Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
т. XXII, вып. 2, 1977 г.

# ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ МОНОКЛИННОГО ПИРРОТИНА В СПЛОШНЫХ СУЛЬФИДНЫХ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУДАХ РУДНИКА „ОКТЯБРЬСКИЙ"

Н.Н.СЛУЦКИЙ,
Н.В.ЛАРВИАЙНЕН,
В.П.СОКОЛОВ,
О.Д.ЛОПАТКО

Информация о распределении различных модификаций пирротина в рудах представляет практический интерес в связи с особенностями обогащения руд и металлургической переработки пирротиновых концентратов. Моноклинный пирротин является ферромагнитным минералом и поэтому в процессе обогащения руд может выделяться методом электромагнитной сепарации. Кроме того, имеются сведения [1, 3] о различных флотационных свойствах моноклинного и гексагонального пирротинов, что также необходимо учитывать при разработке технологии обогащения руд.

Извлечение из пирротиновых концентратов никеля, меди и других полезных компонентов осуществляется способом автоклавного окислительного выщелачивания. По убыванию скорости полного разложения [5] минералы, слагающие руды, образуют следующий ряд: троилит – гексагональный пирротин – моноклинный пирротин – пентландит мелкозернистый – пентландит крупнозернистый – кубанит – халькопирит (талнахит) – магнетит. Наибольшая эффективность этого процесса обеспечивается полным разложением пирротинов при минимальном растворении пентландита и сульфидов меди. По времени разложения моноклинный пирротин и пентландит близки между собой. Поэтому при полном растворении моноклинного пирротина значительная часть пентландита также разлагается и никель переходит в раствор, что приводит к усложнению процесса и увеличению потерь никеля. Кроме того, содержание никеля в моноклинном пирротине составляет 0,69%, что в 1,7 раза выше, чем в пирротине гексагональном [4, 8]. Это надо учитывать при оценке качества пирротиновых концентратов и в расчетах баланса никеля по минералам.

Таким образом, для выбора оптимальных режимов автоклавной переработки пирротиновых концентратов необходимо иметь четкое представление о количестве моноклинного пирротина в руде.

В пределах рудника развиты пирротиновые, кубанитовые, халькопиритовые и талнахитовые (мсихукитовые) сплошные руды. В кубанитовых рудах присутствуют гексагональный пирротин и троилит, а в халькопиритовых и талнахи-

товых рудах эти минералы встречаются в незначительном количестве (0-5%). Наиболее распространены пирротиновые руды, которые по структурно-текстурным особенностям отчетливо подразделяются на два природных типа: тип I - неравномернозернистые[x] (от мелко- до крупнозернистых) с мелкопятнистым распределением халькопирита; тип II - крупно- и гигантозернистые с петельчатым распределением халькопирита.

Руды обоих типов сложены гексагональным $Po_г$ и моноклинным $Po_м$ пирротином (в сумме 51%), пентландитом, халькопиритом, магнетитом и нерудными минералами (см. таблицу). В незначительном количестве в них встречаются макинавит и сфалерит. В рудах типа II кроме перечисленных минералов довольно часто присутствуют кубанит и троилит, реже - кильваит, ильменит, минералы группы платины. Типы руд различаются между собой также по количественному минеральному составу.

Так, по сравнению с рудами типа I в рудах типа II содержание пентландита почти в I,4, а халькопирита в I,5 раза выше; одновременно магнетита в них меньше в I,8 раза, а нерудных минералов - в 2,5 раза. Характерной особенностью руд типа II является сравнительно низкое содержание моноклинного пирротина $Po_м$ всего 6% от суммарного количества моноклинного и гексагонального пирротина, тогда как в рудах типа I моноклинного пирротина содержится 32%, т.е. в 5,3 раза больше.

Распределение минералов в объеме рудной залежи неравномерное. Даже в пределах одного типа руды наблюдаются значительные колебания концентраций всех минералов. Особенно это характерно для халькопирита, содержание которого, а соответственно и меди, в рудах типа I колеблется в пределах 0,6-I,5 условных единиц, а в рудах типа II - от I,I до I,8 условных единиц. Поэтому для оконтуривания участков с более стабильным минеральным составом в объеме каждого типа руды выделены пространственно обособленные рудные тела (см. таблицу и рис.I), различающиеся между собой по содержанию меди в I,4-I,5 раза и характеризующиеся общностью структурно-текстурных особенностей.

