

622.765

Р 31

МИНИСТЕРСТВО ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ СССР

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ИНСТИТУТ ИНФОРМАЦИИ  
И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

РЕАГЕНТНЫЕ РЕЖИМЫ ФЛОТАЦИИ  
РУД ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ  
НА ЗАРУБЕЖНЫХ ФАБРИКАХ

МОСКВА 1986

ОБОГАЩЕНИЕ

Книга должна быть возвращена не  
позже указанного здесь срока

Количество предыдущих выдач \_\_\_\_\_

13424

Ленинские  
издания о лотарии

33 коп.

77 2005.

622.765  
P31

МИНИСТЕРСТВО ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ СССР

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ИНФОРМАЦИИ  
И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

РЕАГЕНТНЫЕ РЕЖИМЫ ФЛОТАЦИИ РУД ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ  
НА ЗАРУБЕЖНЫХ ФАБРИКАХ

БИБЛИОТЕКА	2
Цифр _____	
Инв. № 13424	

Москва 1966

Л.Я. Щубов, А.С. Кузькин  
Рецензент докт. техн. наук А.К. Дившиц

## РЕАГЕНТНЫЕ РЕЖИМЫ ФЛОТАЦИИ РУД ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ НА ЗАРУБЕЖНЫХ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИКАХ

Приведен обзор реагентных режимов флотации руд различных типов.

Дан подробный анализ ассортимента флотореагентов и их применения в США.

Приведены сведения по отдельным зарубежным фабрикам, характеризующие минералогический состав руд, степень измельчения, принципиальную схему переработки, реагентный режим флотации и показатели обогащения за последние годы. Подробно рассмотрены способы селективного разделения и доводки концентратов. Для некоторых типов руд прослежено соотношение между флотационным извлечением и реагентным режимом, а также составом руд.

Эти данные могут быть полезны при выявлении перспективных направлений усовершенствования режимов флотации руд аналогичных типов.

Редактор института "Цветметинформация"

Л.А. Давыдова

## ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ПРИМЕНЕНИИ ФЛОТОРЕАГЕНТОВ НА ЗАРУБЕЖНЫХ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИКАХ

Прогресс в области флотационного обогащения в основном определяется усовершенствованием реагентного режима — улучшением способов использования флотационных реагентов, расширением области их применения и разработкой и внедрением новых более эффективных реагентов.

Внедрение новых реагентов в настоящее время связано главным образом с необходимостью повышения селективности флотации, расширением области использования процесса флотации применительно к специфическим объектам (флотация цементной меди, окисленных минералов свинца и цинка и др.), а также изысканием дешевых и нетоксичных реагентов.

За последние два десятилетия за рубежом предложено большое число новых флотореагентов, но практическое применение нашли не более 10—15 видов.

Изыскание новых флотореагентов в настоящее время ведут в направлении применения химически чистых соединений, а также использования в качестве флотационных реагентов отходов и побочных продуктов различных химических производств. Важнейшими из новых флотореагентов, применяемых в зарубежной практике флотации руд цветных металлов, являются собиратели: Z-200 (изопропил-этил-тионоксикарбамат), минералки, аэрофлоты I85 и I94, реагент R-10, представляющий собой циклогексидитиокарбамат, реагент S-3302, являющийся алиловым эфиром амилксантогеновой кислоты, катионный реагент флотитам (высший алифатический амин с 12 и более атомами углерода в молекуле).

Из вспенивателей наибольшее распространение получили Доуфрос-250, метилмицелловый спирт, триэтоксилбутан, метилнзобутилкарбинол, Аэрофрос 65 и 70, которые в ряде случаев вытеснили сосновое масло.

Отличительной чертой реагентных режимов флотации на зарубежных фабриках является широкое применение относительно слабых реагентов-собирателей, которые для обеспечения более высокого извлечения металлов на ряде фабрик используют в сочетании с более сильными собирателями при очень малых расходах.

В последние годы при флотации руд цветных металлов на зарубежных фабриках наибольшее применение в качестве реагентов-со-

бирателей получили аэрофлоты, используемые как в виде кислот, так и в виде солей, чаще аммониевых.

Большая часть применяемых ранее токсичных фенольных аэрофлотов заменена спиртовыми аэрофлотами № 208, 2II, 238 и этиловым.

Фирма Американ Сайанаид в США выпускает более десяти видов аэрофлотов, которые отвечают условиям флотации различных типов сульфидных руд.

Этиловый аэрофлот наиболее эффективен при флотации медных, медно-молибденовых и медно-цинковых руд. Аэрофлот 2II используют при флотации свинцово-цинковых руд, аэрофлот 238 - при флотации медно-свинцово-цинковых руд, аэрофлот 208 - при флотации медно-цинковых и медно-свинцово-цинковых руд.

Из фенольных аэрофлотов распространены аммиачный крезильный аэрофлот № 242 (при флотации медно-цинковых, медно-свинцово-цинковых и свинцово-цинковых руд) и аэрофлот 3I, представляющий собой 6%-ный раствор тиокарбанилида в аэрофлоте № 25 (при флотации медно-свинцово-цинковых и свинцово-цинковых руд).

В последнее время в США стали выпускать жидкий, мало растворимый в воде аэрофлот № 194, предназначенный для флотации цементной меди, и аэрофлот № 135 - в основном для флотации медно-молибденовых руд (в нейтральной и кислой среде) [1,2]

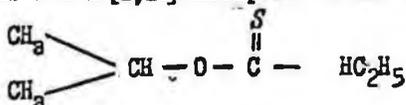
Из ксантогенатов широкое распространение за рубежом получил изопропилловый, который почти не уступает по собирательной способности бутиловому и значительно дешевле его. Ксантогенаты с большей длиной аполлярной части (бутиловый и амиловый) применяют реже и главным образом в сочетании с другими собирателями при очень малых расходах. Как основной собиратель амиловый ксантогенат широко применяют лишь при флотации труднообогатимых медно-никелевых руд в Канаде и Финляндии. Гексилловый ксантогенат используют всего на нескольких фабриках в ФРГ (Раммельсберг, Боллрих). Из общего количества расходуемых в США за последние годы сернистых собирателей примерно 57% ксантогенатов и 24% аэрофлотов; суммарная доля остальных собирателей (меркаптобензотиазольного типа, тиокарбаматов, минералов, тиокарбанилида) составляет менее 20%. Среди ксантогенатов, используемых в США, 85% составляют этиловый, изопропилловый и вторичный бутиловый ксантогенаты (табл. I).

Т а б л и ц а I

Удельный расход и потребление флотационных реагентов на обогатительных фабриках США при переработке руд тяжелых цветных и благородных металлов [3]

Наименование реагентов	Удельный расход, г/т	Доля тоннажа переработанных руд, %	Общее потребление в 1960 г., т
<b>С о б и р а т е л и</b>			
Фенольные аэрофлоты (№31, 242)	40	3	183,7
Спиртовые аэрофлоты (этиловый, № 208, 211, 238)	14,4	36	804,8
Меркаптобензотиазолы (аэро 404, 425)	12,7	8	173,5
Доу Z - 200	14	12	262,4
Минерек	14,9	15	362,3
Тиокарбамид	39,9	0,04	2,6
Амиловый ксантогенат калия	19,9	7,0	224,3
Этиловый ксантогенат калия	41,2	0,2	11,5
Изопропиловый ксантогенат калия	36,2	0,03	1,6
Вторичный бутиловый ксантогенат калия	13,6	0,05	0,9
Этиловый ксантогенат натрия	48	11	785,6
Изопропиловый ксантогенат натрия	20,4	30	936,4
Вторичный бутиловый ксантогенат натрия	36,2	6,0	288,7
Ксантогенаты	60,2	1,2	113,1
Тиокарбамат	10,0	0,9	13,5
Всего сернистых собирателей	27	-	4164,9
<b>П о д а в и т е л и</b>			
Цианид кальция	32,2	7	365,2
Цианид натрия	23,6	35	1271,1
Ферроцианид натрия	12,7	12	233,1
Цинковый купорос	123,1	2,5	469,7
<b>А к т и в а т о р ы</b>			
Медный купорос	305,3	7	3444,5
Сульфид натрия	23,1	8	277,3

Весьма распространено за рубежом применение таких соби-  
рателей как Z -200, минерексов и меркаптобензотиазола, которые,  
как правило, вводят в процесс в небольших количествах дополни-  
тельно к другому основному собирателю. В США, например, эти  
реагенты применяют при переработке 27% тоннажа руд. Из сернистых  
собирателей тионокарбаматы и минереки являются наиболее доро-  
гими и их применение возможно благодаря низким удельным расхо-  
дам (10-15 г/т). Суммарное потребление этих реагентов в США  
невелико: тионокарбаматов 275-300 т, минерексов 360 т в год.  
Из тионокарбаматов наиболее распространен реагент Z - 200,  
представляющий собой [4,13] изопропил-этил-тионокарбамат:



Под названием "минерек" в США, видимо, имеют в виду применя-  
емые реагенты двух типов: дисантогениды и смешанные тиоангид-  
риды ксантогеновой и других кислот.

Для зарубежных обогатительных фабрик характерно примене-  
ние сочетания реагентов-собирателей.

Так, при флотации медных руд применяют сочетание низшего  
ксантогената и высшего (фабрики Нью Корнедия и Пайма в США,  
Муфудира в Родезии, Кемпбелл в Канаде), низшего ксантогената  
или аэрофлота и реагента Z -200 (фабрики Бьют, Аяконда и  
Лавендер в США), низшего ксантогената и аполярного масла (фаб-  
рики Уайт Пайн, Кадумет и Текла в США). При флотации медно-  
цинково-пиритных руд используют сочетание этилового аэрофлота  
и меркаптобензотиазола (фабрики США), аэрофлота и амилового  
ксантогената (фабрики Канады).

При флотации медно-молибденовых руд применяют сочетание  
изопропилового ксантогената и реагента Z -200 (фабрика Эль  
Сальвадор в Чили), изопропилового ксантогената с аполярным  
маслом (фабрика Сан Мануэль в США), а также сочетания ксанто-  
гената с аэрофлотом (фабрика Сильвер Белл, США).

Для коллективной медно-свинцовой флотации при обогащении  
полиметаллических руд характерно применение сочетания слабых  
собирателей (аэрофлотов или низших ксантогенатов) при расходе  
20-60г/т и сильных собирателей - амилового ксантогената,

Z - 200 при расходе 4-14г/т (фабрика Пандора в США, Виханти  
в Финляндии, Булиден в Швеции).

Расширяется применение эмульсии углеводородных масел в качестве дополнительных собирателей при флотации медных сульфидных и окисленных руд и при флотации медно-молибденовых и окисленных цинковых руд (фабрики Уайт Лайн, Калумет и Текла, Нчанга, Колъези, Сан Мануэль, Горно). Расход углеводородов колеблется в пределах от 20 до 300г на тонну руды и в среднем составляет 150 г/т.

В ФРГ при флотации медистых песчаников предложено применять дизельные масла в качестве эффективных собирателей шамов сульфидов [5].

Катионные собиратели не получили распространения за рубежом при флотации руд цветных металлов, однако в Италии для обогащения окисленных цинковых руд разработан реагентный режим флотации, основанный на применении аминов.

Из немоногенных реагентов-собирателей за рубежом начинают применять аллиловые эфиры ксантогеновой кислоты (реагент S - 3302) при флотации медно-молибденовых руд (фабрика Сан Мануэль), маслообразные собиратели S - 3292 и S' - 3346 (для флотации медных сульфидных руд с существенной примесью окислов) [1, 6]. Аллиловый эфир аминоксантогеновой кислоты (S - 3302) как собиратель способствует повышению извлечения молибдена и в отличие от ксантогенатов относительно плохо флотирует пирит в слабощелочной среде.

Сравнительно недавно разработана, но, по-видимому, еще не нашла широкого применения новая серия флотореагентов - органические полисилоксаны, обладающие высокой селективностью при флотации свинцово-цинковых руд [7]. В ФРГ предложили использовать полисилоксаны в виде эмульсии, стабилизированной органическим поверхностноактивным азотсодержащим веществом (например, додецил-бензил-аминохлоридом).

Отличительной чертой режимов флотации на зарубежных фабриках является применение реагентов-собирателей при малых расходах (5-40 г/т), что способствует селективному разделению руды с высокими показателями. Даже такой слабый собиратель, как этиловый ксантогенат, обычно используют при расходах не более 100г/т, а часто - 30-60 г/т.

Исключением является применяемый при флотации труднообогатимых медно-никелевых руд амлиловый ксантогенат, расходы которого значительны, но все же не превышают 80-90 г/т.

Из вспенивателей на зарубежных фабриках наряду с сосновым маслом весьма широко применяют синтетические реагенты: метилизобутилкарбинол, Доуфрос, ТЭБ, метиламиловый спирт, Аэрофрос 65, 70 и 77. Общее потребление вспенивателя Доуфрос в США за последние годы составило 375-400 т в год, метилизобутилкарбинола - 860-880 т, реагента Аэрофрос 65-110-120 т и Аэрофрос 77 - около 100 т в год. Метилизобутилкарбинол наиболее широко применяют при флотации полиметаллических руд, Аэрофрос 65 - при флотации медных сульфидных руд (31,1 % тоннажа), Аэрофрос 77 - при переработке свинцово-цинковых руд (52,2% тоннажа). Состав вспенивателей Аэрофрос 65 и Аэрофрос 77, производимых компанией Американ Сайанамид, не расшифровывается, однако в технической литературе имеется указание, что Аэрофрос 77 представляет собой смесь высших спиртов с неразветвленной цепью [8].

В последнее время многие фабрики применяют комбинации на двух вспенивателей, обеспечивающие более точное ведение технологического процесса.

Особенно следует отметить все расширяющуюся сферу применения сочетаний синтетических вспенивателей с реагентами - регуляторами пены: древесным креозотом, маслом Баррет, апоярным маслом, реагентом *Exfoam* 636 (представляющим собой продукт, состоящий из полигликолей и керосина в соотношении примерно 1:1). Расход регуляторов пенообразования обычно не превышает 5-15 г/т. Подобные сочетания применяют в США при флотации медно-молибденовых руд (47,3% тоннажа), медно-цинковых руд (68,5% тоннажа) и свинцово-цинковых руд (38,7% тоннажа).

Реагентные режимы разделения коллективных концентратов на зарубежных фабриках разнообразны; так, только для разделения коллективных медно-молибденовых концентратов применяют пять различных реагентных режимов. Наряду со старыми, но довольно распространенными методами разделения коллективного медно-молибденового концентрата, основанными на подавлении сульфидов меди с помощью пропарки или ферроцианида (часто в сочетании с цианидом) с последующей флотацией молибденита апоярными маслами и вспенивателем, внедрены новые методы разделения.

При селекции с применением реагентов-окислителей стущенный концентрат последовательно обрабатывают смесью KCN и  $ZnSO_4$  и перекишь водорода при pH=6; в разделительную флотацию подают ферроцианид и апоярное масло, а в перечистки, кроме того,

гипохлорит натрия и феррицианид. Внедрение этого способа на американской фабрике Сан Мануэль позволило повысить извлечение маолибдена более чем на 10% (по сравнению с извлечением при применении только гипохлорита и ферроцианида).

Широкое распространение на зарубежных медно-молибденовых фабриках получил (особенно в последнее время) способ разделения коллективных концентратов с помощью подавления медных минералов реагентом Ноукс ( $P_2S_5 + NaOH$ ) при pH=8-10,5.

В США запатентован метод разделения медно-молибденовых концентратов с пропаркой пульпы в автоклавах под давлением при температуре 150-350°C в течение двух-трех часов. В присутствии кислорода воздуха реагентные покрытия на минералах разрушаются, а поверхность сульфидов (кроме молибденита) частично окисляется, что позволяет затем провести селективную флотацию молибденита. Подача пульпы в автоклав и ее отвод производится непрерывно с помощью центробежного насоса высокого давления.

В практике флотации медно-цинково-пиритных руд на фабриках Канады внедрен эффективный режим селективной флотации минералов меди от сфалерита, пирита и пирротина при использовании в качестве подавителей сульфата натрия и очень малых дозировок цианида (10 г/т) в содовой среде с введением операции дополнительной аэрации пульпы.

На канадской фабрике Джеко вместо соды в качестве регулятора среды внедряют  $NH_4OH$ , а для подавления сфалерита - сульфит аммония вместо сульфата натрия [9].

Основной подавитель сфалерита на фабриках США - цианид кальция и цианид натрия; цинковый купорос применяют редко.

В Финляндии для разделения медно-цинкового концентрата в качестве подавителей сфалерита предполагается использовать  $Fe_2(SO_4)_3$  и декстрин [10].

На фабриках в Конго коллективный медно-цинковый концентрат разделяют при депрессии труднофлотированной разности борнита ферроцианидом.

При флотации медно-свинцово-цинковых руд на многих фабриках применяют в цикле селекции коллективного медно-свинцового концентрата сернистый газ как активатор халькопирита и хромпик для дополнительной депрессии галенита; медную флотацию производят в кислой среде с реагентом Z-200. В этих условиях флотоактивность халькопирита и галенита настолько различна, что селекция идет весьма эффективно.

Вместе с тем ряд фабрик работает по схеме с флотацией галенита из медно-свинцового концентрата; медные минералы подавляют либо цинидом, либо гипохлоритом кальция.

При селективной флотации свинцово-цинковых руд на европейских фабриках (Италия, ФРГ) в качестве подавителя сфалерита широко применяют реагент Экоф Р-82 (натрий-цинк-яросульфат), иногда в сочетании с цинидом. Есть указания [1], что в некоторых случаях реагент ЭКОФ Р-82 по эффективности разделения заметно превосходит стандартный подавитель - цинид натрия (при одинаковых потерях свинца и цинка в хвостах показатели селективности улучшаются).

Среди зарубежных фабрик, перерабатывающих руды цветных металлов, с наиболее высокими показателями при минимальных расходах реагентов работают в США - Артур и Магна, Анаконда, Калумет и Гекла, Сан Мануэль, Пандора; в Канаде - Бетлехем, Норранда, Флин Флон, Ист Сулливан, Джерси, Нью Калумет; в Чили - Эль Сальвадор, Чукикамата; в Перу - Токепала; в Финляндии - Виханти; в Италии - Монтевекио; в Австралии - Зинк Корпорейн, Брокен Хилл и другие.

Особенно низкие удельные расходы флотореагентов всех классов отмечаются на ряде медных и медно-молибденовых фабрик в США и Чили. Так, на фабрике Бьют в качестве собирателей применяется сочетание этилового ксантогената и реагента Z - 200 при расходах соответственно 11 и 6 г/т, на фабрике Анаконда - сочетание изопропилового ксантогената и Z - 200 при расходах 9 и 14 г/т, на фабрике Лавендер - сочетание содового аэрофлота (11 г/т) и Z - 200 (4г/т), на фабриках Эль Сальвадор и Чукикамата - сочетание изопропилового ксантогената (20-25 г/т) с аэрофлотом № 238 (3г/т) или реагентом Z - 200 (10 г/т), на фабриках Артур и Магна - сочетание дикрезиндифитофосфата (10г/т) и аполлярного масла (7 г/т). Удельные расходы вспенивателей на этих фабриках колеблются обычно в пределах 10-25 г/т.

При обогащении сложных полиметаллических руд некоторые фабрики в США и Канаде также применяют режимы, характеризующиеся низкими удельными расходами реагентов. Например, расход сочетания собирателей изопропилового ксантогената и Аэро 404 - на американской фабрике Федерал составляет соответственно 21 и 8 г/т. На фабрике Пандора расход сочетания трех собирателей составляет (в г/т): Аэро 404-20, изопропилового ксантогената-19, амидового ксантогената - 3.

