

№ 1730

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ИНСТИТУТ СТАЛИ и СПЛАВОВ**
Технологический университет



МИСиС

Кафедра обогащения руд цветных и редких металлов

Р.В. Коржова

СЫРЬЕВАЯ БАЗА И ОБОГАЩЕНИЕ РУД

Учебное пособие

для студентов специальностей 1102, 2102, 0608

Часть II

ТЕХНОЛОГИЯ ОБОГАЩЕНИЯ РУД

Рекомендовано редакционно-издательским
советом института

МОСКВА 2002

УДК 622.7

К 66

Коржова Р.В. Сырьевая база и обогащение руд: Учеб. пособие. Ч. 2. Технология обогащения руд: – М.: МИСиС, 2002. – 149 с.

Учебное пособие по курсу «Сырьевая база и обогащение руд» состоит из двух частей, в первой из которых (библ. №782) изложены вопросы подготовки руд к обогащению, а также физические и физико-химические основы гравитационных и флотационных процессов, имеющих наибольшее промышленное применение.

Во второй части рассматриваются вопросы, связанные с технологией обогащения различных типов руд и россыпей, а также вопросы, касающиеся обезвоживания продуктов обогащения, пылеулавливания и очистки сточных вод.

Учебное пособие предназначено для студентов специальностей 1102, 2102, 0608.

© Московский государственный
институт стали и сплавов
(Технологический университет)
(МИСиС) 2002

ОГЛАВЛЕНИЕ

Глава 1. Технология обогащения руд цветных и редких металлов.....	5
1.1. Медные сульфидные руды.....	5
1.2. Полиметаллические руды.....	11
1.3. Медно-молибденовые руды.....	14
1.4. Молибдено-вольфрамовые руды.....	18
1.5. Алюминийсодержащие руды.....	21
1.6. Комбинированные процессы переработки руд цветных металлов.....	23
Глава 2. Специальные методы обогащения.....	30
2.1. Магнитное обогащение.....	30
2.1.1. Магнитные свойства минералов.....	30
2.1.2. Магнитное поле и его свойства.....	31
2.1.3. Электромагниты.....	33
2.1.4. Постоянные магниты.....	35
2.1.5. Открытые магнитные системы.....	36
2.1.6. Замкнутые магнитные системы.....	38
2.1.7. Подготовка руды перед магнитным обогащением.....	41
2.1.8. Оборудование для магнитного обогащения.....	42
2.2. Электрическое обогащение.....	47
2.2.1. Подготовка материала к электрической сепарации.....	50
2.2.2. Сепараторы для разделения минералов по электропроводности.....	51
2.3. Рудосортировка.....	54
2.4. Радиометрические методы обогащения.....	54
2.5. Избирательное дробление и измельчение, термическая декрипитация, специальные методы раскрытия минералов.....	57
2.6. Обогащение по трению и форме.....	58
2.7. Обогащение на жировых поверхностях.....	59
2.8. Бактериальное выщелачивание.....	60
2.9. Обогащение россыпей.....	62
2.9.1. Строение россыпей.....	65
2.9.2. Характеристика россыпей.....	67
2.9.3. Практика обогащения ильменитовой россыпи на Иршинском ГОКе.....	70
2.9.4. Практика обогащения титано-циркониевых россыпей на Верхнеднепровском ГМК.....	71

Глава 3. Обезвоживание продуктов обогащения	73
3.1. Основные понятия. Виды влаги в продуктах обогащения.....	73
3.2. Способы обезвоживания	75
3.2.1. Дренажное	76
3.2.2. Сгущение	80
3.2.3. Применение центробежной силы при обезвоживании.....	91
3.2.4. Фильтрация	93
3.2.5. Сушка	114
3.3. Пылеулавливание.....	123
3.4. Очистка сточных вод	132
Глава 4. Контроль и опробование руд и продуктов обогащения на обогатительных фабриках.....	143
Литература.....	148

Глава 1. ТЕХНОЛОГИЯ ОБОГАЩЕНИЯ РУД ЦВЕТНЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ

1.1. Медные сульфидные руды

Из 170 известных в настоящее время медьсодержащих минералов в промышленном масштабе используется около семнадцати, представленных в основном сульфидами меди – халькопиритом CuFeS_2 , ковеллином CuS , халькозином Cu_2S , борнитом Cu_5FeS_4 , а также окисленными медными минералами – купритом Cu_2O , малахитом $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$, азуритом $2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ и др.