При расчете состава рудных тел установлено, что коэффициент вариации содержаний всех полезных компонентов в каждом из них не превышает I0-20% против 40-I00% по рудной залежи в целом.

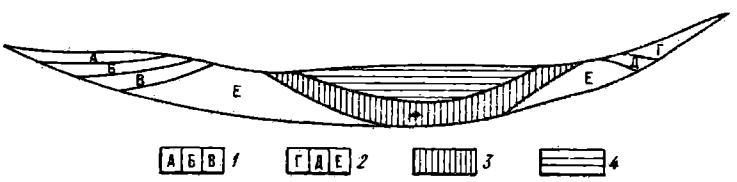



Рис.1. Схема расположения рудных тел пирротиновых руд в разрезе рудной залежи
1 и 2 - рудные тела соответственно типов I и II пирротиновых руд; 3 - кубанитовые руды; 4 - талнахитовые (моихукитовые) и халькопиритовые руды

Проведенная геометризация показала (см. рис.I), что рудные тела занимают строго определенное положение в объеме рудной залежи.

[x] Зернистость руд определяется по крупности зерен самого распространенного минерала - пирротина.

минера природны

руды ел в пентландит-ха бкопирит-пирротиновых рудах

| Природные типы и рудные тела | Содержание элементов, усл. ед. | | Содержание минералов | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | никель | медь | Пентландит[x] | | | Кубанит, усл. | Халькопирит, усл. ед. | Троилит, усл. ед. | Пирротин | | | Магнетит, усл. ед. | Нерудные минералы, усл. ед. |
| | | | всего, усл. ед. | доля, % | | | | | всего, усл. ед. | доля, % | | | |
| | | | | крупнозернистый | мелкозернистый | | | | | моноклинный | гексагональный | | |
| Тип I (А + Б + В) | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 15 | 85 | 0 | 1,0 | 0 | 1,0 | 32 | 68 | 1,0 | 1,0 |
| А | 0,92 | 0,64 | 0,89 | 4 | 96 | 0 | 0,64 | 0 | 1,04 | 58 | 42 | 0,78 | 1,38 |
| Б | ,01 | 1,01 | 1,01 | 12 | 88 | 0 | 1,01 | 0 | 1,00 | 28 | 72 | 1,06 | 0,94 |
| В | 1,06 | 1,52 | | 46 | 54 | 0 | 1,51 | 0 | 0,92 | 3 | 97 | 1,13 | 0,70 |
| Тип II (Г + Д + Е) | 1,20 | 1,56 | 1,39 | 50 | 50 | 0,02 | 1,48 | 0,05 | 0,99 | 6 | 94 | 0,56 | 0,39 |
| Г | 1,19 | 1,14 | 1,33 | 22 | 78 | 0 | 1,14 | 0 | 1,19 | 21 | 79 | 0,51 | 0,52 |
| Д | ,16 | 1,41 | ,32 | 40 | 60 | 0,01 | 1,35 | 0 | 1,12 | 7 | 93 | 0,73 | 0,35 |
| Е | 1,25 | ,99 | 1,51 | 78 | 22 | 0,03 | 1,84 | 0,15 | 0,72 | 0 | 100 | 0,40 | 0,37 |

[x] Крупнозернистый пентландит представлен изометричными зернами и агрегатами размером >0,1 мм; ндит мел озернистый (<0,1 мм) слагает каемки между зернами пирротина и пламеневидные вростки в нем.

Рудные тела А (тип I) и Г (тип II), расположенные на флангах и в висячем боку залежи, характеризуются минимальным (в пределах типа руды) содержанием меди. От этих рудных тел в направлении к лежачему боку и центру залежи возрастает концентрация меди, увеличиваются доля крупнозернистого пентландита и содержание никеля в руде, а также уменьшается количество нерудных минералов.