## АНАЛИЗ РЕАГЕНТНЫХ РЕЖИМОВ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК США

На обогатительных фабриках США в 1960 г. переработано около 200 млн.т полезных ископаемых, получено 21,5 млн.т концентратов и израсходовано при обогащении 385,2 тыс.т реагентов общей стоимостью 21,8 млн.долл.[3]

В 1960 г. из 202 действующих в США фабрик обогащением руд тяжелых цветных и благородных металлов были заняты 96 с суммарной производительностью 546400 т в сутки (табл. 2). Общее потребление флотореагентов различных классов (табл. 3) при переработке руд на этих фабриках составило 246,4 тыс.т. В 1960 г. по сравнению с 1935 г потребление реагентов в США при флотации сульфидных руд увеличилось в 6,3 раза, а производительность фабрик по руде - в 6,9 раза, в связи с чем средний суммарный удельный расход флотореагентов за 25 лет, согласно официальной статистике почти не изменился (1,59 кг/т в 1960 г. против 1,49 кг/т в 1935 г).

В 1965 г. в связи с ростом переработки руд цветных металлов потребление флотореагентов на обогатительных фабриках США увеличилось и ориентировочно составило 298 тыс.т (см. табл.3). При переработке руд тяжелых цветных металлов минимальные расходы флотореагентов достигнуты при обогащении свинцово-цинковых руд, а максимальные при обогащении медно-цинково-пиритных. Более 90% всего количества реагентов расходует в США при обогащении медных и медно-молибденовых руд в связи с огромными масштабами их переработки (140-170 млн.т руды в год).

В США с применением сильного сульфгидридного собирателя - вторичного бутилового и амливого ксантогената - перерабатывают всего 32,4 % общего тоннажа медных руд (табл. 4). При флотации основного количества перерабатываемых медных сульфидных руд (66% тоннажа) в качестве собирателя используют более дешевый изопропиловый ксантогенат натрия, обеспечивающий получение показателей флотации не хуже, чем бутиловый и амлиновый ксантогенаты.

Этиловый ксантогенат и фекольные аэрофлоты, ранее широко применявшиеся на фабриках США, в последнее время, видимо, не используют для флотации сульфидных медных руд. В сравнительно небольших масштабах используют в качестве собирателя также спиртовый этиловый (содовый) аэрофлот (16,8% тоннажа руд).

Т а б л и ц а 2

Удельный расход фторреактивов различных классов при обогащении руд тяжелых цветных и благородных металлов в США [3]

Тип руд	Число фабрик 1960г. 1965 г.	Суммарная про- изводительность фабрик. т/сутки 1960г. 1965г.	Переработано руд, млн.т 1960г. 1965г.	Удельный расход реактивов, г/т <sup>х</sup>				фло-ре- ак-тив- ные тн клас- сов					
				СОСИ- ра- тели	вспе- нива- тели	моли- фика- горы	подат- ку- тели		ак- ти- торы				
Медные	18	21	158200	240000	44,156	71,00	58,4	37,0	1088,6	3,6	-	706	1120
Медно- молиб- деновые	12	13	297500	320000	95,083	103,0	81,5	34,0	1950	8,2	11,3	25,4	1845
Медно- цинково- пиритные	8	8	10000	10000	2,378	3,30	135	60	3262	100	379	10,4	3830
Медно- свинцово- цинковые	29	31	28400	40000	5,437	7,50	88	48	1139	363	265	2,3	1520
Свинцово- цинковые	25	26	50700	57000	8,195	9,60	47	45	1652	27	212	19,8	468
Золото- серебряные	4	-	1600	-	0,132	-	110,1	30,8	113,3	19,5	67,9	-	139,5

г) Удельный расход фторреактивов соответствует фактически переработанному с каждым из них количеству руды.

хх) Оценка.

В США примерно 50% тоннажа медных руд перерабатывают с применением двух реагентов-собирателей. Сравнительно большую долю медных руд (37,4%) перерабатывают с применением нового собирателя - изопропил-этил-тионоккарбамата (реагент Z-200). Реагент Z-200 дорогой, поэтому его обычно вводят в процесс в небольших количествах, дополнительно к другому основному собирателю, например ксантогенату. Однако на тех фабриках, где его применение позволяет резко сократить общий расход реагентов-собирателей, реагент Z-200 применяют отдельно. На фабрике Бьют тионоккарбамат применяют для флотации песковой фракции руды, в то время как шламовую флотируют с этиловым ксантогенатом. Введение в пульпу тионоккарбаматов позволяет несколько улучшить качество концентрата и повысить извлечение меди.

Несмотря на то, что подавляющее большинство применяемых собирателей являются относительно слабыми реагентами, средневзвешенный расход сернистых собирателей на фабриках США невисок и не превышает 40 г на 1 т руды. В качестве дополнительного собирателя при среднем расходе 160 г/т используют углеводородные масла (около 14% тоннажа медных руд).

Характерным для американской практики флотации является широкое (не менее чем на 75% фабрик) применение синтетических вспенивателей - Доуфрос, Аэрофрос 65 и метилизобутилкарбинола отдельно и в сочетании с другими вспенивателями. При переработке более 50% тоннажа медных руд применяют одновременно два вспенивателя.

Отличительная черта режимов флотации на американских фабриках - расширяющееся применение неорганических фосфатов и полифосфатов, используемых в качестве модификаторов флотации.

Для уменьшения флотиремости пирита, а также для создания среды применяют известь, расходы которой сравнительно невысоки; примерно около 1/5 тоннажа медных руд в США для усиления подавления пирита перерабатывают с небольшими дозировками цианидов.

Применение флокулянтов в процессе ступенчатого сгущения медных концентратов большого распространения в США не получило.

На медных обогатительных фабриках США, перерабатывающих сульфидные медные руды со средним содержанием меди 0,92%, получают медные концентраты с содержанием меди 21-23% при извлечении

Потребление фторреагентов, раз  
тяжелых цветных и бла

Общее потребление реаген						
собиратели		вспениватели		модификаторы		пода
1960 г.	1965г. <sup>x/</sup>	1960г.	1965г.	1960г.	1965г.	1960г.
2586,8	4146	1628,6	2667	39005,8	61800	34,2
7759,4	8394	3268,2	3500	162622	185000	1057,2
320,0	445	141,9	198	7523,7	10760	130,1
459,7	640	250	350	5095	7000	1287,4
352,8	420	339,9	400	1381,4	1650	157,7
14,6	-	4,1	-	0,42	-	0,16

<sup>x/</sup>Оценка

Т а б л и ц а 3

личных классов при обогащении руд  
городных металлов в США [3]

тов, т						
витами	активаторы		флокулянты		реагенты всех классов	
	1960г.	1965г.	1960г.	1965г.	1960г.	1965г.
52	-	-	6213,9	10200	49469,5	79500
-	82,4	115	871	1015	175700	190000
320	874,2	1200	22,9	33	9112,8	12600
-	1177,2	-	4,2	6,5	8273,6	11400
185	1566,9	1850	35,1	48	3333,3	4500
-	4,6	-	-	-	23,9	-

Т а б л и ц а 4

Удельный расход и масштаб потребления флюороагентов, применяемых на медных фабриках США [3]

Класс реагентов	18 фабрик (суммарная производительность 158200 т/сутки)		
	Наименование реагентов	Расход, г/т	Доля тоннажа переработанных руд, %
Собиратели	Изопропиловый ксантогенат	25,6	66,2
	Ампиловый ксантогенат	23,0	16,9
	Сочетание минерала и вторичного бутилового ксантогената	71	15,5
	Этиловый аэрофлот	13	16,8
	Реагент 404 (меркаптобензотиазол)	13	0,95
	Тионоккарбамат (Z - 200)	14,4	37,4
	Всего в среднем	39,5	
	Углеводородные масла	160	13,8
Вспениватели	Сосновое масло	42,8	36,7
	Аэрофрос 65	7,2	31,4
	Доуфрос	11,2	52,0
	Метилизобутилкарбиол	10	29,0
	Другие	67,5	14,8
	Всего в среднем	37	
Подавители и модификаторы	Известь	1080	81,5
	Цианид натрия-цианид кальция	3,6	20,9
	Фосфаты	2,7	51,0
	Силикат натрия	900	0,01
	Кальцинированная сода	1350	0,01
	Всего в среднем	1082	
Флокулянты	Аэрофлок 550	58,5	0,3
	Сепаран	4,5	2,0
	Другие	1350	10,4
	Всего в среднем	706	
	Средний суммарный расход	1120	

83-85%. Извлечение благородных металлов в медный концентрат составляет около 80% (при содержании золота и серебра в концентрате соответственно 1,5 г/т и 70 г/т).

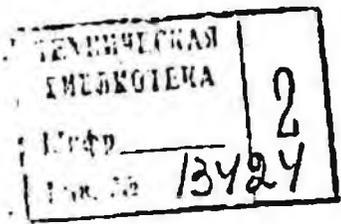
Средний расход всех сернистых собирателей при флотации медно-молибденовых руд на фабриках США составляет 14 г/т (табл. 5). Более 70% тоннажа медно-молибденовых руд перерабатывают с относительно слабыми собирателями медных минералов (этиловый ксантогенат, этиловый азрофлот, изопропиловый ксантогенат, минерек), что облегчает последующее разделение коллективных медно-молибденовых концентратов и способствует уменьшению расхода подавителей в этом цикле. Сравнительно новым в американской практике флотации медно-молибденовых руд является применение в качестве собирателей реагентов минерек и тионоккарбаматов - с использованием этих реагентов перерабатывают 37% тоннажа руд.

Согласно официальной статистике, при переработке почти половины тоннажа медно-молибденовых руд в США применяют углеводородные масла. Кроме того, значительная часть так называемых "других собирателей", применяемых при переработке 33% тоннажа руд, точный состав которых засекречен фирмами, вероятно, представлена реагентами типа аполирных масел [1].

В США при подаче углеводородного масла в измельчение или грубую коллективную флотацию в качестве вспенивателей применяют сосновое масло, метилизобутилкарбинол или Доуфрос, пенообразующее действие которых мало снижается при введении углеводородов. Степень окисленности американских медно-молибденовых руд невелика - в США только 7,6% их общего тоннажа перерабатывают с применением в цикле коллективной медно-молибденовой флотации сернистого натрия в качестве активатора.

На фабрике Чино для сульфидизации окисленных минералов меди используют гидросульфид натрия в количестве 55 г/т [12].

При флотации медно-молибденовых руд широко используют в качестве подавителей пустой породы жидкое стекло и фосфаты (74% тоннажа руд). При стужении концентратов применяют синтетический флокулянт сепаран (35,8% тоннажа руд).



Т а б л и ц а 5

Удельный расход и масштаб потребления флотореагентов,  
применяемых на медно-молибденовых фабриках США [3]

Класс реа- гентов	12 фабрик (суммарная производительность 297500 т/сутки)		
	Наименование реагентов	Расход, г/т	Доля тон- нажа пере- работанных руд, %
Собиратели	Амиловый ксантогенат калия	20	9,2
	Изопропиловый и вторичный бутиловый ксантогенат натрия	5,4	13,0
	Этиловый ксантогенат натрия	29,2	14,1
	Этиловый аэрофлот	10,0	44,0
	Минерек	7,0	18,1
	Тионокрбамат ( Z -200)	9,0	19,0
	Всего в среднем	14,0	
	Углеводородное масло	17,0	49,5
	Другие собиратели	184	33,0
Вспенива- тели	Сосновое масло	11	65,5
	Креозот-крезиловая кислота	24	47,3
	Доуфрос-метилизобутилкарбинол	21	20,5
	Метилизобутилкарбинол	32	35,8
	Всего в среднем	34	
Подавители и модифика- торы	Декстрин-гидросульфид натрия	8	29,6
	Цианид натрия	14	47,0
	Ферроцианид натрия	13	17,0
	Известь	1945	93,6
	Фосфаты	5	44,0
	Сода кальцинированная	11	7,8
Силикат натрия	19	30	
Флокулянты	Селаран	13	35,8
Средний суммарный расход		1845	

Из медно-молибденовых руд, содержащих в среднем 0,7% меди и 0,01-0,05% молибденита, на фабриках США получают медные концентраты со средним содержанием меди 35% и молибденовые концентраты со средним содержанием молибдена 55%; извлечение меди и молибдена в одноименные концентраты составляет 84 и 55-70%.

Более 85% общего количества перерабатываемых медно-цинково-пиритных руд в США флотировать с применением слабых реагентов-собирателей - этилового аэрофлота и этилового ксантогената, расход которых составляет 77-166 г/т. Сочетания реагентов-собирателей, за исключением комбинации этиловый аэрофлот-меркаптобензотиазол, при флотации данных руд в США не используют.

Малому расходу слабых собирателей соответствует и малый расход реагентов-подавителей.

Основные подавители сфалерита - цианид кальция при расходе III г/т и цианид натрия 12 г/т. С применением цианида кальция перерабатывают около 70% тоннажа медно-цинковых руд. Циановый купорос при расходе 275 г/т применяют редко (всего 7% общего количества перерабатываемых руд).

При переработке медно-цинковых руд со средним содержанием около 1% меди и 1,4% цинка в одноименные концентраты извлекают 88-90% меди и 74% цинка; медный концентрат содержит около 24% меди и 1,3-1,4% цинка, цинковый концентрат содержит 55% цинка и около 0,7-0,8% меди. Выделяемый пиритный концентрат содержит 38-40% серы при извлечении 83% (содержание серы в руде около 17%). Потери металлов в разноименных концентратах невелики; так, извлечение меди в цинковый концентрат составляет 5%, а цинка в медный - всего 1%.

Ассортимент вспенивателей, применяемых в США при флотации медно-цинково-пиритных руд, невелик, причем сосновое масло явно вытесняется более селективным вспенивателем: сочетанием креозота и синтетического спирта - метилизобутилкарбинола.

На американских фабриках широко распространено применение флокулянтов при обезвоживании концентратов. Эти реагенты применяют при переработке свыше 90% тоннажа медно-цинково-пиритных руд, причем в качестве флокулянтов используют и сочетание природного полисахарида - гуартека с квасцами и синтетический флокулянт полиакриламидного типа - сепаран (табл. 6).

Т а б л и ц а 6

Удельный расход и масштаб потребления фторореагентов,  
применяемых на медно-цинково-пиритных фабриках США [3]

Класс реагентов	8 фабрик (суммарная производительность 10000 т/сутки)		
	Наименование реагентов	Расход, г/т	Доля тоннажа перерабо- танных руд, %
Собиратели	Аэро 404 - этиловый аэрофлот	77	30,4
	Вторичный бутиловый ксантогенат калия	14	2,3
	Этиловый ксантогенат натрия	161	55,6
	Изопропиловый ксантогенат натрия	66	4,5
	Ксантогенаты	86	4,5
	Тиокарбанилид	40	2,7
	Всего в среднем	135	
Вспениватели	Креозот-метилизобутилкарбинол	76	68,5
	Сосновое масло	25	31,5
	Всего в среднем	60	
Активаторы	Медный купорос	316	100
	Другие	100	61,2
	Всего в среднем		
Подавители	Аэро 633	68	0,9
	Цианид кальция	111	70,2
	Цианид натрия	12	24,3
	Цинковый купорос	275	7,2
	Всего в среднем	100	
Модификаторы	Известь	930	97,2
	Другие	3692	68,4
	Всего в среднем	3262	
Флокулянты	Квасцы-гуартек	14	65,5
	Селаран	1,4	30,8
Средний суммарный расход 3830			

Применение фенольных аэрофлотов при флотации полиметаллических медно-свинцово-цинковых руд на фабриках США значительно сократилось. Аэрофлоты № 15 и № 25 в настоящее время вообще не используют. 28% общего тоннажа руд перерабатывают с применением преимущественно в коллективной свинцово-медной флотации аэрофлота № 31, представляющего собой 6%-ный раствор тиокарбанилида в аэрофлоте № 25. При флотации небольшого количества руд (7% тоннажа) в основном в цинковой флотации применяют амиачный крезильовый аэрофлот (аэрофлот № 242). Доля руд, перерабатываемых с использованием спиртовых аэрофлотов (аэрофлоты 208, 238 и этиловый), подаваемых преимущественно в цинковую флотацию, составляет 30,3% (табл. 7).

Главными собирателями для полиметаллических руд являются различные ксантогенаты; амиловый и вторичный бутиловый ксантогенаты используют при флотации примерно 39% тоннажа руд, а ксантогенаты с более короткими углеводородными радикалами — изопропидовый и этиловый — применяют при флотации примерно 60% тоннажа руд.

Новым в американской практике является применение минералов и в особенности тионоккарбаматов. Доля руд, перерабатываемых с применением тионоккарбаматов, составляет около 25%. Тионоккарбаматы дозируют либо в коллективную медно-свинцовую флотацию, либо при разделении медно-свинцовых концентратов (при подавлении галенита и флотации медных минералов). На одной из фабрик при разделении медно-свинцовых концентратов галенит подавляют крахмалом и хромпиком, минералы меди активируют сернистой кислотой, а в качестве собирателя применяют реагент Z — 200 (изопропил-этил-тионоккарбамат).

Для американских полиметаллических фабрик характерна сравнительно малая доля руд, перерабатываемых с фенольными вспенивателями — крезильовой кислотой и креозотом (31% тоннажа). Основную массу руд перерабатывают с синтетическими вспенивателями — метилизобутилкарбинолом, Доуфрос и Аэрофрос 65. 89% общего тоннажа руд флотируют со спиртовым вспенивателем метилизобутилом.

На американских полиметаллических фабриках широко распространено применение комбинаций вспенивателей — около 70% тоннажа руд флотируют либо с сочетанием двух различных вспенивателей, применяемых в одном цикле, либо с использованием разных вспенивателей в разных циклах флотации. При обезвоживании концентратов применяют синтетические флокулянты, главным образом полиакриламидного типа.

Т а б л и ц а 7

Удельный расход и масштабы потребления флотореагентов  
на медно-свинцово-цинковых фабриках США [3]

Класс реагентов	29 фабрик (суммарная производительность 28400 т/сутки)		
	Наименование реагентов	Расход, г/т	Доля тоннажа переработанных руд, %
Собира- тели	Вторичный бутиловый ксантогенат натрия	41	10,8
	Изопропиловый ксантогенат натрия	51	18
	Этиловый ксантогенат натрия	99	13,5
	Изопропиловый ксантогенат калия	36	0,54
	Этиловый ксантогенат калия	40	5,4
	Амилловый ксантогенат калия	16	29,7
	Ксантогенаты	56	27
	Аэрофлот 31	60	27,9
	Аэрофлот 208-аэрофлот Z - 200	15	17,1
	Аэрофлот 242	19	7,2
	Этиловый аэрофлот	56	12,6
	Реагент Аэро 404	56	7,2
	Минерек	20	7,2
	Аполярное масло	1	20,7
	Тионокарбамат (Z - 200)	10	25,2
	Всего в среднем	88	
Вспени- ватели	Сосновое масло	55	18
	Кремльовая кислота	22	18,9
	Доуфрос	17	27,9
	Метил-амиловый спирт	24	36,9
	Метилдиобутилкарбинол	26	52,2
	Аэрофрос 65	29	1,8
	Масло Баррет	37	11,7
	Всего в среднем	48	
Активаторы	Медный купорос	328	60,3
	Сернистый натр	58	28,8
	Всего в среднем		

Продолжение таблицы 7

Класс реагентов	29 фабрик (суммарная производительность 28400 т/сутки)		
	Наименование реагентов	Расход, г/т	Доля тоннажа переработанных руд, %
Подавители	Цианид натрия	155	40,5
	Цианид калия	338	9
	Цинковый купорос	169	44,1
	Сульфит натрия	285	22,5
	Аэро- 620-сульфонат лигнина	21	23,4
	Всего в среднем	363	
	Сода кальцинированная	171	19,8
	Известь	1256	71,1
	Сода каустическая	56	11,7
	Фосфаты	4	27,9
	Всего в среднем	1139	
Средний суммарный расход		1520	

Из медно-свинцово-цинковых руд, содержащих в среднем 0,5% меди, 2,5% свинца, 3,3% цинка, извлекают в одношленные концентраты около 73% меди, 82% свинца и 86% цинка. Медные концентраты, получаемые на полиметаллических фабриках США, в среднем содержат 25% меди, 4% свинца и около 3% цинка; свинцовые концентраты содержат 57% свинца, 1,7% меди, 5-6% цинка; цинковые концентраты содержат 53% цинка, 0,4% меди и 1,8% свинца.

