) за счет извлечения халькопиритовой меди (6,56%).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кожин П.* Свернуть медные горы // Business Guide «Умная медь». – 2017. – № 64. – С. 3.
2. *Казарин Л.* Медная революция // Эксперт Урал. – 2019. – № 1–3. – С. 40–42.
3. *Медные руды* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://amurinform.ru/wp-content/uploads/2015/10/met.rek.-mednye-rudy.pdf> (дата обращения: 06.03.2020).
4. *Solozhenkin P., Ibragimova O., Emelyanenko E., Yagudina J.* Study of flotation parameters for copper recovery from tennantite ore // International Journal of Science and Research. 2016. Vol 5. No 3. Pp. 311–315.
5. *Абрамов А. А.* Собрание сочинений: Т. 8: Флотация. Сульфидные минералы: учебное пособие. – М.: Изд-во «Горная книга», 2013. – С. 424–428.
6. *Адамов Э. В.* Технология руд цветных металлов: учебное пособие. – М.: Изд-во «Учеба», 2007. – С. 433–435.
7. *Bulatovic S. M.* Handbook of flotation reagents. Chemistry, theory and practice: Flotation of sulfide ores. Vol. 1. Elsevier science & Technology Books, 2007. 446 p.
8. *Lattanzi P., Da Pelo S., Musu E., Atzei D., Elsener B., Fantauzzi M., Rossi A.* Enargite oxidation. A review // Earth-Science Review. 2008. Vol. 86. No 1–4. Pp. 62–88.
9. *Petrus H. T.B.M., Hirajima T., Sasaki T., Okamoto H.* Effects of sodium thiosulphate on chalcopyrite and tennantite: An insight for alternative separation technique // International Journal of Mineral Processing. 2012. Vol. 102. Pp. 116–123.
10. *Каюмов А. А., Аксенова Д. Д., Игнаткина В. А., Бочаров В. А.* Изучение флотационных и адсорбционных свойств теннантита с использованием различных сульфгидрильных собирателей // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – № 11. – С. 226–237.
11. *Fornasiero D., Fullston D., Li C., Ralston J.* Separation of enargite and tennantite from non-arsenic copper sulfide minerals by selective oxidation or dissolution // International Journal of Mineral Processing. 2001. Vol. 61. No 2. Pp. 109–119.
12. *Fullston D., Fornasiero D., Ralston J.* Zeta potential study of the oxidation of copper sulfide minerals // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 1999. Vol. 146, No 1–3. Pp. 113–121.

13. Пунцукова Б. Т., Игнаткина В. А., Боcharов В. А., Хачатрян Л. С. Разработка селективного реагентного схемного режима флотации медно-цинково-пиритной руды с применением модифицированных дитиофосфатов // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2012. — № 1. — С. 133–145.

14. Agheli S., Hassanzadeh A., Hassas B. V., Hasanzadeh M. Effect of pyrite content of feed and configuration of locked particles on rougher flotation of copper in low and high pyritic ore types // International Journal of Mining Science and Technology. 2018. Vol. 23. No 2. Pp. 167–176.

15. Чантурия В. А., Вигдергауз В. Е. Электрохимия сульфидов. Теория и практика флотации. — М.: Изд-во «Руда и Металлы», 2008. — С. 272.

16. Lotter N. O., Bradshaw D. J., Barnes A. R., Classification of the Major Copper Sulphides into semiconductor types, and associated flotation characteristics // Minerals Engineering. 2016. Vol. 96–97. Pp. 177–184.

17. Lotter N. O., Bradshaw D. J. The formulation and use of mixed collectors in sulphide flotation // Minerals Engineering. 2010. Vol. 23. Pp. 945–951. **MIAB**

REFERENCES

1. Kozhin P. Roll copper mountains. *Business Guide «Umnaya med»*. 2017, no 64, pp. 3. [In Russ].
2. Kazarin L. Copper Revolution. *Expert Ural*. 2019, no 1–3, pp. 40–42. [In Russ].
3. Mednye rudy [Copper ores], available at: <http://amurinform.ru/wp-content/uploads/2015/10/met.rek.-mednye-rudy.pdf> (accessed 06.03.2020). [In Russ].

4. Solozhenkin P., Ibragimova O., Emelyanenko E., Yagudina J. Study of flotation parameters for copper recovery from tennantite ore. *International Journal of Science and Research*. 2016. Vol. 5. No 3. Pp. 311–315.

5. Abramov A. A. *Sobranie sochineniy: T. 8: Flotaciya. Sulfidnye mineraly; uchebnoe posobie* [Collected works: Vol. 8: Flotation. Sulfide minerals: textbook], Moscow, Izd-vo «Gornaya kniga», 2013, pp. 424–428.

6. Adamov E. V. *Tehnologiya rud cvetnyh metallov: uchebnoe posobie* [Technology of non-ferrous metal ore: textbook], Moscow, Izd-vo «Ucheba», 2007, pp. 33–435.