При анализе особенностей распределения моноклинного пирротина установлены довольно тесные взаимосвязи его содержания с другими качественными параметрами руд. В рудах типа I максимальное количество моноклинного пирротина наблюдается в рудном теле А, для которого характерно минимальное содержание халькопирита, крупнозернистого пентландита и максимальное количество нерудных минералов.

В направлении рудного тела В доля $Po_м$ при одном и том же суммарном количестве пирротина резко убывает одновременно с увеличением содержания меди, крупнозернистого пентландита и уменьшением количества нерудных минералов (см. таблицу). В рудах типа II моноклинный пирротин встречен только в рудных телах Г и Д, отличающихся от тела Е более низким содержанием меди и крупнозернистого пентландита, а также максимальным количеством нерудных минералов. В рудах с содержанием меди более 7% и значительным количеством крупнозернистого пентландита моноклинный пирротин не встречен, а вместо него в срастаниях с гексагональным пирротином появляется троилит. Таким образом, распределение различных концентраций моноклинного пирротина в руде обусловлено не только пространственным положением в рудной залежи, как это указывалось ранее [7], и прямой взаимосвязью с содержанием мелкозернистого пентландита [6], но находится также в обратной зависимости с количеством халькопирита (меди) в руде.

Содержание моноклинного пирротина в рудах определяют двумя способами. Способ магнитной порошкографии [2] является по существу полуколичественным и недостаточно оперативным. Дифрактометрический способ, вероятно, более точен. При анализе сходимости определения количества $Po_м$ разными способами [3] установлено, что случайная погрешность находится в пределах $\pm 20\%$ (относительных). Однако оба способа являются недостаточно представительными из-за малого объема исследуемого материала при значительных колебаниях содержаний моноклинного пирротина в единице объема руды, что приводит к необходимости исследования большего числа проб или полированных шлифов.

На основе отмеченных взаимосвязей между компонентами руд представилось целесообразным определить возможности оперативного прогнозирования содержания моноклинного пирротина по другим параметрам руды. Прогнозирование его в зависимости от крупности пентландита и количества нерудных минералов является недостаточно оперативным, так как требует больших затрат времени на количественный учет этих характеристик руды в полированных шлифах. Установлено также, что зависимости между содержанием в рудах моноклинного пирротина и меди не линейные, а более сложные. С другой стороны, содержание моноклинного пирротина зависит от количественного соотношения никеля и меди (см. таблицу). Поэтому наибольший интерес представляет зависимость между содержанием $Po_м$ и содержанием меди и никеля в руде. Эта зависимость аппроксимировалась уравнением вида

$$C_п = a_0 + a_1C_1 + a_2C_2 + a_3C_1^2 + a_4C_1C_2 + a_5C_2^2$$

где $C_п$ – прогнозное содержание моноклинного пирротина; $C_1$ и $C_2$ – известные содержания в руде соответственно никеля и меди; $a_0, a_1, \ldots, a_5$ – коэффициенты полинома, рассчитываемые на ЭВМ из условия минимума суммы квадратов отклонений расчетных содержаний от фактических.

Исходными данными для расчета коэффициентов уравнения явилось содержание меди и никеля в 200 рядовых пробах, отобранных и проанализированных Норильской комплексной геологоразведочной экспедицией в процессе разведки месторождения.

Количество моноклинного пирротина определялось методом магнитной порошкографии в 350 аншлифах, представляющих материал использованных рядовых проб. Расчеты выполнялись на ЭВМ «Проминь-2".

Особенностями работы на этой машине была вызвана необходимость сгруппировать в 26 классов пробы по содержанию меди $C_2$ и никеля $C_1$ и соответствующему содержанию моноклинного пирротина, определенного в аншлифах. В каждый класс вошли данные с наиболее близкими значениями содержания прогнозируемых элементов. Для каждого класса определено среднее содержание исследуемых компонентов, которое и послужило исходным для расчета постоянных коэффициентов полинома.