В цикле флотации свинцово-цинковых руд на американских фабриках используют в качестве собирателей изопропиловый и этиловый аэрофлоты и ксантогенаты (табл.8). Особенностью практики флотации свинцово-цинковых руд в США является применение аэрофлотов не только в цинковом, но и в свинцовом цикле; с применением ксантогенатов перерабатывают только 48% тоннажа руд, остальное количество флотируют с аэрофлотом. При этом используется не только аэрофлот № 3I, который издавна зарекомендовал себя как хороший собиратель свинцовых минералов, но и спиртовые аэрофлоты № 2II и этиловый (доля руд, перерабатыва-

емых с аэрофлотом № 31, составляет около 21%). В США при флотации свинцово-цинковых руд отмечается тенденция к сокращению применения фенольных вспенивателей, хотя и в меньшей степени, чем для медно-свинцово-цинковых. Фенольные вспениватели-каменноугольный и древесный креозоты - способны образовывать пены повышенной вязкости, в результате чего несколько повышается извлечение свинцовых минералов (особенно из руд, затронутых окислением). Древесный креозот применяют как добавку к другому основному вспенивателю для улучшения качества пены.

Синтетические вспениватели типа спиртов - Аэрофрос 65, Аэрофрос 77, метилизобутилкарбинол - в США применяют при переработке около 70% тоннажа свинцово-цинковых руд. В особенности широко используют вспениватель Аэрофрос 77 (52,2% тоннажа руд); вспениватель Доуфрос - эфир полипропиленгликоля, применяют мало (около 10% тоннажа руд).

Для американских фабрик, перерабатывающих свинцово-цинковые руды, характерно широкое применение органических высокомолекулярных флокулянтов при обезвоживании концентратов - около 75% тоннажа руд перерабатывают с применением этих флокулянтов (табл. 8). Наиболее широко (61% тоннажа руд) применяют флокулянты полиакриламидного типа (сепаран, Аэрофлок 550). Из руды, содержащей в среднем 0,9-1% свинца и около 3,5% цинка, на фабриках США получают свинцовые концентраты со средним содержанием свинца 70% при извлечении 93% и цинковые концентраты с содержанием цинка 58-60% при извлечении 92%.

Основное количество золото-серебряных руд в США перерабатывают с использованием в качестве собирателя главным образом ксантогената и меркаптобензотиазола (табл. 9).

При среднем содержании золота в перерабатываемых рудах 28 г/т и серебра 120-125 г/т получают концентраты с содержанием золота около 1 кг/т при извлечении 92% и серебра 4,5 кг/т при извлечении 93%.

Т а б л и ц а 5

Удельный расход и масштаб потребления фторореагентов,  
применяемых на свинцово-цинковых фабриках США [3]

Класс реагентов	25 фабрик (суммарная производительность 50700 т/сутки)		
	Наименование реагентов	Расход, г/т	Доля тоннажа переработанных руд, %
Собиратели	Аэрофлот 3I	33	20,7
	Аэрофлот 2II	50	16,2
	Аэрофлот 242	27	6,12
	Этиловый аэрофлот	44	21,6
	Этиловый ксантогенат калия	97	9,9
	Изопропиловый ксантогенат калия	20	37,8
	Всего в среднем	47	
Вспениватели	Аэрофрос 65	7	8,1
	Аэрофрос 77	17	52,2
	Масло Баррет (креозот каменноугольный)	63	12,6
	Доуфрос	23	9,9
	Древесный креозот	17	38,7
	Метилэобутилкарбинол	31,8	8,1
	Сосновое масло	78	17,8
	Всего в среднем	45	
Активаторы	Медный купорос	284	61,2
	Сернистый натр	33	38,7
	Всего в среднем	" 212	
Подавители	Аэро 610	9	1,8
	Цианид кальция	45	2,7
	Цианид натрия	24	36,9
	Цинковый купорос	16	11,7
	Всего в среднем	27	

Продолжение таблицы 8

Класс реагентов	25 фабрик (суммарная производительность 50700 т/сутки)		
	Наименование реагентов	Расход, г/т	Доля тоннажа переработанных руд, %
Модификаторы	Известь	1386	9,9
	Жидкое стекло	2260	11,7
	Всего в среднем	1652	
Флокулянты	Аэрофлок 16	45	1,2
	Аэрофлок 550	1,8	18,3
	Гуартек	225	12,0
	Селаран	15,7	43,0
	Всего в среднем	19,8	
Средний суммарный расход		468	

Т а б л и ц а 9  
Удельный расход и масштаб потребления флотореагентов, применяемых на золото-серебряных фабриках США [3]

Класс реагентов	4 фабрики (суммарная производительность 1600 т/сутки)		
	Наименование реагентов	Расход, г/т	Доля тоннажа переработанных руд, %
Собиратели	Аэрофлот 52 - аэрофлот 208	18,1	
	Аэро 404-Аэро 425	35,8	54,2
	Аэро ксантогенат 301	54,3	97,1
	Аэро ксантогенат 303 -Аэро ксантогенат 350	35,8	54,2
	Всего в среднем	110	

## Продолжение таблицы 9

Класс реагентов	4 фабрики (суммарная производительность 1600 т/сутки)		
	Наименование реагентов	Расход, г/т	Доля тоннажа переработанных руд, %
Вспениватели	Аэрофрос 77	44,8	8,9
	Доуфрос	38,5	40,0
	Другие	22,6	51,1
	Всего в среднем	31	
Активаторы	_____	68	51,2
Подовители	_____	20	6,2
Модификаторы	Сода кальцинированная	112	2,8
	Средний суммарный расход	180	

## ОБЗОР РЕАГЕНТНЫХ РЕЖИМОВ ФЛОТАЦИИ РУД ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

Флотация медных сульфидных руд

Вкрапленность сульфидов в медных сульфидных рудах, в которых медь представлена главным образом первичными минералами, как правило, довольно крупная. При флотации сульфиды легко отделяются от пустой породы. При наличии в руде пирита, обычно тесно связанного с халькопиритом, для успешной селективной флотации необходимо более тонкий помол. Селективная флотация медных минералов может быть обеспечена подавлением пирита большими расходами извести или цианида. Однако наличие в этих рудах золота и серебра иногда не позволяет применять такой режим. В таких случаях часто применяют способы "мягкой" депрессии пирита - аэрацию пульпы и дозировку цианида при небольших расходах (на фабриках Канады).

В некоторых случаях для увеличения извлечения золота используют медный купорос как активатор халькопирита и пирита или проводят флотацию при низком значении pH (подача серной кислоты).

Из собирателей при флотации данных руд наибольшее распространение получили амиловый ксантогенат, аэрофлоты (в основном спиртовые), изопропиловый ксантогенат и реагент Z-200. Сочетания собирателей не применяют при флотации руд, в которых медь представлена преимущественно первичными минералами, но на некоторых фабриках используют в качестве дополнительных собирателей Z-200, минерек и Аэро-404 (табл. 10).

На фабрике Керетти (Финляндия), перерабатывающей руду, представленную халькопиритом, пиритом и пирротинном в кварцевой породе, пульпу перед флотацией подвергают аэрации [3]. Концентрат основной флотации дважды перечищают. Хвосты перечисток объединяют с концентратом контрольной флотации, стущают и возвращают в аэраторы в голове процесса.

Подавление пирита в медном цикле достигается подачей извести до pH=11,5 и цианида (20 г/т); в качестве собирателя применяют амиловый ксантогенат, в качестве вспенивателя — флотол (табл. 11). Медный концентрат содержит около 20% меди и такое количество пирита, чтобы обеспечить содержание серы приблизительно 35% (серу используют как горючее при автогенной плавке). Из хвостов медного цикла при pH=5,6 извлекают пирит и пирротин, применяя серную кислоту, медный купорос, изопропиловый ксантогенат и флотол (табл. 11).

На фабрике Лепанто (Филиппины) производительностью 2100 т/сутки обогащают руду, содержащую энаргит, лузонит, халькопирит, золото и серебро в кварцево-серпичитовой породе (лузонит — чрезвычайно редкий минерал, имеющий тот же состав, что и энаргит, но флотирующийся несколько хуже). В цикле первичной флотации при pH=5,6 и плотности пульпы 42% твердого флотируют все сульфиды с применением минерек меркаптобензолтиоизола, аэрофлота 25 и соснового масла (см. табл. 11). Коллективный концентрат перечищают, а хвосты перечистки объединяют с концентратом контрольной флотации, дозамельчают и возвращают в голову флотации.

Коллективный концентрат после перечистки стущают до 70-80% твердого, перемешивают в течение 30 минут с известью и при pH=10,5 подвергают селективной флотации. Медные минералы флотируют без использования какого-либо собирателя и пенообразователя, применяя только подавители пирита (цианид и цинковый купорос).

Хвосты медной флотации доизмельчают и проводят дофлотацию медных минералов с бутиловым ксантогенатом. Извлечение меди на фабрике составляет 95-96%, извлечение золота - около 77%.

Т а б л и ц а 10

Средневзвешенный расход реагентов и масштабы их потребления при обогащении медных сульфидных руд различных типов

Класс реагентов	Наименование реагентов	Медные минералы в руде					
		преимущественно первичные		первичные и вторичные в примерно равном соотношении		преимущественно вторичные	
		расход, г/т	доля тоннажа, %	расход, г/т	доля тоннажа, %	расход, г/т	доля тоннажа, %
	Этиловый ксантогенат	88,7	6,2	14,8	41,5	70,0	27,0
	Изопропиловый ксантогенат	19,0	25,9	16,0	44,6	100,0	40,3
Сосби-ра-те-ли	Бутиловый ксантогенат	3,0	5,6	-	-	-	-
	Амидовый ксантогенат	45,6	38,8	18,6	28,9	14,0	27,0
	Аэрофлоты	37,0	36,6	15,0	17,6	12,4	61,7
	Шнаерек	31,0	8,7	-	-	-	-
	Z - 200	4,0	15,2	9,9	46,5	4,0	32,7
	Реагент 404	16,0	5,6	-	-	-	-
	Аполярное масло	-	-	-	-	184	40,3
	Средний расход	46,0	.	25,9		123 (68,5) <sup>1)</sup>	
Беспен-ли	Сосновое масло	61,3	20,0	23,5	60,0	35,0	29,0
	Крезол	50,3	31,3	-	-	-	-
	Флотол	9,0	6,7	-	-	-	-
	Гексанол	26,0	15,2	13,0	23,9	-	-
	Метилэобутилкарбинол	-	-	24,3	34,0	-	-
	Доуфрос	22,5	5,1	-	-	22,5	73,1
	ТЭБ	-	-	-	-	27,0	26,9
	ВНВ	25,0	21,1	-	-	-	-
Средний расход	33,0		25,6		33,9		

Класс реагентов	Наименование реагентов	Медные минералы в руде					
		преимущественно первичные		первичные и вторичные в примерно равном соотношении		преимущественно вторичные	
		расход, г/т	доля тоннажа, %	расход, г/т	доля тоннажа, %	расход, г/т	доля тоннажа, %
	Известь	750,0	74,0	3330,0	100,0	1150,0	59,7
	Сода	1750,0	14,2	-	-	-	-
	Серная кислота	500,0	2,8	-	-	-	-
	Цианистые соли	21,7	42,8	10,0	17,6	-	-
	Цинковый купорос	22,4	10,7	-	-	-	-
	Медный купорос	220,0	3,4	-	-	-	-
	Сернистый натр	5,0	19,6	140,0	2,9	-	-
	Декстрин	-	-	-	-	18,0	27,0
	Фосфаты	-	-	11,8	32,4	-	-
	Средний расход	826,0		3350,0		693,0	
	Средний расход реагентов	960,0		3401,0		850,0	

х) Без учета аполярных собирателей.

Руды, в которых медь связана как с первичными, так и вторичными минералами в приблизительно равном соотношении, характеризуются резко выраженной переменной вкрапленностью полезных минералов, наличием окисленных форм медных минералов, и как правило, отсутствием золота и серебра. Поэтому при флотации этих руд часто применяют сильную депрессию пирита известью.

Из собирателей при флотации данных руд часто используют комбинации изопропилового ксантогената и реагента Z - 200. Основными вспенивателями являются сосновое масло, гексанол и метилдиэобутилкарбинол, расход которых обычно невелик ввиду довольно широкого использования в качестве собирателя спиртовых аэрофлотов. При флотационном обогащении данных руд часто применяют фосфаты (более 30% тоннажа руд).

На фабрике Бьют перерабатывают руду с содержанием 0,93% меди (0,08% окисленной). Руда содержит значительное количество первичных шламсов и глины. На фабрике применяют раздельную флотацию песков и шламсов. В шламовый цикл поступает приблизительно 20% всего материала. Хвосты шламовых секций, направляемые в отвал, содержат 0,32% меди. При флотации шламсов в качестве собирателя используют этиловый ксантогенат, при флотации песковой части реагент Z - 200.

Руды, содержащие главным образом мягкие вторичные минералы меди, флотируют, как правило, при грубом помоле исходной руды с применением комбинации различных собирателей при относительно больших расходах (см. табл. 10). Наиболее распространены сочетания низших ксантогенатов или аэрофлотов с сильными реагентами - амиловым ксантогенатом (при переработке 27% тоннажа руд), реагентом Z - 200 (32,7% тоннажа), а также с аполиарными маслами (более 40% тоннажа руд). Введение в пульпу углеводов требует применения специфических вспенивателей, пенообразующее действие которых не сильно снижается от действия масел. При переработке 73% тоннажа руд этого типа используют вспениватель Доуфрос; широко применяют также такие реагенты, как ТЭБ и сосновое масло. В связи с легкой флотируемостью вторичных минералов меди при флотационном обогащении данных руд даже без широкого применения подавителей минералов пустой породы и пирита, а также активаторов получают высокосортные концентраты (см. табл. 12). Суммарный расход реагентов всех классов для руд этого типа ниже, чем для других медных руд (см. табл. 10).

На фабрике Уайт Лайн [3] после измельчения руды до 100% минус 0,2 мм проводят основную флотацию при pH = 9,5 с применением изопропилового ксантогената, аполиарного масла и Доуфрос 250 (см. табл. 11). Концентрат доизмельчают; хвосты основного цикла обесшламливают в гидроциклоне, пески которого флотируют с применением аэрофлота 249, изопропилового ксантогената и

Т а б л и ц а II

## Реагентные режимы и технологические показатели обогащения медных сульфидных руд [I,3,14-23]

83

Фабрика	Производительность, т/сутки	Основные минералы в руде	Измельчение, % -0,074	Особенности технологии	Расход реагентов, г/т	Содержание меди, %		Извлечение меди в концентрат, %
						руда	концентрат	
Бетлехем (Канада) <sup>хх</sup>	5400	Халькозин, борнит, пирит, молибденит, кварц, турмалин, гематит	60	Грубый концентрат доизмельчают до 90% -0,074 мм, трижды перецищают	Собира-тель-22 Вспени-ватель-36 Известь-840	I	42	92-94
Токепала (Перу) <sup>х1</sup>	30000	Халькозин, халькопирит, борнит, ковеллин, пирит, порфиновая порода; Содержание окисленной меди 0,133%	58	Грубый концентрат доизмельчают до 75% -0,044 мм и дважды перецищают	Известь-2600 Изопропиловый ксантат - 24 Сосновое масло -27	I,637	33,69	90,35
Муфулира (Родезия) <sup>х</sup>	14000	Халькозин, халькопирит, борнит, кварц, доломит, сланцы. Содержание окисленной меди 0,08%	40% -0,044 мм	Промпродукты доизмельчают до 60% -0,044 мм и возвращают в голову рН=10,7	Известь-620 Этиловый ксантат-70 Амиловый ксантат-14 ТЭБ-27, Декстрин-18	2,65	47,12	91,68 93,86 извлечение сульфидной меди

Продолжение таблицы II

Фабрика	Производительность, т/сутки	Основные минералы в руде	Измельчение, % -0,074	Особенности технологии	Расход реагентов, г/т	Содержание меди, %		Извлечение меди в концентрат, %
						руда	концентрат	
Нью Бьют (США) <sup>ххх</sup>	38000	Халькозин, халькопирит, борнит, пирит, кварц, полевой шпат, слюда	-	Раздельная флотация песковой и шламовой части исходной руды с доизмельчением грубого концентрата	В измельчение: Известь-5500 Фосфат - 13 Гексанол - 13 Шламовый цикл Этиловый ксантат - II Песковый цикл Z-200 (6) Сосновое масло-I	0,93	30,0	80,0
Анаконда (США) <sup>х1</sup>	36000	Халькозин, борнит, халькопирит, ковеллин, пирит, кварц, полевой шпат, слюда	35 % -0,044 мм	Грубый концентрат доизмельчают до 85% -0,044 мм, перецищают, доизмельчают и снова перецищают. Хвосты перецисток идут в отвал. рН=11,8	Известь -5390 Z-200(I4) Изопропиловый ксантат - 9 Метилизобутилкарбинол - 10	I,0	26	82

83

Продолжение таблицы II

34

Фабрика	Производительность, т/сутки	Основные минералы в руде	Измельчение, % -0,074	Особенности технологии	Расход реагентов, г/т	Содержание меди, %		Извлечение меди в концентрат, %
						руда	концентрат	
Нью Корвелл (США)	28000	Халькопирит, борнит, пирит, моллюденит, кварц	50	Грубый концентрат доизмельчается	Известь-750 Аэрофлот-15 Сосновое масло -50, этиловый и амиловый ксантаты, цианид кальция	0,8	30	88
Лавендер (США)	17000	Халькозин, пирит, кварц, серицит. Содержание окисленной меди 0,068 %, железа -8,55 %.	48 % -0,044 мм	Грубый концентрат доизмельчается до 79 % -0,044 мм и переричивает. pH=11,8. Извлечение сульфидной меди-85,5%	Известь-1490 Содовый аэрофлот - II, Z-200(4) Доуфрос-250(23)	1,034	11,4	80,4
Уайт Пайн (США)	15000	Халькозин, самородная медь, борнит, пирит, кварц, сланцы	68 % -0,044 мм	Хвосты основной (pH=9,5) флотации обесшламливают, песковую часть флотируют с доизмельчением промпродуктов до 100 % -0,044 мм	Изопропиловый ксантат - II4 Аэрофлот-249(14) Углеводороды -180, сосновое масло-35, Доуфрос-250 (23)	1,13	30	83

Продолжение таблицы II

Фабрика	Производительность, т/сутки	Основные минералы в руде	Измельчение, % -0,074	Особенности технологии	Расход реагентов, г/т	Содержание меди, %		Извлечение меди в концентрат, %
						руда	концентрат	
Минер (США)	13500	Халькопирит, борнит, халькозин, роговики, тактиты, глины	55	Грубый концентрат доизмельчается до 85 % -0,044 мм и трижды переричивает	Известь-800 Амиловый ксантат - 15 Метилизобутилкарбинол - 50 Полифосфат-9	1,3	-	-
Калумет и Гекла (США)	6000	Самородная медь, эпидот, кварц, кальцит	42	Отсадка и флотация меди (pH8) с одной переричисткой. Извлечения при гравитации около 80 % в концентрат с содержанием меди 60-90 %	Изопропиловый ксантат-34 Углеводороды -20 Доуфрос-250(20)	1,0 -1,1	47	86,3
Пайма (США)	5000	Халькопирит, халькозин, пирит, кварц, сланцы. Содержание окисленной меди 0,1 %	70	Промпродукт доизмельчается. Извлечение сульфидной меди-90 %	Известь-3200 Амиловый ксантат-25, сернистый натр-140 Изопропиловый ксантат -18 Метилизобутилкарбинол - 49	1,74	24,8	85,8

35

Продолжение таблицы II

Завод	Производительность, т/сутки	Основные минералы в руде	Измельчение, %	Особенности технологии	Расход реагентов, г/т	Содержание меди, %		Извлечение меди в концентрат, %
						руда	концентрат	
Керетти (Финляндия) х)	2400	Халькопирит, пирит, пирротин, кварц.	40% -0,044 мм	Предварительная аэрация, pH=11,5; из хвостов медного цикла флотируют пирит (pH=5,7)	Известь-2810 Цианид - 20 Амиловый ксантат - 127 Флотол - 9 Деритный цикл: Серная кислота - 8000 Медный купорос - 163 Изопропиловый ксантат - 180 Флотол - 4	3,68	20,2	96,2

х) Данные за 1962 год.