Медные руды на 90...95 % перерабатываются флотацией и лишь 5...10 % подвергается гидрометаллургии, плавке, химическому и бактериальному выщелачиванию. По своему составу медные руды разделяются на сплошные и вкрапленные. Основные запасы меди сосредоточены во вкрапленных рудах. Наиболее распространенные типы их – медно-порфиновые руды и медистые песчаники. Первые обычно содержат 3...4 % сульфидов: халькопирит, пирит, халькозин, борнит; вторые (≤ 15 % сульфидов) имеют незначительное содержание пирита, а медные минералы в них часто представлены халькозином и борнитом, что позволяет получать из них концентраты с высоким содержанием меди (≥ 40 %).

Сплошные (колчеданные) медные руды содержат 50...100 % сульфидов, в основном пирит, являющийся постоянным спутником сульфидов меди. Эти руды труднообогатимы из-за тонкой вкрапленности, присутствия активированного пирита, обладающего близким к сульфидам меди флотационными свойствами, а также из-за интенсивного электрохимического окисления пирита.

Наряду с халькопиритом в таких рудах обычно имеется ковеллин, часть которого (“сажистый” ковеллин) быстро шламуется. Пустая порода представлена кварцем, полевыми шпатами, хлоритом, кальцитом, серицитом.

Выбор схемы флотации медных и медно-пиритных руд зависит от характера вкрапленности сульфидов, их качества, фазового состава и склонности к ошламование.

На рис. 1.1 представлена одностадийная схема флотации легкообогатимых медных руд с крупной и равномерной вкрапленностью для фабрик с малой производительностью.