В результате выполненных расчетов получено уравнение зависимости содержания моноклинного пирротина от $C_2$ и $C_1/C_2$ в руде и построена номограмма (рис.2). Пользуясь ею, для руд с известным содержанием никеля $C_1$ и меди $C_2$ можно оперативно определить долю моноклинного пирротина (в процентах) от общего количества моноклинного $Po_м$ и гексагонального $Po_г$ пирротина в руде. Коэффициент корреляции между расчетным и фактическим содержанием искомого компонента оказался равным 0,98, что свидетельствует о высокой надежности прогноза.

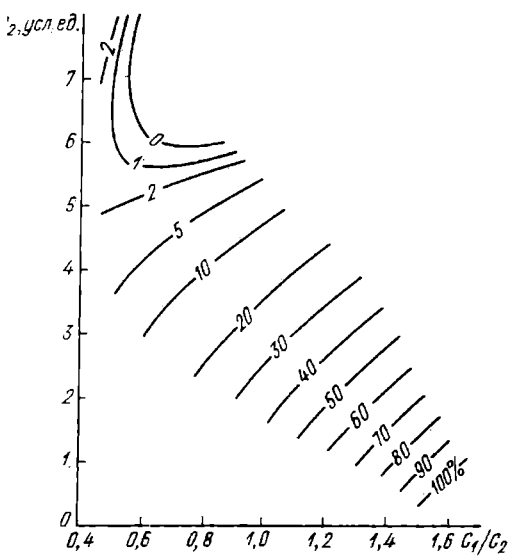



Рис.2. Номограмма для определения доли моноклинного пирротина

Оценка среднеквадратических абсолютных расхождений между расчетными и фактическими величинами выполнена по формуле

$$\delta_C = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{1}^{n}(C_{пi} - C_{фi})^2}$$

где $n$ 26 – число сопоставляемых пар расчетных и фактических величин (равное числу классов, на которые разделялись исходные данные); $C_{пi}$ и $C_{фi}$ – прогнозное и фактическое содержание компонента в руде.

Относительная погрешность прогноза, определенная как отношение среднеквадратической абсолютной погрешности к среднему содержанию моно-

клинного пирротина в руде, составила 20%, что находится на уровне случайных погрешностей определения содержания $Po_м$ традиционными способами.

Предлагаемый способ прогнозирования содержания $Po_м$ на основе природных взаимосвязей является достаточно простым и оперативным, так как при его использовании необходимо знать только содержание меди и никеля в руде, т.е. те параметры, которые получают в процессе всех стадий разведки и подготовки запасов к выемке.

Рассчитанное среднее содержание меди и никеля по годам отработки (в соответствии с горным календарем) в рудных телах, типах руд и в целом по промышленному сорту, объединяющему пентландит-халькопирит-пирротиновые руды типов I и II, позволило с помощью номограммы (см. рис.2) определить количество моноклинного пирротина в добываемой руде (рис.3). Анализ полученных результатов показывает, что содержание моноклинного пирротина во всех рудных телах шахты 2 более стабильно по сравнению с шахтой I, что определяется меньшими колебаниями содержания меди и никеля. В целом по рассматриваемым рудам содержание $Po_м$ в шахте 2 примерно на 10% выше, чем в шахте I. При этом в рудах обеих шахт наиболее высокое содержание приходится на добычу 1978–1985 гг.