7. Bulatovic S. M. *Handbook of flotation reagents. Chemistry, theory and practice: Flotation of sulfide ores*. Vol. 1. Elsevier science & Technology Books, 2007. 446 p.

8. Lattanzi P., Da Pelo S., Musu E., Atzei D., Elsener B., Fantauzzi M., Rossi A. Enargite oxidation. A review. *Earth-Science Review*. 2008. Vol. 86. No 1–4. Pp. 62–88.

9. Petrus H. T. B. M., Hirajima T., Sasaki T., Okamoto H. Effects of sodium thiosulphate on chalcopyrite and tennantite: An insight for alternative separation technique. *International Journal of Mineral Processing*. 2012. Vol. 102. Pp. 116–123.

10. Kayumov A. A., Aksenova D. D., Ignatkina V. A., Bocharov V. A. Studying the flotation and adsorption properties of tennantite using various sulfhydryl collectors. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2016, no 11, pp. 226–237. [In Russ].

11. Fornasiero D., Fullston D., Li C., Ralston J. Separation of enargite and tennantite from non-arsenic copper sulfide minerals by selective oxidation or dissolution. *International Journal of Mineral Processing*. 2001. Vol. 61. No 2. Pp. 109–119.

12. Fullston D., Fornasiero D., Ralston J. Zeta potential study of the oxidation of copper sulfide minerals. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 1999. Vol. 146, No 1–3. Pp. 113–121.

13. Puntsova B. T., Ignatkina V. A., Bocharov V. A., Khachatryan L. S. Development of a selective reagent scheme for flotation of copper-zinc-pyrite ore using modified dithiophosphates. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2012, no 1, pp. 133–145. [In Russ].

14. Agheli S., Hassanzadeh A., Hassas B. V., Hasanzadeh M. Effect of pyrite content of feed and configuration of locked particles on rougher flotation of copper in low and high pyritic ore types. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2018. Vol. 23. No 2. Pp. 167–176.

15. Chanturiya V.A., Vigdergauz V.E. *Elektrokhimiya sul'fidov. Teoriya i praktika flotatsii* [Electrochemistry of sulfides. Theory and practice of flotation], Moscow, Izd-vo «Ruda i Metal-ly», 2008, pp. 272.

16. Lotter N. O., Bradshaw D. J., Barnes A. R., Classification of the Major Copper Sulphides into semiconductor types, and associated flotation characteristics. *Minerals Engineering*. 2016. Vol. 96 – 97. Pp. 177 – 184.

17. Lotter N. O., Bradshaw D. J. The formulation and use of mixed collectors in sulphide flotation. *Minerals Engineering*. 2010. Vol. 23. Pp. 945 – 951.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Жаролла Назымарзу Дауренкызы¹, магистр, e-mail: nazymarzu.zharolla@mail.ru,

Ергешев Аким Русланович¹, магистр, e-mail: akim9797@mail.ru,

Игнаткина Владислава Анатольевна¹, д-р техн. наук,

профессор, e-mail: woda@mail.ru,

¹ НИТУ «МИСиС».

Для контактов: Жаролла Н.Д., e-mail: nazymarzu.zharolla@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

N.D. Zharolla¹, Magister, e-mail: nazymarzu.zharolla@mail.ru,

A.R. Yergeshev¹, Magister, e-mail: akim9797@mail.ru,

V.A. Ignatkina¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor, e-mail: woda@mail.ru,

¹ National University of Science and Technology «MISIS», 119049, Moscow, Russia.

Corresponding author: N.D. Zharolla, e-mail: nazymarzu.zharolla@mail.ru.

Получена редакцией 10.04.2020; получена после рецензии 29.06.2020; принята к печати 10.10.2020.

Received by the editors 10.04.2020; received after the review 29.06.2020; accepted for printing 10.10.2020.



ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ РУДНИЧНОГО ПОДЪЕМА (2020, № 5, СБ 17, 44 с.)

Коллектив авторов

В выпуск включены научные статьи, посвященные повышению эффективности и безопасности эксплуатации подъемных установок на подземных горных предприятиях. Рассмотрены аспекты обеспечения безопасности и эргономичности труда обслуживающего подъемные машины персонала, модернизации и внедрения новых технических решений на подъемных установках, а также показаны перспективы применения резинотросовых канатов на рудничном подъеме.

Ключевые слова: светодиод, искусственное освещение, здание подъемной машины, расчет освещения, метод светового потока, отраженное освещение.

EFFICIENCY AND SAFETY OF MINE LIFTING

Team of authors

The issue includes scientific articles devoted to improving the efficiency and safety of operation of lifting installations at underground mining enterprises. The aspects of ensuring the safety and ergonomics of work of personnel servicing lifting machines, modernization and introduction of new technical solutions on lifting installations, as well as the prospects for the use of rubber ropes on mine lifting are considered.

Key words: led light, artificial lighting, building lifting machinery, lighting calculation, the method of the luminous flux reflected illumination.