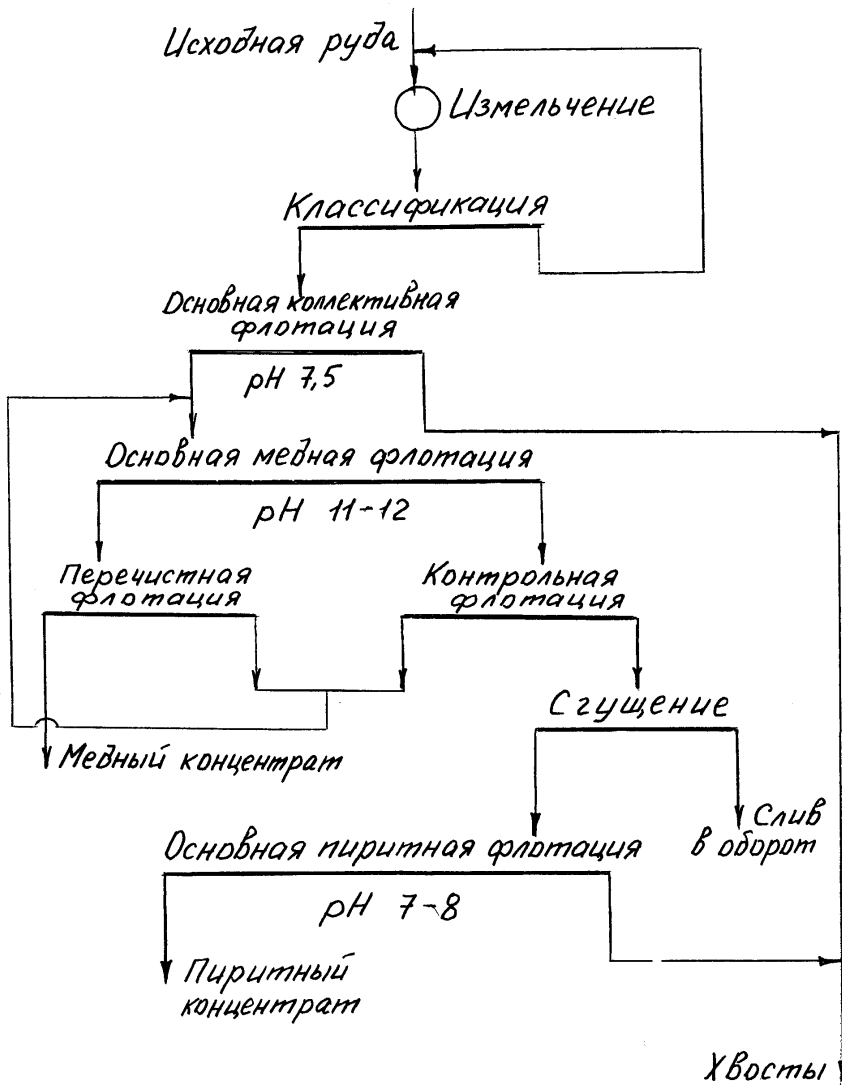


Рис. 1.1. Принципиальная схема коллективно-селективной флотации медно-порфировой руды

Сульфиды меди обладают высокой флотоактивностью в широком диапазоне рН среды – от 6 до 12. При этом вторичные сульфиды меди флотируются лучше первичных. Для поддержания в основной флотации рН 7,5...8,5 в мельницу подается известь 0,5...1 кг/т. В качестве собирателя используется бутиловый ксантогенат калия 30...100 г/т. В качестве пенообразователя широко применяются оксаль Т-80, МИБК (30...70 г/т).

Основной задачей при обогащении медно-пиритных руд является отделение сульфидов меди от сульфидов железа. В зависимости от содержания пирита и благородных металлов, характера вкрапленности пирит может быть выделен в самостоятельный концентрат, частично или полностью извлечен в медный или удален в отвальные хвосты (см. рис. 1.1).

Представленная на рис. 1.1 схема обеспечивает получение высококачественного пиритного концентрата при незначительном содержании пирита в исходной руде. В основной коллективной флотации медных минералов и пирита $\text{pH} \leq 7,5$. При разделении коллективного концентрата $\text{pH} \leq 11...12$.

Щелочность создается известью, загружаемой в мельницу. Когда в руде содержатся окисленные минералы меди, в слив классификатора добавляют сернистый натрий при расходе, не превышающем 0,3 кг/т. Хвосты контрольной медной флотации перемешивают с содой (1...2 кг/т) или сгущают и добавляют свежую воду (для удаления избытка извести). Флотацию пирита ведут при повышенном расходе бутилового ксантогената. Для активации пирита могут быть применены серная кислота, сульфат железа, углекислый газ, снижающие рН жидкой фазы пульпы. С применением углекислого газа для связывания извести в малорастворимый карбонат кальция возможно получение высоких результатов флотации при небольшом расходе ксантогената (50 г/т). Разновидность этого способа – использование отходящих дымовых газов металлургических заводов. При разделении коллективных концентратов пиритный концентрат может быть получен в виде хвостов медной флотации.

Требование к концентратам определяются в зависимости от типа руды и принятого метода их последующей металлургической переработки. В медных концентратах различных марок содержание меди составляют от 12 до 40 % при допустимом содержании в них цинка от 2 до 11 % и свинца от 2,5 до 9 %. В пиритном концентрате содержание серы пиритной может изменяться от 38 до 50 %. Суммарное содержание свинца и цинка не должно превышать 1 %.

Медно-цинково-пиритные руды разделяют на сплошные сульфидные и вкрапленные. Эффективность обогащения зависит от вкрапленности, содержания вторичных сульфидов меди, степени активации сфалерита и степени окисления пирита. Основным промышленным минералом цинка является сфалерит ZnS (цинковая обманка).