хх) Данные за 1964 год.

основого масла. Концентрат от флотации песковой части объединяют с хвостами перечистки концентрата основного цикла, доизмельчают и возвращают в голову основной флотации. Извлечение меди на фабрике — 83 %.

На фабрике Муфулира (Родезия) при флотации руды, содержащей различные вторичные медные минералы и немного халькопирита, также применяют сочетание собирателей, из которых слабый (этиловый ксантогенат) подают в основную флотацию, а сильный (амиловый ксантогенат) — в контрольную (см. табл. II). В качестве вспенивателя используют триэтоксидутан, подаваемый в основную флотацию. Для подавления флотоактивной породы в перечистки дозируют декстрин. Концентрат контрольной флотации и хвосты перечисток классифицируют в гидроциклоне на слив и пески; слив сгущают и направляют в основную флотацию, а пески после обезвоживания в речном классификаторе доизмельчают до 60–65% минус 0,044 мм и также возвращают в голову флотации [3].

Т а б л и ц а 12

Средневзвешенные показатели обогащения медных сульфидных руд различных типов на зарубежных фабриках

Медные минералы в руде	Количество фабрик	Суммарная производительность фабрик, тыс т/сутки	Содержание меди, %		Извлечение меди в концентрат, %
			руда	концентрат	
Преимущественно первичные	10	~30	1,88	22,9	89,8
Первичные и вторичные в примерно равном соотношении	6	~160	1,46	29,5	84,7
Преимущественно вторичные	5	~55	1,49	31,6	85,5

При флотации руд, содержащих вторичные медные минералы, обычно получают высококачественные медные концентраты (содержание меди — около 40%).

## ФЛОТАЦИЯ ОКИСЛЕННЫХ И СМЕШАННЫХ МЕДНЫХ РУД

При переработке окисленно-сульфидных медных руд на зарубежных обогатительных фабриках в последнее время наряду с гидрометаллургическо-флотационным методом переработки расширяется практика флотационного обогащения с применением последовательной сульфидной и окисленной флотации.

На фабрике Нчанга (Родезия) производительностью около 1200 т/сутки перерабатывают руду, содержащую халькозин, халькопирит, борнит, малахит, азурит, куприт, хризоконну; порода — кварц и сланцы. Сульфидную флотацию осуществляют при pH=9 с применением в качестве собирателя изопропилового ксантогената.

Окисленную флотацию ведут после сульфидной с предварительной сульфидизацией сернистым натрием в количестве 1 кг/т и с применением в качестве собирателя пальмового масла в количестве 75 г/т и углеводов — 75 г/т.

Сульфидный медный концентрат содержит около 50% меди.

При содержании общей меди в руде 5,5%, в том числе 3% окисленной, извлечение меди в концентрат составляет 80–85% [24].

На фабрике Банкрофт (Замбия) производительностью около 3000 т/сутки перерабатывают руду, в которой основными медными минералами являются халькозин и малахит; пустая порода представлена главным образом кварцем.

Руду измельчают до 80% минус 0,074 мм и подвергают первичной сульфидной флотации при pH=8,5 с применением в качестве собирателя изопропилового ксантогената в количестве 180 г/т; в качестве вспенивателей используют сочетание реагентов ТЗБ и Аэрофрос 70 (по 60 г/т). Сульфидный концентрат перед переочишкой доизмельчают до 90%—0,044 мм, что позволяет повысить в нем содержание меди до 60%. Из хвостов сульфидного цикла флотируют окисленные минералы меди, применяя 700–900 г/т гидросульфида натрия и натриево-нейтрализованное мыло. Окисленный концентрат содержит 16,5% меди. Из руды, содержащей 3,59% меди (в том числе 1,64% окисленной) извлекают приблизительно 85% меди (в том числе в сульфидном цикле — 52%) в объединенный концентрат с содержанием около 30% меди. [25]

Несколько необычна технология переработки смешанной (сульфидно-окисленной) медной руды на фабрике Коуро (Кипр) производительностью 2500 т/сутки. Вся руда после дробления до —6 мм выщелачивают (с целью перевода в раствор меди) и классифицируют на слив и осевки. Слив направляют в сгуститель, пески которого объединяют

с измельченными до 65% -0,074 мм песками классификации и подвергают сульфидной флотации при pH-II, применяя 100 г/т аммиачного хлорогената, 12 г/т сапфинола и 3260 г/т извести.

Слизь сгустителя, содержащий растворенную медь, поступает на цементацию; флотацию цементной меди не производят. В операции выщелачивания и цементации извлекают около 8,5% меди. Суммарное извлечение меди на фабрике составляет - около 93% [3].

Комбинированный гидрометаллургическо-флотационный способ переработки сульфидно-окисленных медных руд применяют [14,26-29] на нескольких фабриках США (Хайдез, Бьют, Майами, Багдад и др.). Руда, перерабатываемая на американских фабриках (рис. 1), содержит всего около 20% окисленной меди, представленной хризоколлой, малахитом, азуритом, купритом, и по всем данным является легкообогатимой. Из руды, содержащей в среднем 0,9-1,0% общей меди, извлекают 80-85% меди.

Для осаждения меди из раствора используют тонкоизмельченное железо (крупность порядка -0,5 мм). В процессе выщелачивания поддерживают величину pH в интервале 1,5-2,3. На фабрике Майами перед цементацией величину pH повышают до 2,9-3,0 добавлением известкового молока, что позволяет несколько снизить расход железа; содержание меди в растворе после цементации составляет 0,01-0,02 г/л. Большое влияние на полноту цементации оказывает вид применяемого железа. В первые годы работы фабрики Майами при использовании грубоизмельченного скрапа и консервных банок цементация протекала неудовлетворительно и содержание меди в растворе оставалось высоким (около 0,2 г/л). При использовании в качестве осадителя обожженного и тонкоизмельченного железного скрапа результаты цементации и флотации существенно улучшились.

В последнее время предложили для более полного осаждения меди из раствора использовать наряду с металлическим железом и сульфид кальция [30]. Медь при этом осаждается как в виде сульфида, так и в виде метанла; сульфидная и металлическая медь флотируются совместно.

На всех американских фабриках в качестве собирателя цементной меди используют минералы (табл. 13); исследования на фабрике Майами показали, что введение в пульпу, дополнительно и киверку, хсантогенатов (в частности аммиачного) не способствует улучшению результатов флотации.

В США при флотации цементной меди применяют в качестве всплывателей сосновое масло и синтетические спиртовые реагенты.

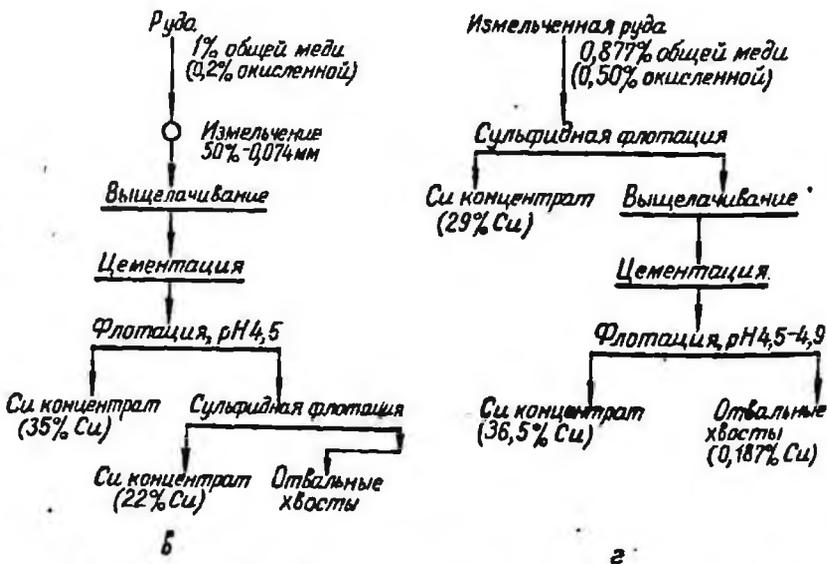
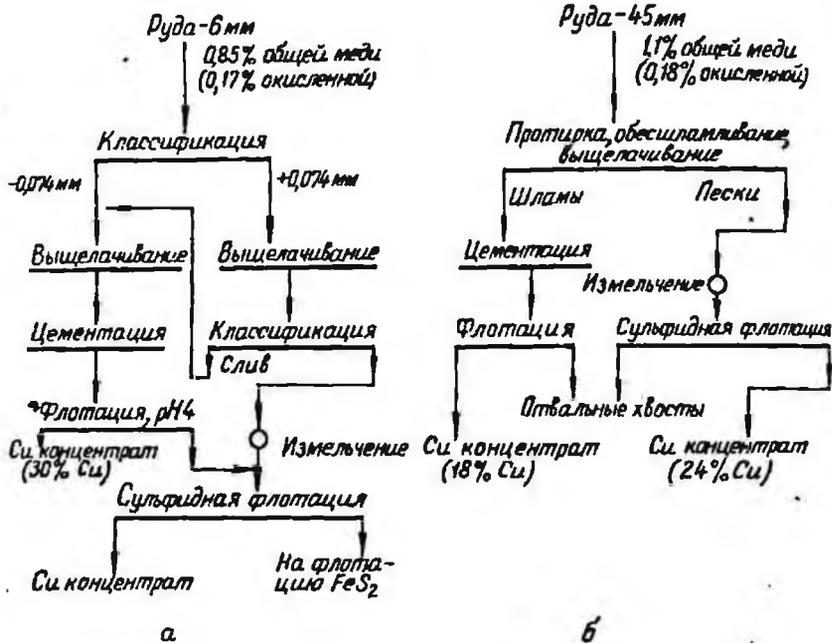


Рис. I. Технологические схемы фабрик США, применяющих комбинированный метод переработки смешанных медных руд  
Фабрики: а - Хейден; б - Бьют; в - Багдад; г - Майами

Установлено, что цементная и сульфидная медь могут быть успешно сфлотированы одновременно. Иногда сульфидная флотация предшествует процессу выщелачивания; на фабрике Майами осуществляют раздельную флотацию сульфидной и цементной меди в связи с наличием в руде молибденита, который желательно извлечь в сульфидный концентрат.

Т а б л и ц а 13

Средневзвешенный удельный расход флотореагентов на фабриках США, применяющих комбинированный процесс переработки сульфидно-окисленных медных руд

Класс реагентов	Наименование реагентов	Расход, г/т	Доля тоннажа переработанной руды, %
Собиратели	Минерек	45	100
	Бутиловый ксантогенат	35	64
	Этиловый ксантогенат	36	10
	Реагент 404	15	26
	Всего в среднем	80	
Вспениватели	Сосновое масло	41	100
	Метилизобутилкарбинол	41	36
	Крезилловая кислота	23	10
	Другие	25	26
_____	Известь	2200	100
	Серная кислота	7000	100
	Железо	2500	100

Конечные результаты комбинированного процесса зависят главным образом от полноты цементации и контроля pH в основной флотации. Оптимальная величина pH при флотации цементной меди составляет 4,0-4,9, поэтому иногда после цементации в пульпу подают небольшое количество известкового молока.

Непрореагировавшее железо улавливают из хвостов флотации с помощью магнитного сепаратора и снова возвращают в процесс.

На фабрике Майами железо из пульпы удаляют магнитом перед флотацией, возвращая его в голову цементации.

### Флотация медно-молибденовых руд

На всех зарубежных обогатительных фабриках, перерабатывающих медно-молибденовые руды, применяют схему коллективной флотации с последующим разделением коллективного медно-молибденового концентрата. Первичную флотацию осуществляют при измельчении руды до 50-60% -0,074мм, коллективные концентраты доизмельчают до 80-90% -0,044 мм. Доизмельчение концентрата обычно производят перед очисткой, а не перед разделением.

Выход коллективного концентрата обычно составляет около 3%. Концентрат содержит 25-30% меди и 0,3-0,9% молибденита, извлечение молибдена в коллективном цикле колеблется в пределах 50-90%.

Основными собирателями в коллективном цикле флотации являются ксантогенаты, дитиофосфаты, диксантогениды, дитиокарбаматы, меркаптобензотриазол, тионоккарбаматы.

Для повышения извлечения молибденита в коллективном цикле часто применяют дозировку аполярных масел.

Из вспенивателей наибольшее распространение имеют сосновое масло, крезоловая кислота и производные гликолей. Широко применяются сочетания реагентов одного и того же класса.

На ряде фабрик США флотацию медно-молибденовых руд производят с относительно слабыми реагентами - собирателями медных минералов - этиловым и изопропиловым ксантогенатом, этиловым аэрофлотом.

На медно-молибденовых фабриках Чили в качестве собирателей применяют изопропиловый ксантогенат при расходе 20-30 г/т в сочетании либо с аэрофлотом при расходе 3 г/т, либо с реагентом Z-200 при расходе около 10 г/т.

Обычный регулятор среды в коллективном цикле флотации - известь (1,3-4кг/т.). Практика флотации медно-молибденовых руд показывает, что известь способствует не только подавлению пирита, но и улучшает флотиремость медных минералов.

В ряде случаев известь не оказывает влияния на флотацию молибденита, поэтому расход ее принимают таким, чтобы обеспечить максимальное извлечение медных минералов.

Коллективные медно-молибденовые концентраты разделяют либо с депрессией медных минералов и последующей активной флотацией

молибденита, применяя в качестве реагента-собирателя эполярное масло, либо с депрессией молибденита крахмалом, декстрином, клеем и другими органическими коллоидами с последующей активной флотацией медных минералов.

В современной практике применяют пять способов разделения коллективного медно-молибденового концентрата, причем четыре осуществляют с депрессией медных минералов и лишь один с депрессией молибденита.

Процесс разделения коллективного концентрата, основанный на депрессии молибденита декстрином, находит применение на фабриках Сильвер Белл, Магна и Артур. На фабрике Сильвер Белл основным минералом в перерабатываемой руде является халькозин. Собиратель в коллективном цикле флотации - эмиловый ксантогенат (иногда в сочетании с аэрофлотом 238). Коллективный концентрат обрабатывают 10%-ным раствором декстрина при расходе последнего 1,6 кг/т концентрата и известью до pH=11 и подвергают медной флотации с получением высококачественного медного концентрата. Молибденовую флотацию осуществляют с дозировкой нефтяного масла 32 г/т и спиртового вспенивателя - 90 г/т. Перед селекцией коллективный концентрат сгущают, а затем репульсируют до 20% твердого.

Расход декстрина на фабриках Артур и Магна составляет 230 г/т коллективного концентрата; последний перед перемешиванием с декстрином сгущают до 40% твердого, а затем разбавляют до 21% твердого. При разделении коллективных концентратов с подавлением медных минералов находит сравнительно широкое применение предварительная пропарка или низкотемпературный обжиг и в промежуточных стадиях - сгущение и репульсация концентратов для выделения содержащихся в них флотореагентов.

Депрессия медных минералов осуществляется (иногда после пропарки) с применением цианидов и ферроцианидов (фабрики Моренси, Эсперанца, Гаспе), реагентов-окислителей - гипохлорита натрия и переноси водорода (фабрика Сан Мануэль). На фабриках Эль Сальвадор и Чукикамате внедрен процесс разделения с депрессией медных минералов при pH=8-10,5 с применением реагента Ноукс, который является продуктом взаимодействия щелочи и пентасернистого фосфора. Расход этого реагента составляет 4,5-6 кг/т.

На фабрике Эсперанца коллективный медно-молибденовый концентрат после обработки острым пером разделяют, применяя в качестве депрессора медных минералов 18 г/т ферроцианида натрия. После этого флотировать молибденит с эполярным маслом (7 г/т) и метилдиметилловым спиртом (5 г/т).

На обогатительной фабрике Гаспе коллективный концентрат подвергают пропарке и разделению с применением в качестве депрессора медных минералов цианида.

На фабрике Чико коллективный концентрат сгущают и подвергают пропарке при температуре  $93^{\circ}\text{C}$ , затем репульпируют до 15-20% твердого и подвергают разделению с дозировкой реагента LR-744, который, повидимому, является продуктом взаимодействия щелочи и пентасернистого фосфора. В цикле селективной флотации на этой фабрике применяют аполярное масло 185 г/т концентрата, метилизобутилкарбинол - 22 г/т и кальцинированную соду - 105 г/т.

На фабрике Моренси депрессию медных минералов производят совместным применением ферроцианида и цианида натрия. Расход ферроцианида составляет около 400 г на 1 т коллективного концентрата, расход цианида 250 г/т. Молибденит флотировали с применением в качестве собирателя аполярного масла и спиртового вспенивателя.

Разделение коллективного концентрата с подавлением минералов меди окислителями внедрено на фабрике Сан Мануэль. Процесс разделения может осуществляться либо с гипохлоритом натрия (в комбинации с ферроцианидом) в щелочной пульпе ( $\text{pH}=7,5-8$ ), либо с перекисью водорода (с добавкой цианида, цинкового купороса, ферро- и феррицианида в слабощелочной среде).

Гипохлорит натрия в виде слабого раствора для частичного окисления флотореагентов длительное время применяли на фабрике Сан Мануэль [3]. Коллективный концентрат с содержанием 27,8%  $\text{Cu}$  и 0,6%  $\text{MoS}_2$  сгущали до 40% твердого, обрабатывали раствором гипохлорита натрия (около 6 кг на 1 т коллективного концентрата), после чего осуществляли селективную флотацию с депрессией халькопирита ферроцианидом натрия (610 г на 1 т концентрата). Молибденит флотировали с добавкой аполярного масла (550 г/т концентрата), а также реагента-пенегасителя (270 г/т концентрата).

В коллективном цикле флотации применяли (на 1 т):  
5г изопропилового ксантогената, 8г минерала А, 7г Аэро 404, 24 г метилизобутилкарбинола, 9г аполярного масла и 1270г извести. Изопропиловый ксантогенат подавали порционно по камерам основной флотации, аполярное масло - в дозмельчение (перед переизмельчением коллективного концентрата), а остальные реагенты - в измельчение; вспениватель, кроме того, подавали также в основную флотацию.

В 1964 г. на фабрике Сан Мануэль был освоен новый процесс разделения [6] с заменой гипохлорита перекисью водорода (НР-50) и одновременной подачей в операцию перемешивания (перед разделением) цианида натрия и цинкового купороса; разделительную флотацию и последующие шесть перемешиваний проводят с добавкой ферро- и феррицианида, гипохлорита и аполирного масла, а также вспенивателя метилизобутилкарбинола и пеногасителя. Применяемые в коллективном цикле флотации собиратели минерек А и Аэро-404 заменили аллиловым эфиром амилсантогеновой кислоты ( $S - 3302$ ), а величину рН повысили с 8,6 до 11,5.

Сравнительные результаты работы фабрики Сан Мануэль по двум схемам разделения приведены в табл. 14.

Т а б л и ц а 14  
Технологические показатели работы фабрики  
Сан Мануэль

Год	Реагентный режим разделения	С о д е р ж а н и е, %						Извлечение $MoS_2$ из коллективного концентрата в конечный, %
		руда		медный концентрат		молибденовый концентрат		
		$Cu$	$MoS_2$	$Cu$	$MoS_2$	$Cu$	$MoS_2$	
1962	Гипохлорит и ферроцианид	0,79	0,018	28	0,16	0,91	95,43	72,5 <sup>x)</sup>
1965	Перекись водорода, цианид, цинковый купорос, ферро- и феррицианид, гипохлорит	0,85	0,025	30	0,117	0,78	93,67	86,22

x) Извлечение молибденита от руды в конечный концентрат в 1962 г. составляло 56,3%, извлечение меди - 80%.