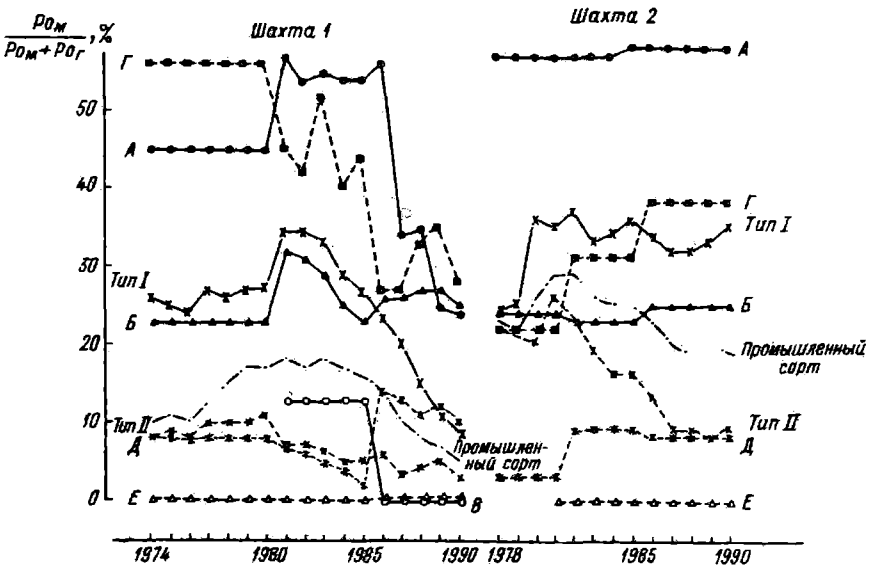



Рис.3. Распределение моноклинного пирротина в типах руд и рудных телах по годам отработки в поле рудника „Октябрьский"

## Выводы

I. Моноклинный пирротин концентрируется в рудах с наиболее низким содержанием меди и большим значением отношения содержания никеля к содержанию меди.

2. Такие руды слагают преимущественно фланговые части рудной залежи.

3. Выявленные взаимосвязи являются достаточно надежными и могут быть использованы для оперативного прогнозирования количества моноклинного

пирротина в руде рудника „Октябрьский" на любых стадиях разведочных и эксплуатационных работ. Эти взаимосвязи остаются в силе для пирротиновых руд и других рудников данного рудного узла, но коэффициенты полиномов для каждого конкретного объекта могут несколько различаться, что обусловлено разным уровнем содержания меди, никеля и моноклинного пирротина.

4. Оперативное планирование содержания моноклинного пирротина в товарной руде создает благоприятные предпосылки для подбора оптимальных режимов переработки пирротинового концентрата в процессе автоклавного окислительного выщелачивания.

Литература


Генкин А.Д., Логинова В.П., Органова Н.И. О взаимоотношениях и особенностях размещения гексагональных и моноклинных пирротинов в рудах. – „Геология рудн. м-ний", № 3.

Грабовский М.А., Жерденко О.Н., Сковородина Ю.П. О возможности применения магнитных порошков при исследовании пирротиновых руд. – Изв. АН СССР. Серия гео-

3. ение распространения и пространственного размещения различных модификаций пирротина в богатых рудах Талнахского и Октябрьского месторождений. Тр. ин-та „Гипроникель", 47-48. Л. 1970. Авт.: Н.Н.Шишкин, В.А.Михайлова, Г.А.Митенков, А.М.Карпенков, .Будько.

Кар енков А.М. Минералогия и генезис сплошных сульфидных медно-никелевых руд Октяб ого месторождения (Норильский район). – Автореф. канд. дисс. Изд-во ЛГУ, 1974.

О арактере окисления сульфидов никеля, меди и железа в процессе автоклавного окисного выщелачивания. – В кн.: Комплексное использование минерального сырья (Тезисы д-дов научн.-техн. конф.). ЛГИ, 1973. Авт.: Я.М.Шнеерсон, Г.А.Митенков, В.В.Ивановский, М.Фрумина, Н.Н.Шишкин, А.Ф.Сидоров.

Пентландит из сплошных пирротиновых руд Талнахского и Октябрьского месторождений район). – Зап. ВМО, 1974, ч. 103, вып. 2. Авт.: Г.А.Митенков, А.М.Карпен- Н.Н.Шишкин, В.А.Михайлова, Н.С.Рудашевский, А.Ф.Сидоров.

Пирротины сплошных руд Талнахского и Октябрьского месторождений. В кн.: Геология аные ископаемые Норильского района (Мат. II Норильской геолог. конф.). Норильск, Авт.: В.А.Михайлова, Н.Н.Шишкин, Г.А.Митенков, Н.С.Рудашевский, А.М.Карпенков.

8. Пирроти сплошны руд Талнахского и Октябрьского месторождений (Норильский рудный „Геология рудн. м-ний", 1972, № 2. Авт.: Н.Н.Шишкин, Г.А.Митенков, В.А.Михайлова, ашевский, И.А.Будько, Н.Г.Соколова.