Медно-цинково-пиритные руды относятся к наиболее труднообогатимым типам руд цветных металлов. Это объясняется сложностью их вещественного состава, содержанием железа в ZnS , тонкой (до эмульсионной) вкрапленностью сульфидов меди и цинка в пирите, требующей измельчения до 95...100 % класса – 0,043 мм. Эти руды обогащаются по схеме прямой селективной или коллективно-селективной флотации.

При прямой селективной флотации измельчение руды осуществляется до крупности 85...95 % класса – 0,074 мм, когда происходит раскрытие основной массы тонковкрапленных зерен халькопирита, сфалерита и пирита. В измельчение подается небольшое количество цианида и цинкового купороса для подавления флотации сфалерита и пирита. В качестве собирателя используются бутиловый ксантогенат и бутиловый аэрофлот. Из хвостов медной флотации после активации сфалерита медным купоросом получают цинковый концентрат.

Такая схема применяется при флотации медно-цинковых вкрапленных и сплошных руд, в которых медные минералы представлены халькопиритом, а сфалерит не активирован ионами меди.

Если сфалерит активирован ионами меди, то прямая селективная флотация не дает удовлетворительных результатов. В этом случае проводят коллективную флотацию медных и цинковых минералов при депрессии пирита известью. Затем десорбируют собиратель сернистым натрием (≤ 3 кг/т руды) и активированным углем ($\leq 0,3$ кг/т руды). Десорбция проводится в контактном чане при содержании твердого 55...60 %. Коллективный концентрат разделяют путем флотации медных минералов и депрессии сфалерита и пирита сочетанием реагентов: цианида и цинкового купороса, сульфита натрия и железного купороса в известковой среде. Из хвостов медной флотации извлекают сфалерит, вводя для его активации медный купорос. Пирит депрессируют известью. В качестве собирателя во всех циклах используют различные ксантогенаты, иногда в сочетании с бутиловым аэрофлотом. В ряде случаев хвосты коллективной флотации являются готовым пиритным концентратом.

В цинковом концентрате в соответствии с ГОСТом содержание цинка может изменяться от 40 до 56 %. Лимитируется содержание примесей железа, диоксида кремния, меди и мышьяка.

На рис. 1.2 и 1.3 представлены соответственно схемы прямой селективной флотации и коллективно-селективной.