По новой технологии на фабрике Сан Мануэль коллективный концентрат сгущают до 40% твердого (рис. 2), обрабатывают раствором комплексной цинково-синееродистой соли ( $KCN + ZnSO_4$ )

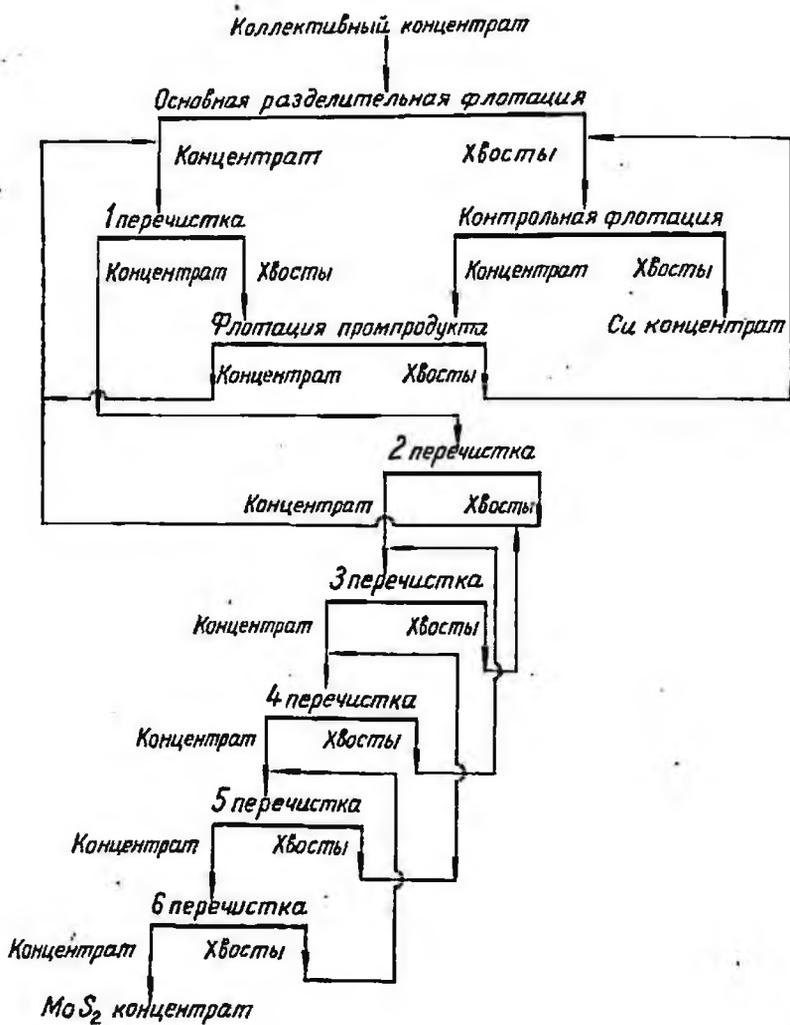


Рис. 2. Технологическая схема разделения коллективного концентрата на фабрике Сан Мануэль

и перекачивают в два последовательно расположенных контактных чана для перемешивания с перекисью водорода. В разгрузке первого чана добавлением серной кислоты поддерживают рН на уровне около 6; в разгрузку второго чана подают апольярное масло. В голове разделительной флотации, а также контрольной используют ферроцианид натрия.

При флотации промпродукта, осуществляемой при рН=7,8, применяют апольярное масло и ферроцианид натрия. В ходе перечисток величину рН (в первой перечистке 7,5, во второй 6,0-7,8) поддерживают, изменяя расход серной кислоты. В первую перечистку подают ферроцианид натрия, а во вторую - гипохлорит натрия и ферроцианид калия; последний подают также в четвертую, пятую и шестую перечистки.

Дозировку гипохлорита натрия устанавливают таким образом, чтобы в последней камере второй перечистки величина рН была около 7. Метилизобутилкарбинол подают в основную и контрольную флотации, а иногда - и в первую перечистку.

Пеногаситель *Exfoam 636* (продукт, содержащий около 50% керосина и некоторое количество полигликолей), используемый для регулирования пенообразования, добавляют во вторую, четвертую, пятую и шестую перечистки.

Средний расход реагентов в операции разделения на I т коллективного концентрата составляет, в г: 150 цианида натрия, 75 цинкового купороса, 900 серной кислоты, 680 перекиси водорода, 1000 ферроцианида натрия, 230 апольярного масла, 1800 гипохлорита натрия, 230 феррицианида калия, 15 метилизобутилкарбинола, 200 пеногасителя.

Основное назначение перекиси водорода при разделении медно-молибденового концентрата - перевод сульфидрильных собирателей, в частности ксантогената, присутствующего в растворе, в нерастворимые соединения-диоксантогениды.

Отмечено, что при увеличении расхода ксантогенатов в коллективном цикле увеличивается и расход перекиси водорода при разде-

лении. Основными факторами, влияющими на эффективность применения перекиси водорода, являются pH, концентрация реагента в пульпе и режим перемешивания. Установлено, что в процессе перемешивания при принятых расходах перекиси водорода для быстрого и полного протекания реакции окисления ксантогената величину pH необходимо поддерживать около 6. Сгущенная пульпа требует меньшего расхода перекиси водорода. Остаточная концентрация перекиси водорода в пульпе после перемешивания способствует частичному переводу ферро- в феррицианид при разделительной флотации, что на фабрике расценивается положительно.

Цианид натрия и цинковый купорос в основном используют для поддержания оптимальной концентрации синильной кислоты в процессе перемешивания пульпы с перекисью водорода. Синильная кислота регулирует действие перекиси водорода. При слишком малой концентрации синильной кислоты перекись водорода вместо взаимодействия с собирателями меди вступает в реакцию с поверхностью халькопирита; слишком большая концентрация синильной кислоты препятствует взаимодействию перекиси водорода с собирателями, поэтому расход цианида и цинкового купороса тщательно контролируют. В основной разделительной флотации комплекс цианида цинка оказывает и непосредственно депрессирующее действие на минералы меди.

Молибденовый концентрат, содержащий после разделения от 3 до 30% молибденита, на всех зарубежных фабриках подвергают операциям доводки (перечисткам, а часто обжигу и выщелачиванию).

Для повышения содержания молибденита черновой концентрат многократно перечищают (от 4 до 14 раз). Обычно в ходе перечисток концентрат доизмельчают с целью полного раскрытия зерен молибденита.

В первых перечистках концентрации подавителя, введенного в основном цикле, обеспечивают депрессирование меди. В последующих перечистках обычно добавляют жидкое стекло для подавления породы и диспергирования ее шламов, цианид натрия и ферроцианид для подавления сульфидов меди и железа, а также аполирное масло и сосновое масло (или гликоли), а иногда и другие реагенты. На многих зарубежных фабриках потери молибдена при перечистках весьма значительны и составляют 15-20% от всех потерь. Так, на одной из фабрик США при извлечении молибденита в коллективном цикле 75% в результате потерь при разделении, (перед перечистками) оно

Таблица 15

Технологические показатели и реагентные режимы флотации  
медно-молибденовых руд [3, 6, 31-33]

Фабрика	Производительность т/сутки	Характеристика руды	Тонкость помола, % -0,074мм	Доизмельчаемый продукт, % -0,04мм	Величина руды, кол-во в тонне	Содержание, %			Извлечение в одноименные к-ты, %			
						руда			одномонные к-ты			
						Сн	Мо2	Сн	Мо2	Сн	Мо2	
Эль Сальвадор (Чили) X	24000	Халькозин, Жалькопирит, молибденит, перит	50 % -0,04мм	90 (чернозоль к-т) 11,9 ловой квантогенет (27 и -200(9))	Изопропилина	2,0	-	52	92	88	Не более 70	

Чункамата (Чили) X) 40000  
Халькозин, ковеллин, молибденит.  
Порода-кварц, полевой шпат

Черновой к-т перед очисткой  
10,5  
Изопропилина квантогенет и взро- флот 238

42 92 80

Продолжение таблицы 15

Фабрика	Производительность, т/сутки	Характеристика руды	Тонкость помола, % -0,074 мм	Доизмельчаемый продукт, % -0,044 мм	Величина рН в коллективном цикле, ном Zn	Собираемость в коллективном цикле, г/т	Содержание, %				Извлечение в одноименные к-ты, %	
							руда		одноименные к-ты		к-ты, %	
							Cu	MoS <sub>2</sub>	Cu	MoS <sub>2</sub>	Cu	MoS <sub>2</sub>
Артур и Магна <sup>х)</sup> (США)	90000	Халькопирит, молибденит. Встречаются борнит, халькозин, ковеллин. Порода-монопимитовые порфиры	60	-	9	Дикрезил-дитиофосфат (10) и аполлярное масло (7)	0,78	0,05	27,8	-	-	65-75
Моренси <sup>х)</sup> (США)	35000	Халькозин, молибденит, пирит. Порода-кварц, ортоклаз, альбит, серицит.	60 % -0,044 мм	80 (пром-продукт)	10	Этиловый аэрофлот	0,88	0,015	23,2	88,6	80,1	не более 60
Сан Мануэль (США) <sup>хх)</sup>	35000	Халькопирит, молибденит, кризоконла, Порода-кварц, биогит, полевой шпат	65	90 (черновой к-т перед перемешивкой)	11,5	Аполлярное масло S-3302, изопропиловый ксантогенат	0,85	0,025	30	93,6	80	70

Продолжение таблицы 15

Фабрика	Производительность, т/сутки	Характеристика руды	Тонкость помола, % -0,074 мм	Доизмельчаемый продукт, % -0,044 мм	Величина рН в коллективном цикле, ном Zn	Собираемость в коллективном цикле, г/т	Содержание, %				Извлечение в одноименные к-ты, %	
							руда		одноименные к-ты		к-ты, %	
							Cu	MoS <sub>2</sub>	Cu	MoS <sub>2</sub>	Cu	MoS <sub>2</sub>
Чиво <sup>ххх)</sup> (США)	22000	Халькозин, молибденит, куприт. Встречаются борнит и халькопирит. Порода-кварцевые порфиры. Содержание окисленной меди 0,1 %	60	Черновой к-т перед перемешивкой	-	Аэрофлот и аполлярное масло Бутиловый ксантат и аполлярное масло	0,83	0,011	23	91,6	79	70
Эсперакца <sup>х)</sup> (США)	12000	Халькозин, молибденит. Встречается халькопирит. Порода-силкатно-порфировая	60	85 (коллективный к-т перед разделением)	11,5	Аполлярное масло, этиловый и амиловый ксантогенаты	-	-	25	87	83	70
Сильвер Белл <sup>хх)</sup> (США)	40000	Халькозин, ковеллин, молибденит. Порода-кварц, полевой шпат	50	Черновой к-т перед перемешивкой	10,5	Изопропиловый ксантогенат и аэрофлот	1,4	-	42	92	80	-

х) Данные за 1962г.

хх) Данные за 1964 г.

ххх) Данные за 1966 г.

Т а б л и ц а 16

Реагентный режим разделения медно-молибденовых концентратов на различных фабриках

52

Основной медный минерал	Собиратель в коллективном цикле	Метод разделения коллективного концентрата	Доводка молибденового концентрата	Содержание, %		
				руда	молибденовый концентрат	
				MoS <sub>2</sub>	Cu	MoS <sub>2</sub>
Халькозин, халькопирит	Ксантогенат и дитиокарбамат	Депрессия сульфидов меди реагентом Ноукс (NaOH + P <sub>2</sub> S <sub>5</sub> ) при pH=10,5	7 перечисток с доизмельчением	0,02	-	76-92
Халькозин	Ксантогенат и дитиофосфат	Депрессия сульфидов меди ферроцианидом при pH=7,4	8 перечисток с доизмельчением и выщелачивание NaCN для снижения содержания меди	0,014	0,97	87
Халькопирит	Ксантогенат, диксантоген и анолярное масло	Депрессия сульфидов меди гипохлоритом и ферроцианидом при pH=8,0	8 перечисток	0,022	0,70	94

Продолжение таблицы 16

Основной медный минерал	Собиратель в коллективном цикле	Метод разделения коллективного концентрата	Доводка молибденового концентрата	Содержание, %		
				руда	молибденовый концентрат	
				MoS <sub>2</sub>	Cu	MoS <sub>2</sub>
Халькозин	Ксантогенат и анолярное масло	Депрессия сульфидов меди пропаркой при pH=8,5	8 перечисток и обжиг	0,012	I	85
	Дитиофосфат и анолярное масло	Депрессия сульфидов меди ферроцианидом	8 перечисток с доизмельчением	-	-	-
	Ксантогенат и анолярное масло	Депрессия сульфидов меди пропаркой при pH=7,2-8,0	II перечисток с доизмельчением, обжиг (для окисления MoS <sub>2</sub> в MoO <sub>3</sub> ), выщелачивание H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (для удаления меди)	0,02	0,5	90

53

Продолжение таблицы 16

Основной металл	Собираемый в коллективном цинке	Метод разделения молибдена нового концентрата	Дозировка молибдена нового концентрата	Содержание, %		
				руда	молибденовый концентрат	
				MoS <sub>2</sub>	Сл	MoS <sub>2</sub>
Халькозин	Ксантогенат	Депрессия сульфидов меди при парков	Обжиг для окисления MoS <sub>2</sub> в MoO <sub>3</sub> и выделение элементной серы.	-	-	-
	Дитиокарбамат и аполлярное масло	Депрессия сульфидов меди реагентом Ноукс (NaOH + P <sub>2</sub> S <sub>5</sub> ) при pH 8,0-10,5	Обжиг (для удаления серы) и выщелачивание NaOH (для удаления меди)	-	0,42	90
Халькопирит	Дитиофосфат	Депрессия молибдена деструктивом	4 перечислить с лозимельчником, обжиг и выщелачивание NaOH (для удаления меди)	-	-	-

снижается до 67%, а конечное извлечение часто оставляет 50%. Показатели работы зарубежных фабрик приведены в табл. 15.

Технологические схемы доводки концентратов (табл. 16) включают обжиг для окисления поверхности медных минералов и разрушения пленки реагентов. На некоторых фабриках в процессе обжига удаляется также элементарная сера, переходящая из руды в концентрат.

На фабриках Артур и Магна обжигу подвергаются хвосты разделительной флотации и концентрат второй основной флотации. В результате обжига флотационность тальковой породы повышается, поверхность медных минералов окисляется, а пленка апольярного масла на поверхности молибденита сторае (сам молибденит при этом не окисляется). После обжига и репульсации материал подвергают флотации с дозировкой извести и спирта и с выделением минералов пустой породы. Из хвостов этой операции флотируют молибденит, добавляя апольярное масло, жидкое стекло и вспениватель.

На фабрике Сильвер Белл обжигу при температуре около 300°C подвергают хвосты разделительной флотации (после их ступенки и фильтрации), чтобы разрушить пленку декстрина на молибдените. Продукт обжига репульсируют, добавляя при этом известь для депрессии минералов меди и железа и апольярное масло как собиратель молибденита. В голову флотации молибденита подают также спиртовый вспениватель, а в пересытки — цианид натрия (680 г на 1 т концентрата).

На одной из фабрик США высокотемпературному обжигу с целью перевода  $MoS_2$  в  $MoO_3$  подвергают конечный молибденовый концентрат; минералы меди, загрязняющие концентрат, при этом также окисляются. После обжига как выщелачивают серной кислотой, удаляя примеси меди.

Выщелачивание концентрата (для удаления меди) применяют на нескольких фабриках США и Чили, причем используют для этой цели сильно концентрированные растворы цианида натрия.

#### Флотация медно-цинково-пиритных руд

В медно-цинково-пиритных рудах, перерабатываемых на зарубежных фабриках, соотношения меди и цинка изменяется от 1:1 до 1:2. Для раскрытия сростков полезных минералов перед селективной флотацией обычно требуется измельчение или 70%-0,074 мм и значительно реже 70-75% -0,044 мм (в ходе процесса продукты флотации доизмельчают редко). Отсутствие чрезмерно тонкого вза-

много прорастания полезных компонентов, из которых медь представлена преимущественно первичными минералами, облегчает их разделение, и большинство зарубежных фабрик работает с высокими технологическими показателями (табл. 17). Суммарное извлечение меди и цинка в одноименные концентраты на большинстве фабрик Канады превышает 170%, а в получаемом цинковом концентрате содержание меди значительно ниже, чем в руде, и цинка — обычно не менее 52% (даже при его содержании в руде 0,5-0,7%).

На фабриках Канады (см. табл. 17), перерабатывающих медно-цинковые руды, на реагентов-собирателей наибольшее применение имеет аммиачный кремниевый аэрофлот № 242 и спиртовый аэрофлот № 208 (смесь 1:1 диэтил- и дибутилдитиофосфата натрия), а также амидный ксантогенат. Аэрофлот № 208 в основном используют в цинковой флотации (большинство канадских фабрик применяют схему последовательной селективной флотации минералов меди, цинка и пирита). В цикле медной флотации часто применяют сочетания собирателей; наиболее распространено сочетание аэрофлота и амидового ксантогената. Малые расходы всех собирателей — не более 30-35 г/т, часто — всего 5-10 г/т, а также широкое использование аэрофлотов, сравнительно маловитивных по отношению к пириту, очевидно, облегчают проведение селективной флотации. Кроме того, применение аэрофлотов 242 и 25, обладающих, помимо собирательных, и хорошими вспенивающими свойствами, обуславливает небольшую потребность в дополнительных вспенивателях, основным из которых является сосновое масло; в отдельных случаях используют метилэтилкарбинол, Доуфрос, вспениватель 73 и ТЭБ. Расходы вспенивателей обычно составляют 5-20 г/т и не превышают 40-50 г/т.

Перерабатываемые в Канаде медно-цинково-пиритные руды содержат значительные количества золота и серебра, поэтому цианид натрия в качестве подавителя сфалерита при селективной флотации либо не применяют совсем, либо используют при небольших расходах (5-20 г/т, редко 40 - 60 г/т) в сочетании с другими реагентами этого класса.

Главным подавителем сфалерита в медном цикле является сульфит натрия, расход которого колеблется в широких пределах, составляя обычно 250-450 г/т. Гораздо реже применяют цинковый купорос — как отдельно, так и в комбинации с цианидом.

На фабрике Флин Флон производительности 600 т/сутки [21,34] перерабатывают руду, содержащую пирит, арсенопирит, пирротин, халькопирит и сфалерит. Порода представлена кварцем, карбонатами, хлоритом и тальком. Халькопирит и сфалерит тесно ассоциированы друг с другом и с пиритом. Для полного раскрытия зерен перед селективной флотацией требуется измельчение до 75% - 0,044 мм. После первой стадии измельчения до 62% - 0,074 мм осуществляют статическую медную флотацию. Для подавления талька и хлорита в основную медную флотацию и перерешетку медного концентрата подают  $SO_2$  в виде  $H_2SO_3$  совместно с органическими коллоидами - декстринами в 615-620; расход  $SO_2$  - 115 г/т, декстрина - 185 г/т.

В качестве регулятора среды и подавителя пирита в измельчение подают 805 г/т извести, а также 250 г/т соды. Цинковый купорос при расходе 295 г/т, аэрофлот 25 (20 г/т) и минерек Т-27 (35 г/т) подают в измельчение; этиловый ксантогенат при расходе 10 г/т дозируют в перерешетку. Из хвостов медного цикла флотируют сфалерит (основная флотация, контрольная и две перерешетки) с применением 85 г/т медного купороса, 1160 г/т извести и собирателей - минерек 748 (15 г/т), аэрофлота 25 (25 г/т) и этилового ксантогената (15 г/т).