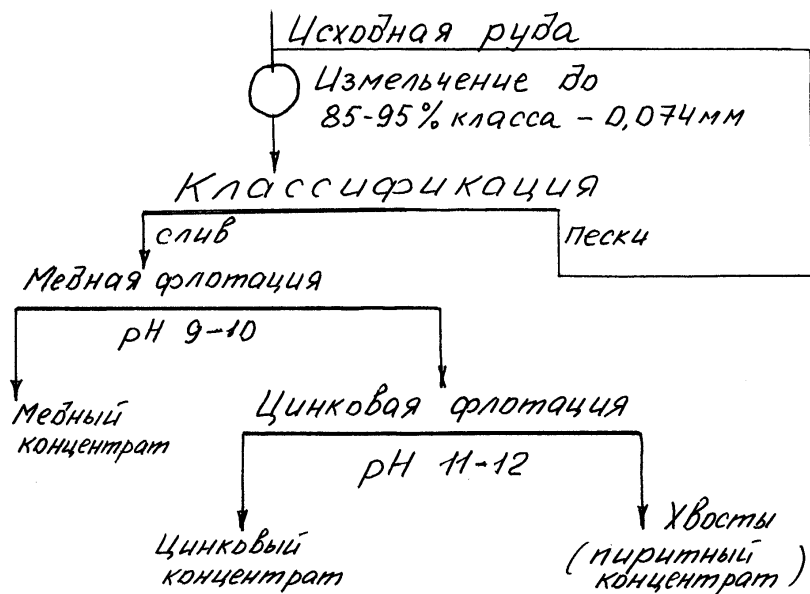


Рис. 1.2. Принципиальная схема прямой селективной флотации медно-цинковой руды

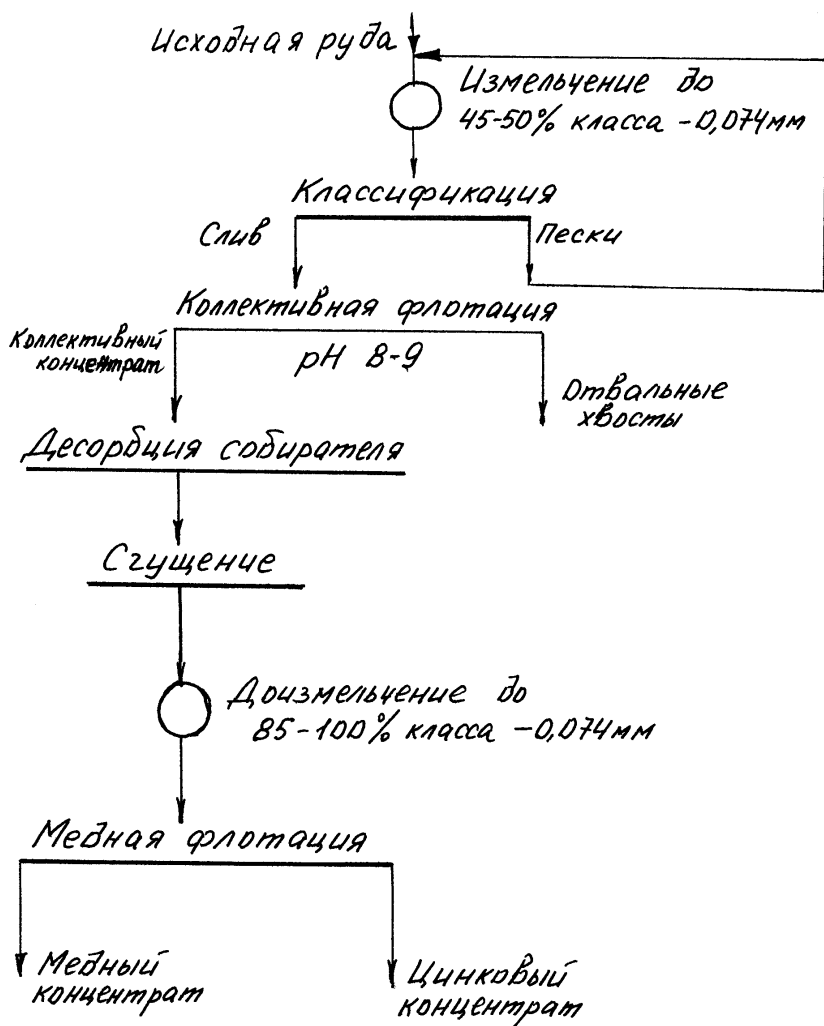


Рис. 1.3. Принципиальная схема коллективно-селективной флотации медно-цинковой руды

1.2. Полиметаллические руды

К полиметаллическим сульфидным рудам относят руды, содержащие медь, свинец, цинк, железо и благородные металлы. Вкрапленность сульфидов в пустую породу агрегативная, поэтому для раскрытия сростков и получения отвальных хвостов достаточно измельчить руду до 45...55 % – 0,074 мм.

Схема коллективной флотации всех сульфидов с последующим их разделением была разработана в институте Механобр (рис. 1.4). В основу технологии разделения коллективного свинцово-медно-цинково-пиритного концентрата положена предварительная десорбция сернистым натрием и последующая отмывка и удаление реагентов. Коллективная флотация всех сульфидов проводится в содовой среде при pH 8...9 (сода загружается в мельницу) с помощью бутилового ксантогената и аэрофлота (или трансформаторного масла). В качестве пенообразователя применяется оксаль Т-80.

Коллективный концентрат обрабатывается сернистым натрием в контактных чанах при интенсивном перемешивании пульпы. После этого пульпа для отмывки реагентов поступает в сгуститель.

Расход сернистого натрия 3...6 кг/т коллективного концентрата. Затем коллективный концентрат доизмельчают до 90 % класса – 0,074 мм и подвергают селективной флотации, в результате которой получают свинцово-медный, цинковый и пиритный концентраты.

В операцию измельчения загружаются цианид, цинковый купорос для депрессии сфалерита и пирита и сода для поддержания pH 7,5...8. В основную свинцово-медную флотацию подаются бутиловый ксантогенат и оксаль Т-80. Цинковая флотация ведется в присутствии медного купороса (активатора сфалерита) и извести (депрессора пирита). Хвосты цинковой флотации подвергаются сгущению для удаления нерастворимой $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и части жидкой фазы с высокой щелочностью. Затем добавляется свежая вода и проводится пиритная флотация при pH 7, для чего подается железный купорос. Собиратель и пенообразователь – те же, что и в других операциях флотации.

При наличии тонких сростков флотация сфалерита и пирита проводится совместно из хвостов свинцово-медной флотации после предварительного доизмельчения. Затем цинково-пиритный концентрат подвергается разделению.

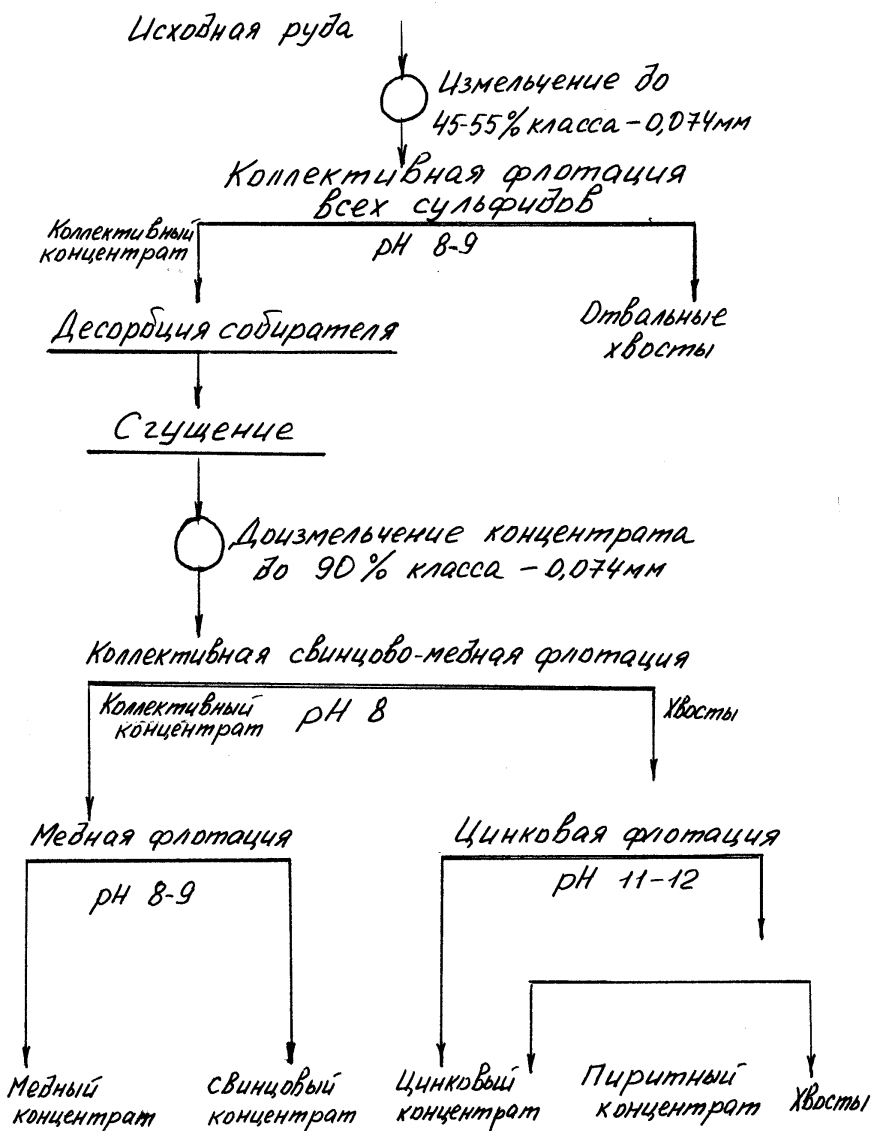


Рис. 1.4. Принципиальная схема флотации полиметаллической руды

Методы разделения свинцово-медных концентратов. Известно несколько методов, позволяющих успешно разделять свинцово-медные концентраты любого состава (табл. 1.1). Достигается это

применением различных селективных регуляторов и их сочетанием. Выбор метода разделения и реагентного режима определяется минеральным составом свинцово-медного концентрата (наличием вторичных сульфидов меди) [1].

На обогатительных фабриках получают свинцовые концентраты разного качества. В концентрате наивысшей марки свинца должно содержаться $\geq 74\%$, а примесей цинка и меди $\leq 2,5$ и $1,5\%$ соответственно.

Таблица 1.1

Реагентные режимы флотационного разделения сульфидов свинца и меди

Методы	Реагенты	Способы разделения
Цианидные	NaCN, KCN или $\text{Ca}(\text{CN})_2$; NaCN или KCN + Na_2SiO_3 или $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$; NaCN или KCN + Na_2S	Флотация галенита и депрессия халькопирита
Цианидные	NaCN или KCN + ZnSO_4 ; $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ – красная кровяная соль; NaCN или KCN + Na_2SO_3	Флотация галенита и депрессия вторичных сульфидов меди