По данным 1963 г. [21], реагентный режим флотации на фабрике Флин Флон сильно изменился, что, по-видимому, в значительной мере связано с организацией извлечения из руды свинца. В 1963 г. в качестве собирателей на фабрике использовали 45 г/т минерек и 36 г/т ксантогената, а в качестве вспенивателя - 36 г/т синтетического спиртового реагента; из других реагентов применяли (суммарно на 1 т): 2065 г извести, 154 г соды каустической, 455 г цинка, 18 г глинозавой пыли, 90 г декстрина, 77 г серы, 815 г цинкового купороса, 250 г медного купороса и 2 г Суперфлота. Извлечение меди составляет 95,5%, цинка 91,2%, свинца 76,9%; соответствующие концентраты содержат меди около 13%, цинка около 50% и свинца 54%. Содержания металлов в руде: меди 2,42%, цинка 5,5%, свинца 0,47%.

На фабрике Британия производительности 3500 т/сутки обогащают руду, представленную халькопиритом, сфалеритом и пиритом в кварцево-хлорито-серпичитовой породе. Перед измельчением из руды крупностью -6,3 мм классификацией выделяют slime и проводят коллективную флотацию в отдельном цикле. Далее крупную фракцию руды измельчают и также подвергают коллективной флотации, с применением на 1 руды 180 г медного купороса, 50 г изопропилового ксантогената и 35 г соснового масла. В коллективном цикле рН=8,5.

Коллективный концентрат доизмельчают и флотируют медные минералы при депрессии сфалерита. Концентрат контрольной коллективной флотации перечищают в отдельном цикле и доизмельчают совместно с концентратом основной флотации. Медную флотацию проводят при  $\text{pH}=9,5$  с вторичным бутиловым ксантогенатом при расходе 3 г/т и сосновым маслом в количестве 2 г/т. Часть извести - 490 г/т подают в измельчение, а все остальные реагенты - в операцию доизмельчения. В доизмельчение дозируют соду - 35 г/т, известь - 90 г/т, цианид - 68 г/т и цинковый купорос 45 г/т. В цинковом цикле флотации, включающем основную операцию и три перечистки, поддерживают  $\text{pH}=11,5$  и следующий расход реагентов на 1 т руды: 90 г медного купороса, 225 г извести, 2 г соснового масла и 10 г вторичного бутилового ксантогената. Из хвостов цинкового цикла при  $\text{pH}=8,5$  флотируют пирит с помощью изопропилового ксантогената - 5 г/т и соснового масла - 35 г/т; для снижения  $\text{pH}$  используют серную кислоту - 40 г/т. Пиритный концентрат содержит около 49% серы (при извлечении 46%), 0,35% меди и 0,67% цинка.

Фабрика Ист Сулливан [34] перерабатывает руду, содержащую пирит, халькопирит, пирротин и сфалерит в кварцевой породе. Суммарное содержание сульфидов составляет около 10%. Часть пульпы перед медной флотацией подвергают аэрации. Медный цикл состоит из основной флотации, двух перечисток и четырех контрольных флотаций. Соду - 400г/т, сосновое масло - 18 г/т и часть собирателей подают в измельчение, сульфит натрия - в аэратор и (совместно с цианидом) в контактный чан перед флотацией; часть собирателей подают в аэратор и непосредственно во флотомашины. Цинковый цикл состоит из основной флотации, четырех перечисток и двух контрольных операций. Медный купорос - 255 г/т, цианид - 6 г/т, ВВВ - 50 г/т и аэрофлот-208г/т дозируют в контактный чан перед основной флотацией. Из хвостов цинкового цикла с помощью изопропилового ксантогената в количестве 15 г/т извлекают пирит в концентрат с содержанием серы около 50%. По литературным данным [21] на фабрику Ист Сулливан в последние годы стала поступать более бедная руда и реагентный режим несколько изменился (см. табл. 17); расход таких реагентов, как медный купорос и ВВВ снизился соответственно до 80 и до 10 г/т, а вместо соды стали применять известь в количестве 270 г/т.

На фабрике Квемонт [3] перерабатывают руду, содержащую халькопирит, марматит, пирит и пирротин. Порода представлена хлоритом, кварцем, полевым шпатом.

Измельчение руды производят в две стадии; шаровые мельницы второй стадии работают в замкнутом цикле с аэратором. Слив аэратора идет в медный цикл, промпродукты которого снова возвращаются в аэратор. Расход реагентов в медном цикле, на 1 т руды: 1375 г каустической соды, 15 г соснового масла, 4 г ТЭБ; применяют также амидный ксантогенат и подвигатели марматита (см. табл. 17). Хвосты медного цикла классифицируют на слив с содержанием 80% - 0,074 мм и пески; пески возвращают во вторую стадию измельчения, а слив направляют в аэратор, установленный перед цинковым циклом. В цинковом цикле применяют 3 г/т цианида натрия, 7 г/т соснового масла, 34 г/т ТЭБ, 1080 г/т извести, 385 г/т медного купороса и изопропиловый ксантогенат.

Хвосты контрольной цинковой флотации идут в пиритный цикл, в котором используют изопропиловый ксантогенат в количестве 165 г/т, сосновое масло и цианид натрия 1 г/т. Из пиритного концентрата производят дофлотацию минералов меди и цинка. Для подавления пирита и пирротина пиритный концентрат обрабатывают в аэраторе известью - 725 г/т. Пески аэратора доизмельчают до 75% - 0,044 мм, а слив направляют на флотацию меди в отдельном цикле с получением готового концентрата. В качестве собирателя при флотации меди применяют амидный ксантогенат в количестве 1 г/т. Из хвостов медной флотации с помощью изопропилового ксантогената при расходе 3 г/т и медного купороса - 55 г/т извлекают марматит, направляя концентрат в основной цинковый цикл, а хвосты совместно с промпродуктом основного цинкового цикла - на цианирование. В операции цианирования извлекают около 9% золота; извлечение золота в медный концентрат составляет около 73%.

На фабрику Уэйт Амунет производительностью 2000 т/сутки поступает руда, содержащая пирит, халькопирит, марматит и пирротин; породы - диабаз, полевой шпат, ридзит. Фабрика перерабатывает два сорта руд, один из которых содержит 60% сульфидов, другой - 95% сульфидов и в том числе небольшое количество телурита. Соотношение руд 1:1. Флотацию этих руд проводят на отдельных секциях, с предварительной аэрацией. В качестве вспенивателя в медном цикле используют реагент 73, а в качестве регулятора среды - каустическую соду. Хвосты медного цикла обеих секций объединяют и доизмельчают в замкнутом цикле с аэратором до 65% - 0,074 мм. Расход реагентов в цинковом цикле на 1 т руды: 850 г соды каустической, 150 г извести, 650 г медного купороса, 30 г вспенивателя 73, 85 г  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

Реагентный режим и технологические

на фабриках

Фабрика	Произ- води- тель- ность, т/сутки	Год све- де- ний	Тон- кость измель- чения, % -0,074 мм	Собиратель, г/т		Подавитель сфалерита в медном цикле, г/т
				медный цикл	цинковый цикл	
Джеко	3500	1963	47	Аэрофлот 242-8, амиловый ксан- тат - 6	Аэрофлот- 208-16	Цианид-22, сульфит натрия-607
Ист Сул- ливан	2800	1963	70	Аэрофлот 208-7, амиловый ксантат	Rot-6 и	Цианид-11, сульфит натрия-215
		1967	90	Аэрофлот 208-6, амиловый ксан- тат-5, аэрофлот 242-9	Аэрофлот- 208-8	Цианид-6, сульфит натрия-270
Квемонт	2350	1962	70	Амиловый ксантат-38	Изопро- пиловый ксантат- 35	Цианид-10, сульфит натрия-285
Уилл- роу	1500	1963	-	-	-	Цианид-45, сульфит натрия-453
Норме- тал	1000	1963	72	Аэрофлот 242-17, амиловый ксан- тат-21	Аэрофлот 208-35	Цианид-7, сульфит натрия-450
		1957	75	Аэрофлот 242-25, амиловый ксан- тат-7	Аэрофлот 208-25	Цианид-225, цинковый купорос-180, сульфит нат- рия-185

Т а б л и ц а 17

показатели флотации медно-цинковых руд  
Канады [3, 21, 34]

Содержание, %								Извлечение, %			
Руда		Медный концентрат		Цинковый концентрат		Хвосты		Медный концентрат		Цинковый концентрат	
Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn
1,97	4,18	28,1	-	-	54,6	-	-	95,3	-	-	80
0,70	0,50	22	-	-	52	-	-	91	-	-	70
0,92	0,93	21,5	3,3	0,25	53	0,042	0,015	91,7	13,7	4	81,8
1,31	2,53	16,47	4,5	0,63	52,5	-	-	91,56	-	-	72,7
1,6	0,5	24	-	-	55	-	-	85	-	-	-
2,7	5,0	23	-	-	52	-	-	94,5	-	-	77
2,1	5,74	20,9	4,83	0,5	51,8	-	-	92,4	7,8	2,0	77,7

и 42г аэрофлота 208. Из хвостов цинкового цикла флотируют пирит, применяя изопропиловый ксантогенат—75 г/т и вспениватель 73—8г/т.

На фабрике Норметал перерабатывают руду, содержащую 31,2% пирита, 6,3% халькопирита, 8,8% сфалерита и 6,5% пирротина. Порода представлена серицитом и риолитом. Перед медным циклом вся пульпа проходит через аэратор. Реагентный режим флотации медного цикла в 1963 г. по сравнению с 1957 г. несколько изменился (табл. 17), в частности расход каустической соды снизился с 1270 до 770 г/т. В качестве вспенивателя попрежнему используют метилизобутил карбонат в количестве 10—20 г/т. Применение в медном цикле каустической соды взамен извести позволило загрузить помол с 85% до 70—75% — 0,074 мм и уменьшить расход реагентов, особенно цианида. В 1963 г. цинковый купорос как подавитель сфалерита из процесса исключили и снизили расход цианида с 220 до 7 г/т за счет увеличения расхода сульфата натрия со 185 до 450 г/т. Режим флотации в цинковом цикле не изменился; расход реагентов составляет на 1 т руды: 320г медного купороса, 370г извести, 20г вспенивателя Доуфрос. Из хвостов цинкового цикла флотируют пирит.

На фабрике Принс Леопольд (Конго) производительностью 3600 т/сутки применяют технологию, принципиально отличную от канадской [3]. Фабрика обогащает руду одного из наиболее богатых по содержанию меди и цинка зарубежных месторождений с содержанием меди — 9,1%, цинка — 11,07%.

Руду, представленную халькопиритом, двумя разновидностями борнита, сфалеритом и пиритом в доломитовой породе, измельчают в две стадии до 70% — 0,04мм и при pH=8—8,5 флотируют медную головку, применяя 110г/т цианида натрия, 200г/т цинкового купороса, 72г/т этилового ксантогената и 40г/т соснового масла. Цинковый купорос подают в измельчение, цианид и ксантогенат — в измельчение и флотацию, сосновое масло — во флотацию. В операции флотации медной головки извлекают 80% меди в концентрат с содержанием меди около 34,5% и цинка — 11% (извлечение цинка — 21%). Из медной головки магнитной сепарацией извлекают германий.

После снятия медной головки проводят коллективную медно-цинковую флотацию при pH=9,5—10 с последующей селекцией коллективного концентрата. В коллективном цикле применяют на 1 т руды 140г этилового ксантогената, 18 г соснового масла, 300 г медного купороса и 1400 г извести. Коллективный концентрат разделяют при депрессии труднофлотирваемой разновидности борнита ферроцианидом (130 г/т), получая медный концентрат с содержанием

меди и цинка — соответственно 17,36% и 9,3% при извлечении — 14,3% и 6,3% и цинковый концентрат с содержанием меди и цинка соответственно 1,82% и 59,6% при извлечении — 2,5% и 68,6%. Отвальные хвосты фабрики содержат 0,49% меди и 0,77% цинка.

#### Флотация медно-свинцово-цинковых руд

Большинство обогатительных фабрик, перерабатывающих медно-свинцово-цинковые руды, работают по схеме с коллективной флотацией медных и свинцовых минералов, из хвостов которой извлекают цинк, а иногда и пирит. Исключение — фабрика Лайк Джордж (Австралия) [3], работающая по схеме прямой селективной флотации (рис.3); Тсумеб (Африка), применяющая чисто коллективную схему с дальнейшей последовательной селективной флотацией меди и цинка, а также Керджалийская фабрика (Болгария), работающая по схеме с коллективной медно-свинцово-цинково-пиритной флотацией и доизвлечением цинковых минералов и пирита из хвостов коллективного цикла, что обусловлено наличием в руде двух разновидностей сфалерита. Коллективный концентрат делят на свинцово-медный и цинково-пиритный. Свинцово-медный концентрат разделяют депрессией галенита сульфатом железа и сульфитом натрия, а цинково-пиритный — депрессией пирита.

Отличительная особенность флотации медно-свинцово-цинковых руд — применение нескольких различных собирателей на одной фабрике. Наибольшее распространение при коллективной флотации меди и свинца получили аэрофлот № 31 и низшие ксантогенаты (в основном этиловый), причем в качестве добавок к ним часто применяют амиловый, а иногда и гексильный ксантогенат или реагент 404 (типа меркаптобензотиазола). Селективная флотация коллективного медно-свинцового концентрата осуществляется либо без собирателей, либо при использовании для флотации медных минералов тиокарбамата Z-200.

В цинковой флотации применяют в качестве собирателей аэрофлоты и ксантогенаты (этиловый или бутиловый). Расход собирателей определяется флотоактивностью пирита, содержанием цинка в руде и расходом медного купороса для активации сфалерита. В связи с этим расход собирателей в цинковом цикле на зарубежных фабриках изменяется в широких пределах — от 18 до 140 г/т.

При флотации медно-свинцово-цинковых руд наибольшее распространение получили спиртовые вспениватели метилизобутилкарбиной и гексанол, однако значительную долю руд перерабатывают с применением крезоза. Кроме того, необходимо отметить расширяющееся использование регуляторов пен в процессах флотации (реагенты типа крезозов).

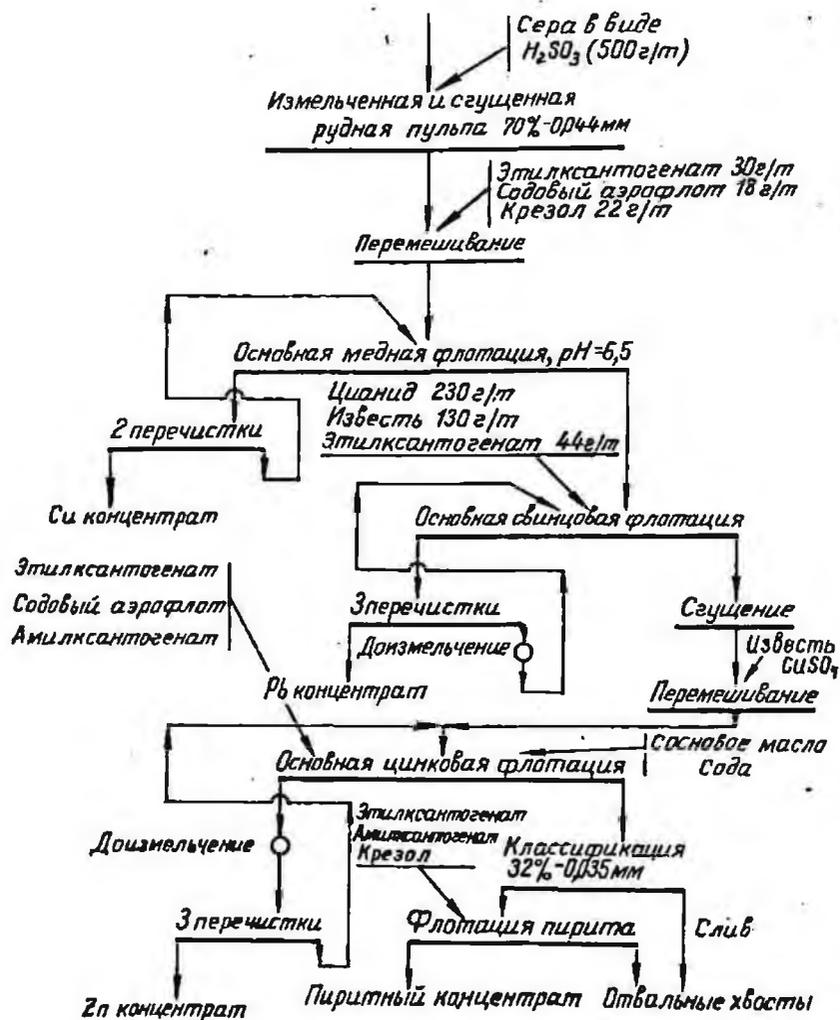


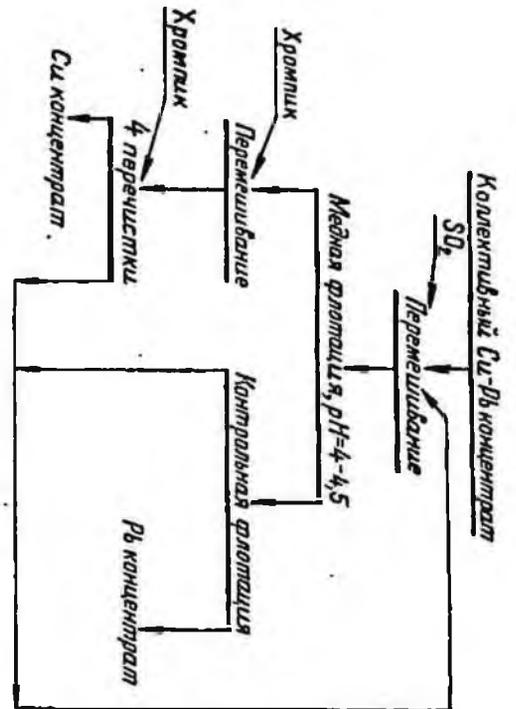
Рис.3. Технологическая схема фабрики  
Лайх Джордж (Австралия)

В коллективной медно-свинцовой флотации чаще всего применяют следующие сочетания реагентов-депрессоров:  $335-II6Ct/t$  (в среднем 570) цинкового купороса,  $2-70t$  (в среднем - 34) цианида,  $160-660t/t$  (в среднем - 270) сульфата натрия (или  $NaHSO_4$ ), и до 1300 г/т (в зависимости от количества и флотоактивности пирита) извести. Этот реагентный режим применяют более половины фабрик, работающих по схеме с депрессией сфалерита и пирита в коллективном цикле. При наличии сфалерита и пирита с низкой флотоактивной активностью иногда бывает достаточно ввести в процесс немного извести и флотировать медные и свинцовые минералы при низком расходе слабых собирателей (фабрики Швеции - Булиден, Гарпенберг)

Большинство зарубежных полиметаллических фабрик разделяют медно-свинцовые концентраты путем флотации медных минералов с депрессией галенита (табл. 18). Из 12 фабрик, по которым имеются данные о их работе за последние годы, только три - Ландора (США), Тульсива (Канада) и отчасти Тсумб (Африка) работают по схеме с флотацией галенита из медно-свинцового концентрата; в первых двух случаях депрессия медных минералов осуществляется цианистыми солями, а на фабрике Тсумб - гипохлоритом кальция.

Наиболее распространенным в настоящее время за рубежом является способ разделения медно-свинцового концентрата, основанный на депрессии галенита сернистыми соединениями, иногда совместно с хромпиком. На фабрике Федерал (США) коллективный медно-свинцовый концентрат обрабатывают сернистым газом (рис.4), который способствует депрессии основной массы галенита и активизирует халькопирит. Флотацию медных минералов проводят при  $pH=4-4,5$  с использованием в качестве собирателя реагента Z-200. В медные перечистки подается хромпик для более полной депрессии галенита. На фабрике Федерал получают медный концентрат с содержанием меди 27,4% при извлечении 62,4% из руды, содержащей всего 0,20% меди. Этот реагентный режим селективной медно-свинцовой флотации особенно целесообразно применять при наличии в руде благородных металлов и высоком соотношении содержания свинца и меди в исходной руде. Аналогичные режимы депрессии применяются на фабриках Бучанс (Канада) и Раммельсберг (ФРГ).

На фабриках Швеции и Финляндии получил распространение метод разделения медно-свинцового концентрата, основанный на подавлении галенита хромпиком и активной флотации медных минералов. В Болгарии при селективной флотации медно-свинцового концентрата для подавления галенита применяют сульфат натрия и железный купорос.



Реагенты цикла селекци	Расход реагентов, г/т концентрата
Z-200	53
Хромпик	195
NaOH	141
Крахмал	560
Известь	250
Серв.	1260

Рис. 4. Технологическая схема и реагентный режим фабрики федерал (США)

491

Таблица 18

Реагентные режимы селекции медно-свинцовых концентратов на зарубежных фабриках [3,21,35-40]

Фабрика	Производительность, т/сутки	Год	Преобладающий медный минерал	Примерное соотношение содержания свинца и меди в руде	Схема разделения свинцовых и медных минералов	Применяемые депрессоры при свинцово-медном разделении и их расход на 1 т руды, г	Применяемые собиратели в коллективной флотации и их расход на 1 т руды, г
Федерал (США)	8500	1962	Халькопирит (халькозин)	10:1	Флотация медных минералов на медно-свинцового концентрата	SO <sub>2</sub> - 1260 хромпик - 195 крахмал - 560	Изопропиловый квантогенат-2Г, реагент 404-8
Сен Франциско (Мексика)	2000	1957	Халькопирит	5:1	"	Сернистая кислота и крахмал	"
Херджанская (Болгария)	1650	1964	Халькопирит	19:1	"	Сульфит натрия-1100, железный купорос-630	Бутиловый квантогенат

Продолжение таблицы 18

89

Фабрика	Производительность, т/сутки	Год	Преобладающий медный минерал	Примерное соотношение содержания свинца и меди в руде	Схема разделения свинцовых и медных минералов	Применяемые депрессоры при свинцово-медном разделении и их расход на 1 т руды, г	Применяемые собиратели в коллективной флотации и их расход на 1 т руды, г
Пандора (США)	1650	1960	Халькопирит	4:1	Флотация галенита из медно-свинцового концентрата	Цианид цинка и реагент 622-153	Изопропиловый ксантогенат-19, реагент 404-20, амилловый ксантогенат -3
Тсумеб (Юго-Западная Африка)	1650	1962	Теннантит (халькозин)	2:1	Флотация галенита из медно-свинцового концентрата	Гипохлорит кальция - 680 <sup>x)</sup>	Изопропиловый ксантогенат-48 <sup>x)</sup>
Бучано (Канада)	1300	1963	Халькопирит	2:1	Флотация медных минералов из медно-свинцового концентрата	Сернистый газ-625, хромпик-172	Вторичный буттиловый ксантогенат - 72, тиокарбанилид -32
Виканги (Финляндия)	1200	1963	Халькопирит	1:2	Флотация медных минералов из коллективного медно-свинцового концентрата	Хромпик-20	Этиловый ксантогенат - 20 и амилловый - 60

Продолжение таблицы 18

Фабрика	Производительность, т/сутки	Год	Преобладающий медный минерал	Примерное соотношение содержания свинца и меди в руде	Схема разделения свинцовых и медных минералов	Применяемые депрессоры при свинцово-медном разделении и их расход на 1 т руды, г	Применяемые собиратели в коллективной флотации и их расход на 1 т руды, г
Лайк Джордж	700	1962	Халькопирит	10:1	Селективная флотация медных минералов из полиметаллической руды	Сернистый газ - 500	-
Реммельсберг (ФРГ)	650	1965	Халькопирит	6:1	Флотация медных минералов из коллективного медно-свинцового концентрата	Сернистая кислота - 300, хромпик	Этиловый ксантогенат -96 и гексилловый - 48

x) Расход на 1 т коллективного концентрата.

89

Выделение сфалерита и пирита из хвостов коллективной медно-свинцовой флотации осуществляют по двум схемам: коллективная флотация цинковых минералов и пирита с дальнейшей селекцией концентрата (Керджалийская фабрика) и прямая селективная флотация сфалерита и пирита (фабрики Швеции и ФРГ). Выбор той или иной схемы обогащения определяется сравнительной флотоактивностью цинковых минералов и пирита и их содержанием в руде. Флотация сфалерита от пирита и пустой породы на всех фабриках осуществляется с применением извести, медного купороса и собирателя. Последующее извлечение из хвостов цинковой флотации пирита возможно только при условии устранения влияния извести, что достигается либо сгущением пульпы со сбросом слива и разбавлением песков водой перед флотацией, либо понижением рН пульпы путем введения кислоты (фабрика Булиден) или сернистого газа (фабрики ФРГ).

Показатели обогащения медно-свинцово-цинковых руд являются на рубеже наиболее низкими по сравнению с другими типами руд тяжелых цветных металлов (табл. 19).

Фабрика Лайк Джордж [3] перерабатывает полиметаллические руды с высоким содержанием пирита (до 20%). Руды отличаются тонкой вкрапленностью полезных минералов, в связи с чем измельчение на фабрике производят до 88% -0,074 мм, а промпродукты свинцового цикла и грубый цинковый концентрат доизмельчают (см.рис.3). Руду обогащают по схеме прямой селективной флотации халькопирита, галенита, сфалерита и пирита. Такой порядок селекции стал возможным благодаря применению сернистой кислоты при ее расходе по сере 360 г на 1 т руды. Основное количество кислоты подают в стержневую мельницу для возможно более длительного ее контакта с пульпой; остальную часть кислоты дозируют в контактный чан перед медной флотацией и в перемешивателе медного концентрата. После обработки пульпы кислотой селективная флотация медных минералов осуществляется при рН=6,5 с добавлением "голодных норм" слабых собирателей - этилового ксантогената - 35 г/т и содового аэрофлота -20 г/т; в качестве вспенивателя применяют крезильовую кислоту -25 г/т. Дальнейшую флотацию галенита проводят с помощью этилового ксантогената -25 г/т, цианида -260 г/т и извести 145 г/т. Хвосты свинцового цикла стучают и перемешивают с медным купоросом - 810 г/т при подогреве. В цинковом цикле применяют на 1 т руды : 50 г этилового ксантогената, 20г содового аэрофлота, 26г амилового ксантогената, 3 г соснового масла, 440г извести и 190 г соды. Цинковый концентрат

перечисают при 35°C. Из хвостов цинкового цикла с добавлением этилового и амидового ксантогенатов флотирют плут.

Схема и реагентный режим, применяемые на фабрике Лайл Джордж, позволяют получать относительно высокие извлечения меди в концентрат; из руды с содержанием меди 0,55% извлекают в 25%-ый концентрат 81,1% меди.

На фабрике Тсумб (Юго-Западная Африка), перерабатывающей руду, содержащую теннантит, халькозин, борнит, галенит и сфалерит, из коллективного концентрата, содержащего 41,5% свинца, 19,2% меди и 8,4% цинка, селективно извлекают медные минералы и затем сфалерит. Хвосты цикла селекции являются свинцовым концентратом. Основное количество галенита и сфалерита в пульпе медной флотации депрессируется известью, которая подается в концентратный чан коллективного концентрата, в основную флотацию и переотстилку при суммарном расходе 12,7 кг на 1 т концентрата. Флотацию меди ведут с применением изопропилового ксантогената при расходе 48 г на 1 т концентрата. Однако этот расход следует считать очень низким, если учесть содержание ценных компонентов в руде (табл. 19) и коллективном концентрате. После переотстилки медный концентрат подвергают обесвинцеванию путем флотации галенита и сфалерита медных минералов гипохлоритом кальция-680 г на 1 т концентрата. Из хвостов медного цикла флотирют сфалерит при депрессии галенита бихроматом (900 г/т) и цианидом (590 г/т концентрата); из других реагентов применяют изопропиловый ксантогенат (45 г/т) и реагент 610 (36 г/т концентрата).

Из коллективного продукта в соответствующие концентраты извлекается: 55,3% меди; 94,7% свинца; 57,5% цинка.

#### Флотация свинцово-цинковых руд

Значительную часть свинцово-цинковых руд за рубежом флотируют с применением в качестве собирателей аэрофлотс В 31, 242 и этилового (средний расход - 30 г/т) и низких ксантогенатов - этилового и изопропилового (средний расход - 30-60 г/т). Сочетания собирателей в одном и том же цикле селективной флотации применяют редко, гораздо чаще - равнозначные собиратели в свинцовом и цинковом цикле (например, аэрофлот и ксантогенат).

Из вспенивателей наиболее распространены Аэрофрос 77, метил-изобутилкарбинол, крезиловая кислота, Зоуфрос, гексильный спирт и сосновое масло, причем в свинцовом и цинковом цикле иногда используют разные вспениватели.

Результаты обогащения медно-свинцово-

Фабрики	Содержание металлов в руде, %			Содержание металлов в концентратах					
				медный концентрат			свинцовый концентрат		
	Cu	Pb	Zn	Cu	Pb	Zn	Cu	Pb	Zn
Федерал	0,20	1,92	нет	-	68,12	-	27,4	-	-
Сан-Франциско	0,8	-	-	25,2	6,8	-	1,9	60,4	-
Керджалийская	0,22	2,99	3,21	14,8	10,4	3,2	0,77	63,1	0,33
Ландора	0,72	2,67	3,48	27,3	2,9	4,5	2,8	67,1	2,8
Тсумеб <sup>х)</sup>	6,8	14,5	2,9	55,4	9,0	5,4	11,4	51,9	5,7
Булиден	1,0	2,0	8,0	18,0	-	-	-	43,0	-
Бучанс	1,07	7,23	12,44	27,1	-	-	-	-	-
Виханти	0,88	0,52	10,2	25,3	1,74	5,54	1,1	50,9	4,42
Гарпенберг	0,4	3,3	3,7	22,0	3,0	-	0,9	60,0	9,0
Лайн Джордж	0,55	5,8	10,40	20,7	6,2	6,4	0,18	61,4	11,0
Тульсиква	1,6	1,5	7,0	18,0	4,0	14,0	6,0	45,0	10,0
Раммельсберг	1,3	8,0	17,0	20,0	6,0	8,0	2,0	-	-

<sup>х)</sup> Извлечения даны от коллективного к-та, принятого за 100%.  
Год сведений о результатах работы фабрик соответствует

Т а б л и ц а 19  
цинковых руд на некоторых зарубежных фабриках

% цинковый концентрат			Извлечение металлов в одноименные концентраты, %		
Cu	Pb	Zn	Cu	Pb	Zn
-	-	-	62,4	94,08	-
-	-	55,7	-	-	-
1,74	1,41	49,3	20,9	90,9	82,9
0,97	0,5	57,5	78,9	93,1	87,7
1,5	9,9	56,4	55,3	94,7	37,3
-	-	53,5	-	-	-
-	-	-	82,5	88,2	80,0
0,3	0,1	54,6	80,5	70,3	93,9
0,8	2,0	53,0	60,0	60,0	65,0
0,21	2,5	57,5	81,1	81,7	78,7
1,0	1,0	55,0	77,5	62,0	72,0
-	-	-	65,0	-	-

данным табл. 18.

В качестве добавки к синтетическим вспенивателям применяют креозот. Подавителем сфалерита в большинстве случаев является либо один цианид (90-70г на 1 т руды), либо цианид в сочетании с цинковым купоросом (20-50 г/т) или реагентом Экзоф Р-82 (10 г/т).

Обогащение свинцово-цинковых руд на зарубежных обогатительных фабриках осуществляют по схеме прямой селективной флотации (табл. 20) и лишь на фабрике Анаконда в США применяется схема коллективно-селективной флотации.

На фабрике Анаконда [3] производительностью 3500 т/сутки перерабатывают руду, содержащую сфалерит, галенит и пирит в кварцево-полевощатовой породе. Среднее содержание в руде свинца 1,0%, цинка 5,0%.

Руду намельчают до 45% -0,04мм и при pH=11 ведут коллективную флотацию, применяя на 1 т руды: 23г этилового ксантогената, 32г минерала 20I, 27г метилизобутилкарбинола, 370 медного купороса, 4600г известн. Коллективный концентрат дозмельчают до 70% - 0,044 мм и флотируют галенит, депрессируя сфалерит цианидом (70 г/т) и цинковым купоросом (135 г/т). Свинцовый концентрат содержит 47% свинца (при извлечении всего 53%) и 9,0% цинка, а цинковый - 53% цинка (при извлечении 87%) и около 3% свинца. В качестве собирателя обычно используют этиловый ксантогенат (15-50 г/т), режа - аэрофлот. Из вспенивателей чаще всего применяют метилизобутилкарбинол и крезоловая кислота в свинцовом цикле, креозол и сосновое масло в цинковом цикле. Расход медного купороса - активатора сфалерита - составляет 300-500 г/т. Добавка щелочи обычно не требуется ни в свинцовом, ни в цинковом цикле. На фабриках Австралии известь подают лишь в перемешивании цинкового концентрата [3]. Показатели обогащения сульфидных свинцово-цинковых руд, в которых нет сульфидов железа, очень высокие (табл.20); так на австралийских фабриках, перерабатывающих руду, содержащую галенит, марматит и тетраэдрит, суммарное извлечение свинца и цинка достигает 190%, а получаемые концентраты отличаются высоким качеством.

Наиболее часто встречаются сульфидные свинцово-цинковые руды, содержащие пирит или другие сульфиды железа. Руды этого типа обогащают в Канаде (фабрики Сулливан, Джерси, Сальмо, Ривез Макдональд, Нью Калумет, Минерал Кинг Проперти и др.), в США (фабрики Остинвилл, Гэдвелл и др.), в Греции (фабрика Кассандра), в Испании (фабрика Реосия).

Содержание железа в рудах может колебаться в широких пределах и обычно составляет 2-7%, достигая в отдельных случаях 15-20%. В результате возрастания содержания сульфидов железа во флотации увеличивается расход цинка и депрессоров, а вместе с тем уменьшается селективная способность реагентов к железу в шихте.

При флотации руд с большим содержанием сульфидов железа, а измельчение подает известь для нейтрализации кислотности, которая может способствовать флотации сульфидов железа, требуется точная дозировка извести во избежание излишнего расхода. В цикле свинцовой флотации рН=8,5-10,5.

Расход цианида редко превышает 120 г на 1 т руды и обычно составляет 30-60 г/т; иногда цианид применяют в сочетании с цинковым купоросом (20-50 г/т). Расход медного купороса - 200-500 г/т, в среднем 200-350 г/т. Хорошими подавителями для руд с высоким содержанием сульфидов железа служат сульфит и бисульфит натрия.

Небольшой расход подавителей и активаторов на переработке фабриках является в некоторой степени следствием применения слабых собирателей при малом расходе - не более 2-30 г/т. Из собирателей в настоящее время чаще всего применяются ртуть и изопропиловый ксантогенат, аэрофлот В 25 и В 242. Аэрофлот применяют в свинцовом цикле, собиратели ртути применяют в измельчение.

При флотации сульфидных свинцово-цинковых руд ртуть в свинцовом цикле привлекается довольно часто и получаемый цинковый концентрат содержит очень мало свинца. На некоторых фабриках, например на фабрике Сулливан, свинцовый концентрат подвергают обесцинкованию, применяя на 1 т концентрата 5г изопропилового ксантогената, 28г бихромата натрия, 130г медного купороса и 175 г извести.

При флотации окисленных свинцово-цинковых руд с кислым характером породы для нейтрализации кислотности и коагуляции сульфидов железа обычно дозируют в измельчение кальциформатный соду или известь.

Хорошие результаты флотации получаются в таких селективных собирателях, как аэрофлот 91, дозируемый в измельчение; ксантогенат совсем не применяют или дозируют в небольших количествах. Хорошими реагентами для слабоселективных руд являются сульфит и бисульфиты, заменяющие цианид или применяющиеся вместе с ним. В отличие от цианида сульфиты сохраняют депрессирующее действие на шихту в кислой среде.

Реагентные режимы и технологические

Страна	Фабрика	Произ- води- тель- ность, т/сутки	Тонкость помола, % 0,074мм	Собиратель и всасы- ватель, г/т	Подави- тель сфа- лерита в свинцо- вом цикле, г/т	
				свинцо- вый цикл	цинковый цикл	
АВСТРАЛИЯ (х)	Зинк Кор- порейшн	3700	40%	Этиловый ксантат (40)	Этиловый ксантат (55), крезол (16)	Не при- меняют
	Нью Брокен Хилл	3500	240 меш	Метилизо- бутилкар- бинол (5)		
	Брокен Хилл Норс	2000				
	Брокен Хилл Саус	1600				
И Т А Л И Я	Рейбл	2200	65	Амиловый ксантат (7), тио- карбанид (23), аэро- флот 242 (15), кре- виловая кислота (49)	Амиловый ксантат (65), изо- пропило- вый ксан- тат (10), этиловый ксантат (30), спелд 3456(103), сосновое масло (50)	Экоф Р-82 (10), цианид (10)
	Монте- веккио	1250	60	Флекс 115Р (15), спелд 1333, креви- ловая кислота (8)	Спелд 3456 (40), спелд 1333, кре- виловая кислота (35)	Экоф Р-82(6), цианид (5)
	Буггери	700	-	Этиловый ксантат (8), сос- новое масло(20)	Этиловый ксантат (52), сос- новое масло(33)	Цианид (10)

Т а б л и ц а 20

показатели работы свинцово-цинковых фабрик [3,2I,4I]

РН	Содержание, %								Извлечение в одноимен- ные концен- траты, %		
	руда		свинцовый кон- центрат		цинковый концентрат						
	Pb	Zn	Pb	Zn	Pb	Zn	Pb	Zn	Pb	Zn	
7,6	-	11,7	12,7	76,8	3,8	0,9	51,8	96	92,4		

7-9	8-9	0,91	7,41	73,3	5,8	1,6	57,7	53,3	82,1		
-----	-----	------	------	------	-----	-----	------	------	------	--	--

-	-	2,26	5,04	55,4	3,4	0,56	61,4	95,6	85,8		
---	---	------	------	------	-----	------	------	------	------	--	--

-	-	0,27	3,8	58,2	15,9	2,57	53,4	-	78,5		
---	---	------	-----	------	------	------	------	---	------	--	--

Страна	Фабрика	Произ- води- тель- ность т/сутки	Тонкость, помола, % -0,074мм	Собиратель и успе- иватель; г/т		Подави- тель ста- перита в свинцовом цикле, г/т
				свинцо- вый цикл	цинковый цикл	
	Сулливан <sup>x)</sup>	10000	90	Изопро- пиловый ксантат (65), кре- вяловая кислота (4) и доуфрос 250 (3)	Изопро- пиловый ксантат (30), до- уфрос 250 (4)	Цианид (30)
	Джерси <sup>xx)</sup>	1800	65	Ксантат, фозокре- вол В и спирт	Ксантат, фозокре- вол В и спирт	Цианид (40), цинковый купорос (18)
К А Н А Д А X)	Х.В. X)	1260	70	Изопро- пиловый ксантат (10), доуфрос (3)	Изопро- пиловый ксантат (30), доуфрос (6)	Цианид (65)
	Ривес <sup>xx)</sup> Макдо- нальд	1200	80	-	-	Цианид (54)
	Нью Наду- мет <sup>xx)</sup>	800	50	Изопро- пиловый ксантат (20), кревол А (85)	Изопро- пиловый ксантат (10) R-211 (28), до- уфрос 250 (105)	Цианид (120), цинковый купорос (25)

Продолжение таблицы 20

рН		Содержание, %								Извлечение в одноименные концентраты, %	
свинцовый цикл	цинковый цикл	руда		свинцовый концентрат		цинковый концентрат		Pb	Zn		
		Pb	Zn	Pb	Zn	Pb	Zn				
10,5	-	-	-	65,7	3,0	8,8	46,8	-	-		
-	-	1,5	4,3	76,4	3,9	1,4	58,1	93	93		
10	-	0,91	4,8	55	-	-	55	-	85		
-	-	1,16	3,43	53,5	-	-	53,7	71,2	83,4		
8,7	11,3	2,2	7,5	54	-	-	52	93	94		

Страна	Фабрика	Производительность, т/сутки	Тонкость помола, %	Собиратель и вспениватель, г/т	Подавитель с/алерита в свинцовом цикле, г/т
	Сент Джо-веф <sup>х)</sup>	2400	80	Аэрофлот 31 (32), аэрофрос 77 (14)	Не применяется
С Ш А <sup>х)</sup>	Бункер <sup>х)</sup> Хилл	2400	45% -0,044 мм	Этиловый ксантат (25), масло Барет № 4 (35) и гексильный спирт (9)	Этиловый ксантат (45), масло Баррет (9) и гексильный спирт
Марокко <sup>х)</sup>	Бу Бекер <sup>х)</sup>	500	60	Этиловый ксантат (18), аэрофлот № 31 (40), НВТА (9)	Бутиловый ксантат (72), НВТА (18) и цианидный купорос (552)

х) Данные за 1962 год.