С применением органических соединений	Конго красный	То же
С применением реагентов – окислителей	$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ или $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$; KMnO_4 ; H_2O_2 ; CaOCl_2	Флотация сульфидов меди и депрессия галенита
С применением реагентов – сульфоксидов (восстановителей)	SO_2 ; H_2SO_3 ; H_2SO_3 или Na_2SO_3 + $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$; H_2SO_3 + $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$; Na_2SO_3 + $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ или FeCl_3	То же
Фосфатные	H_3PO_4 ; NaH_2PO_4 ; $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	То же

1.3. Медно-молибденовые руды

Мировое производство молибдена связано с переработкой сульфидных медно-молибденовых и молибдено-вольфрамовых руд. Промышленное содержание молибдена в рудах колеблется в широких пределах от 0,1...0,3 % (в чисто молибденовых рудах) до 0,01...0,005 % (в медно-молибденовых и молибдено-вольфрамовых).

Медно-молибденовые руды обогащают по схеме коллективной флотации с последующей селекцией (рис. 1.5). Основные молибденовые минералы – молибденит MoS_2 , повеллит CaMoO_4 , вольфенит PbMoO_4 и ферромolibдит $3\text{MoO}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; молибденит – важнейший промышленный минерал. В молибденовых рудах в качестве сопутствующих компонентов встречаются Cu , W , Bi , Fe , S , Sn , Be , Pb , Zn , Au , Ag (в виде изоморфной примеси в молибдените). Из нерудных минералов наиболее распространены кварц и полевошпат.

В рудах Коунрадского месторождения, перерабатываемых на Балхашской обогатительной фабрике, молибден представлен в основном молибденитом и частично повеллитом, медь-халькопиритом и халькозином. Содержание молибдена 0,005 %, меди 0,3 %, серы пиритной $\leq 2,6$ %. С пиритом и халькопиритом связаны селен и теллур, с молибденитом – рений. Вкрапленность полезных минералов неравномерная – от 0,01 до 1 мм. Это вызывает необходимость применения стадийных схем флотации, по которым при сравнительно грубом измельчении до 60 % класса – 0,074 мм получают коллективный концентрат и отвальные хвосты. Относительно полное отделение сульфидов меди и молибдена от минералов пустой породы происходит лишь при измельчении до 95 % класса – 0,074 мм.