хх) Данные за 1963 год.

Продолжение таблицы 25

СВИНЦОВЫЙ ЦИКЛ	pH	Содержание, %						Извлечение		
		руда		свинцовый концентрат		цинковый концентрат		в одновалентных концентратах, %		
		Pb	Zn	Pb	Zn	Pb	Zn	Pb	Zn	
	7,8	-	2,7	0,22	78,5	0,8	3,5	52	98	65

	7,2	12	7,1	2,5	66	5,9	1,8	54,1	96,7	65,2
--	-----	----	-----	-----	----	-----	-----	------	------	------

	9,3	8,6	3,55	24,3	73,1	2,98	0,59	62,4	93	93
--	-----	-----	------	------	------	------	------	------	----	----

Слабокислые руды, содержащие 5–6% пирита, перерабатывают на одной из фабрик компании Монтевеккио (Сардиния). Для отделения галенита от сфалерита и пирита на фабрике Монтевеккио в настоящее время применяют при небольших расходах цианид и соль Экоф Р-82 (натрий-цинк-пиросульфит). Свинцовый концентрат содержит около 55% свинца и 3,4% цинка, извлечение свинца около 96%. В высококачественный цинковый концентрат с содержанием 61% цинка извлекают приблизительно 86% цинка и менее 2% свинца.

Сильнокислые руды (высокая кислотность особенно характерна для старых отвалов) перерабатывают в Греции (рудники Лаврион) и в Испании (Карфаген). Содержание растворимых солей в этом классе руд может достигать нескольких килограммов на тонну;  $pH = 4,5$ , причем в результате окисления пирита руда может содержать свободную серу.

Если содержание растворимых солей в сильнокислой руде не слишком высокое, руду перед селективной флотацией промывают или обесшламливают (фабрика Джилмен компании Нью Джерси зинк, США).

Если промывка затруднена, рекомендуется схема, по которой коллективная флотация проводится в кислой среде в присутствии всех растворимых солей; в качестве собирателя применяют аэрофлот, минерек или, если кислотность не слишком высока, ксантогенат. Пирит частично депрессируется сульфитами. Разделение концентрата весьма затруднено.

Окисленные руды в основной породе, содержащие галенит, сфалерит, церуссит (иногда смитсонит и каламан), перерабатывают в Италии (фабрики Рейбл, Монтепони, Буггери, Горно), в Югославии (фабрика Межица), в Марокко (фабрика Туиссит и др.), в Австрии (фабрика Блайсберг). Окисленные свинцово-цинковые руды в основной (обычно кальцито-барито-доломитовой) породе с трудом разделяются на минералы свинца и цинка.

При обогащении руд этого типа чаще всего галенит флотируют совместно с церусситом, а затем из хвостов свинцовой флотации извлекают сфалерит (а иногда смитсонит и каламан). По этой схеме работают фабрики Италии. Технологическую схему последовательной флотации в порядке галенит-сфалерит-церуссит применяют реже (по такой схеме работает югославская фабрика Межица) [42, 43]; в качестве собирателя галенита используют этиловый ксантогенат и спедд 1333, в качестве собирателя церуссита – изопропиловый ксантогенат или R - 10 (циклогексиддитиокарбамат).

При совместной флотации галенита и церуссита сульфидизацию часто проводят в присутствии жидкого стекла. Аммиачный ксантогенат предпочтительно подают в измельчение. Хорошие результаты дает дробная подача сульфида натрия и амидового ксантогената. В качестве подавателя сфалерита используют либо один цианид, либо цианид совместно с цинковым купоросом или реагентом P-82. В свинцовом цикле pH=7-9,5, в сульфидном цинковом - 8-9,5. Расход медного купороса для активации сфалерита иногда доходит до 1 кг/т.

Извлечение окисленных минералов цинка-каламита, смитсонита в промышленном масштабе осуществляют на нескольких фабриках Италии и Марокко.

На фабрике Торно [41] производительность 40 т/сутки перерабатывают руду со средним содержанием свинца 1,3% и цинка 6,1%. На долю окисленного цинка приходится приблизительно 65% от общего содержания. Основные минералы в руде - галенит, сфалерит, смитсонит, каламит, гидроцинкит, пирит. Порода представлена кальцитом, баритом, доломитом и кварцем. Вначале на фабрике флотируют галенит, затем - сфалерит, затем после обесшламливания пульпы - окисленные минералы цинка (в основном каламит). pH=9,5 в свинцовом цикле; в цинковом сульфидном - 8,5; в каламитовом - II. Сульфидизацию окислов в цинковом цикле проводят при подогреве пульпы до 50°. Расход на 1 т руды в свинцовом цикле: 60 г карбоната, 32 г аммиачного ксантогената, 200 г соды, 20 г аналогичного азрэдэту 31 реагента спелд 1333, 40 г крезоловой кислоты, 200 г жидкого стекла, 600 г сернистого натра, 40 г цианида натрия и 15 г цинкового купороса; в цинковом сульфидном цикле - 40 г этилового ксантогената, 20 г соснового масла, 600 г медного купороса, 120 г соды; в цинковом окисленном цикле - 190 г аммиачного ксантогената, 550 г углеводов, 90 г соснового масла, 30 г амина, 8 г крезоловой кислоты, 1300 г жидкого стекла, 1300 г сернистого натра, 850 г медного купороса. В цикле флотации каламина основное количество реагентов подают в последовательно расположенные контактные чаны перед основной флотацией. В первые два чана (подогрев до 50°) дозируют сернистый натр и жидкое стекло, в третий чан - аммиачный ксантогенат и углеводороды, в следующие четыре чана - медный купорос и сосновое масло. В контрольную флотацию подают сернистый натр, амин, 10 г/т соснового масла и крезоловую кислоту.

На фабрике получают свинцовый концентрат, содержащий 57% свинца и 6,5% цинка, сульфидный цинковый концентрат с содержанием

58 % цинка и 2,5% свинца и окисленный цинковый концентрат, содержащий 37% цинка и 1,2% свинца. Свинца извлекают приблизительно 85%, сульфидного цинка - 90%, окисленного цинка - 81%.

#### Флотация медно-никелевых руд

Около 90% тоннажа медно-никелевых руд за рубежом перерабатывают с применением в качестве собирателя высшего (амилового) ксантогената при среднем расходе 85 г на 1 т руды. На некоторых фабриках, видимо вследствие хорошей флотиремости пентландита, в качестве собирателя в коллективной медно-никелевой флотации применяют изопропиловый ксантогенат (доля тоннажа руд около 10%, средний расход - 80 г/т).

Около 80% тоннажа медно-никелевых руд в Канаде и Финляндии флотируют с использованием соснового масла или флотола. Синтетические вспениватели (Доуфрос, ТЭБ, метилизобутилкарбинол) применяют реже (20% тоннажа руд) и иногда в сочетании с сосновым маслом.

Флотационное разделение коллективного медно-никелевого концентрата (халькопирит-пентландит) на всех фабриках проводят при депрессии пентландита известью с добавлением в отдельных случаях небольшого количества цианида или декстрина. Средневзвешенный расход извести в цикле селекции на зарубежных фабриках невелик и составляет около 1500 г на 1 т концентрата.

Поскольку никелевые руды наряду с пентландитом обычно содержат и слабофлотирующийся никеленосный пирротин, последний доизвлекают либо из хвостов коллективного цикла после активации медным купоросом, либо наоборот, выделяют из исходной руды магнитной сепарацией перед флотационным обогащением.

По схеме коллективной медно-никелевой флотации без последующего разделения коллективного концентрата работают фабрики в Канаде: Фалконбридж производительностью 2750 т/сутки, Фекунис - 2500, Харди - 1500 и Рэнкин - 250 т/сутки.

Фабрики Фалконбридж, Фекунис и Харди перерабатывают руду, содержащую халькопирит, пентландит и пирротин в кварцево-полевошпатовой породе [3]. После измельчения руды до 65% - 0,074 мм выделяют основное количество коллективного медно-никелевого концентрата (халькопирит-пентландит) в виде головки с применением в качестве собирателя изопропилового ксантогената и вспенивателя ТЭБ или Доуфрос 250. Затем для активации пирротина подают медный

купорос (60-90 г на 1 т руды) и осуществляют основную и контрольную флотации, концентраты которых перечищают на магнитных сепараторах. Магнитную фракцию после сепарации доизмельчают до 98% -0,074 мм и флотируют (предварительно аэрируя пульпу для подавления пирротина). Пенный продукт флотации магнитной фракции присоединяют к основному медно-никелевому концентрату, а из хвостов магнитной сепарации извлекают пирротин в бедный никелистый продукт с содержанием 0,17% Cu и 1,15% Ni. Суммарный расход изопропилового ксантогената на фабриках составляет на 1 т руды 80-90г, вспенивателя ТЗБ - 20г; на фабрике Фекунис в качестве вспенивателя применяют Доуфрос 250 - 25 г.

На фабрике Файконбридж коллективную флотацию проводят при pH=7,8 (без добавления извести), а на фабриках Фекунис и Харди при pH=9,2-9,5 (расход извести 180-670 г на тонну руды). Из руды, содержащей 0,74% Cu и 0,99% Ni, на фабрике Файконбридж получают концентрат с содержанием 5,87% меди и 6,5% никеля; в отвальных хвостах -0,06% Cu и 0,13% Ni. Коллективный концентрат фабрики Фекунис содержит 9,8%, а фабрики Харди -8,0% никеля.

На фабрике Ранкин коллективную медно-никелевую флотацию после измельчения руды до 75% минус 0,074 мм осуществляют с дозировкой на 1 т руды 2265г кальцинированной соды, 25 г этилового ксантогената, 10г вспенивателя, 75г крахмала. Из руды, содержащей 0,81% меди и 3,3% никеля, получают коллективный концентрат с содержанием 3,25 и 13,5% соответственно.

Крупнейшие зарубежные обогатительные фабрики в Канаде - Колпер Клифф производительностью 27 тыс.т руды в сутки, Левак - 6000 т, Томсон - 6000 т и фабрика Каталахти в Финляндии - 900 т работают по схеме коллективно-селективной флотации [3,39,44-46].

Коллективную медно-никелевую флотацию на фабрике Колпер Клифф осуществляют после измельчения руды до 40% минус 0,044 мм с дозировкой амилового ксантогената 90-100г на тонну руды и вспенивателя - соснового масла или флотола при pH=8,8-9. Для усиления депрессии минералов пустой породы (кварц, полевошпат) вводят жидкое стекло.

Коллективный концентрат (халькопирит, пентландит, пирротин) после перечистки подвергают селективной флотации с подавлением пентландита известью (фабрика Колпер Клифф) или известью совместно с декстрином (фабрика Каталахти).

Расход извести составляет 1500 г на тонну концентрата, декстрина около 200 г/т. Из хвостов коллективной флотации с применением в качестве активатора медного купороса 100г/т флотируют никеленосный пирротин в бедный никелистый концентрат.

На фабрике Томпсон перерабатывает руду, содержащую халькопирит, пирротин и пентландит (соотношение пирротина к пентландиту 2,2:1).

Исходную руду после измельчения до 45% минус 0,074 мм подвергают коллективной флотации с дозировкой амилового ксантогената калия и синтетического спиртового вспенивателя.

Коллективный концентрат разделяют с депрессией минералов никеля известью (750 г/т). Медный концентрат четыре раза перечищают с применением в качестве подавителя минералов никеля реагента № 633 фирмы Сайанамид, изготовляемого на основе декстрина. Расход этого реагента 40 г/т.

Из хвостов коллективного цикла после активации медным купоросом (125 г/т) и добавления амилового ксантогената и спиртового вспенивателя флотируют пирротин и объединяют его с никелевым концентратом цикла разделения.

Суммарный расход амилового ксантогената калия на фабрике Томпсон - 80 г/т, синтетического спиртового вспенивателя - 25 г/т.

На канадской фабрике Линн Лейк (3400 т/сутки) исходную руду измельчают до 65% -0,15 мм и подвергают магнитной сепарации для извлечения никеленосного пирротина, с направлением немагнитной фракции во флотацию [3].

Руда, поступающая на фабрику, содержит пентландит, халькопирит, пирротин и пирит; порода представлена актинолитом и тальком. Магнитную фракцию первичной сепарации, выход которой составляет 15%, доизмельчают и перечищают на магнитных сепараторах. Из магнитного продукта флотируют пирротин, получая никелевый концентрат с содержанием никеля 3,5% и отвальные хвосты с содержанием никеля 0,95%. Немагнитную фракцию первичной сепарации доизмельчают и подвергают коллективной медно-никелевой флотации.

Коллективный концентрат доизмельчают, перечищают и разделяют депрессией пентландита известью. Медный концентрат перечищают один раз. Из руды с содержанием 0,5% меди и 1,15% никеля получают медный концентрат, содержащий 30% меди и 0,7% никеля при извлечении соответственно 68% и 0,6% и никелевый концентрат, содержащий 12,2% никеля и 1,35% меди при извлечении соответственно 83% и 21%.

Коллективную флотацию медных и никелевых минералов из хвостов магнитного обогащения проводят при pH=9,3 с применением на 1 т руды следующих реагентов: 70г амилового ксантогената, 20г метилизобутил-

карбинола, 160 г пирофосфата натрия и 150 г гуартека. Перечистку коллективного концентрата ведут в слабокислой среде при  $\text{pH}=5,6$ , добавляя 14 г/т медного купороса и 45 г/т сернистого газа. При разделении медно-никелевого концентрата для подавления пентландита используют известь (360 г/т) и небольшое количество цианида (около 1 г/т).

Пять крупнейших зарубежных флотационных фабрик общей производительностью более 50000 т/сутки при работе по коллективно-селективной схеме получают (средневзвешенные данные) медный концентрат, содержащий 28% меди при извлечении около 70% и никелевый концентрат, содержащий 6,2% никеля при извлечении около 91%; содержание меди и никеля в руде - соответственно 0,32% и 0,8%.

### Литература

1. Mining Journal, 1963, v. 260, N 6647, стр.32.
2. Engineering and Mining Journal, 1964, v.164, N 5, стр.115,143
3. Froth flotation 50-th Annivereary volume, New York, 1962, стр.55-76, 383-414.
4. Гурвич С.М., Соколова Р.Я., Егорова Е.Ф., Базанова Н.М., Шубов Л.Я., Рыскин М.Я. Синтез и лабораторные испытания алкилтионоккарбаматов. В сб. "Исследования обогатимости руд цветных металлов", 1965, стр.124-128.
5. Bergakademie, 1963, v. 15, N 12, стр.850-855.
6. Mining Engineering, 1965, v.17, N 3, стр.43, 79-84.
7. Mining Engineering, 1963, v.15, N 2, стр.95-107.
8. Флотационные реагенты США. ЦИИИцветмет, 1963, стр.23-24.
9. Canadian Mining Journal, 1964, v.85, N 2, стр.152-157.
10. Industrial mineraria, 1963, v.14, N 2, стр.77-87.
11. Zeitschrift für Erbergbau und Metallhüttenwesen, 1964, v.17, N 5, стр.253-259.
12. Mining Engineering, 1966, v.18, стр.56-58.
13. Engineering and Mining Journal, 1961, v.162, N 5, стр.13.
14. Mining Engineering, 1964, 16, N 5, стр.58-73.
15. Engineering and Mining Journal, 1964, v.164, N 12, стр.91.
16. Engineering and Mining Journal, 1964, v.164, N 6, стр.130.
17. Mining Congress Journal, 1962, 48, N 11, стр.68-72.
18. Mining Congress Journal, 1962, 48, N 12, стр.44-51.
19. Mining Congress Journal, 1963, 49, N 1, стр.47-51.
20. Mining Magazine, 1965, v.113, стр.237-243.
21. Canadian Mining Manual, 1963, стр.87-100.
22. Western Miner and oil Revue, 1965, v.38, N 6, стр.38-42.
23. Transactions, 1963-64, v.73, N 4, стр.177-253.
24. Технология обогащения руд цветных металлов в капиталистических странах. ЦИИИцветмет, 1964, стр.18-22.
25. Mining Engineering, 1963, v.15, N 9, стр.47-52.
26. Quarterly of the Colorado School of Mines, 1961, v.56, N 3, стр.177-195, 263-281.
27. Engineering and Mining Journal, 1959, v.160, N 6, стр.104-107
28. Mining World, 1959, v.21, N 1, стр.44-46.

29. Canadian Mining and Metallurgical Bulletin, 1964, v.57, № 7, стр.781.
30. Engineering and Mining Journal, 1965, v.166, № 4, стр.174.
31. Mining World, 1962, 24, № 9, стр.22-25.
32. Mining Engineering, 1964, v.16, № 7, стр.116, 116B, 117D.
33. Mining Engineering, 1966, v.18, № 1, стр.56-58.
34. The Milling Canadian Ores, Toronto, Canada, 1957.
35. Transactions АЛММ and P.E., 1962, v.223, стр.208-218.
36. Progress in Mineral dressing Stockholm, 1957, стр.511-524.
37. Ковачев Н. и др. Обогащяване на рудите в България. София, 1964, стр. 90-133.
38. Mining World, 1960, v.22, № 2, стр.30-33.
39. Обогащительные фабрики финского акционерного общества "Оутто-кунпу". ЦИИИцветмет, 1963, стр.3-5, 13-21.
40. Zeitschrift für Erzbergbau und Metallhüttenwesen, 1965, v.18, № 1, стр.25-31.
41. Installations de preparation des menerais en Italia, Rome, 1963.
42. Technica, 1963, v.18, № 6.
43. Rudy i metale niezelazne, 1960, v.5, № 9, стр.386-388.
44. Canadian Mining Journal, 1961, v.82, № 1, стр.61, 62.
45. Mine and Quarry Engineering, 1962, v.28, № 8, стр.338-345.
46. Canadian Mining and Metallurgical Bulletin, 1964, v.57, № 11, стр.1167-1172.

## СОДЕРЖАНИЕ

ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ПРИМЕНЕНИИ ФЛОТОРЕАГЕНТОВ НА ЗАРУБЕЖНЫХ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИКАХ.....	3
АНАЛИЗ РЕАГЕНТНЫХ РЕЖИМОВ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК США...	II
ОБЗОР РЕАГЕНТНЫХ РЕЖИМОВ ФЛОТАЦИИ РУД ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ.	
Флотация медных сульфидных руд.....	27
Флотация окисленных и смешанных медных руд.....	38
Флотация медно-молибденовых руд.....	42
Флотация медно-цинково-пиритных руд.....	55
Флотация медно-свинцово-цинковых руд.....	63
Флотация свинцово-цинковых руд.....	71
Флотация медно-никелевых руд.....	84

Редактор Б.И. Бурт

---

Подписано к печати 22/XI-1966г.

Бумага 60x90 I/16-2,875 бум.л. 5,75л.л. 4,0 уч.-изд.л.  
Т-14586 Заказ 441 Тираж 770 экз. Цена 33 коп.

---

Институт "Цветметинформация"

