

рехода одного типа руд в другой в полигенных рудных телах совпадает с постепенными направленными изменениями типоморфных минералофизических показателей пирита, которые закономерно изменяются в разрезах полигенных, комбинированных колчеданных залежей и характеризует скрытую зональность рудных тел, определяемую изменением генетического типа, состава и степени метаморфизма.

Изучение минералофизических и анатомических свойств пирита дает возможность уже на поисковом этапе разбраковывать многочисленные колчеданопроявления (зоны пиритизации) на промышленно перспективные гидротермально-осадочные и малоперспективные гидротермально-метасоматические объекты, а при необходимости определять уровень эрозионного среза колчеданной залежи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колчеданные месторождения Большого Кавказа. М.: Недра, 1973. 225 с.
2. *Богущ И.А., Старостин В.И.* Руднофизическая зональность полигенных колчеданных залежей Северного Кавказа. Геология рудных месторождений. – 1982. – №1. – С.93-98.
3. *Богущ И.А.* Генетические типы и онтогенез дисульфидов железа колчеданной формации Северного Кавказа. Л.: Наука, 1985. – С. 67-72.
4. *Галопен Р., Генри Н.* Исследование непрозрачных минералов под микроскопом. М.: Мир, 1975. – С.153-159.
5. *Богущ И.А.* Минералогенетическая информативность термоэлектрических свойств пиритов колчеданных руд Северного Кавказа.-Докл.АН СССР, 1979, т.245, №2.
6. *Богущ И.А.* Типоморфизм термоэлектрических показателей пиритов колчеданных месторождений // Обогащение руд. СПб. № 5, 2002. – С. 19-22.
7. *Ракчеев А.Д.* Новые физико-химические методы изучения минералов, горных пород и руд.-М.:Недра,1989.-230 с.
8. *Богущ И.А.* Микротвердость пиритов как поисково-оценочный критерий медно-колчеданных рудопроявлений Уруп-Лабинского района (Сев.Кавказ). Докл. АН СССР. 1976. Т. 229, №2. С.425 – 427.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЯ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОБОГАЩЕНИЯ БОГАТЫХ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУД

Хашковская Т.Н., Лялинов Д.В.

ОАО «Институт Гипроникель», С-Петербург; e-mail tnhas@nikel.spb.ru dvlal@nikel.spb.ru

Одной из важнейших целей минералого-технологических исследований руд является решение вопроса о гранулометрическом составе главных рудных минералов и о необходимой степени измельчения сырья, при которой происходит их наиболее эффективное раскрытие. Эта задача может быть решена с помощью специализированных исследований с применением метода анализа микроскопических изображений измельченной руды.

На базе этих же исследований решается вторая важная проблема — прогнозирование теоретических минералогически лимитированных показателей извлечения металлов в процессе обогащения руд по исследуемой схеме и оценивается эффективность выбранной технологической схемы.

Комплекс указанных исследований разработан в ОАО «Институт Гипроникель» на базе отечественной программы ИСТА Видео Тест и системы управления базами данных Microsoft Access 2000.

Разработанная методика демонстрируется на примере богатой сульфидной медно-никелевой руды Талнахского рудного узла ЗФ ОАО «ГМК «Норильский никель». Основная задача обогащения данной руды сводится к максимальному выведению пирротина из металлургической переработки и селективному получению медного и никелевого концентратов с максимальным содержанием целевых металлов и высоким извлечением в концентрат.

Результаты минералогического моделирования, как и в зарубежных методиках минералогического анализа, таких как MLA и QEMScan, так и в предложенной ОАО «Институт Гипроникель», представляются в виде графиков, с которых снимаются искомые технологические показатели.

Следует иметь в виду, что получаемые показатели технологического процесса являются теоретическими, которые могут быть максимально достигнуты при обогащении изучаемого сырья.

Так, анализ раскрытия рудных минералов выполняется на кумулятивных кривых с осями: x — виды сростков относительно главного минерала процесса, y — классы крупности, на которые рассеян продукт, z — накопленная доля главного минерала процесса.

Класс крупности с наиболее эффективным раскрытием главных рудных минералов демонстрируется на кривых с осями: x — класс крупности, y — доля раскрытого минерала.

Анализ зависимости содержания/извлечения проводится на кривых с осями: x — содержание металла в продукте, y — извлечение металла в концентрат.

Все исследования проводятся на измельченном до заданной крупности материале, который подвергается классификации по крупности с использованием стандартных сит, для крупных классов, и гидравлического классификатора тонких частиц Warman Cyclosizer для классов тоньше 71 мкм. Из выделенных классов отбираются навески для приготовления препаратов для минералогических исследований и для химического анализа на никель, медь и серу.

Исходными данными для построения названных кривых являются результаты обработки замеров площади каждого зерна, которые снимаются на базе оптического микроскопа с изображений измельченной руды (рисунок 1) с помощью программы Видео Тест. В каждом зерне, кроме площади, фиксируется доля каждого минерала в процентном отношении.

Система УБД Microsoft Access позволяет накапливать информацию о минеральном составе каждого отдельного зерна. Привлечение данных о химическом составе минералов и их плотности позволяют получать различные сведения об исследуемом материале, а также контролировать представительность учтенной выборки путем сопоставления содержаний компонентов, полученных в ходе минералогического анализа с данными химического анализа.

Для минералогического моделирования показателей выведения пирротина в хвосты принят шаг разделения сростков 25% масс. В результате все зерна разделены на следующие группы: свободный пирротин (100%), сростки, богатые пирротином (75–100%), сростки с количеством пирротина 50–75%, сростки с количеством пирротина 25–50%, сростки с малым количеством пирротина 0–25% и зерна без пирротина. Шаг разделения минералов по сросткам может быть изменен в зависимости от индивидуальных особенностей конкретной руды.

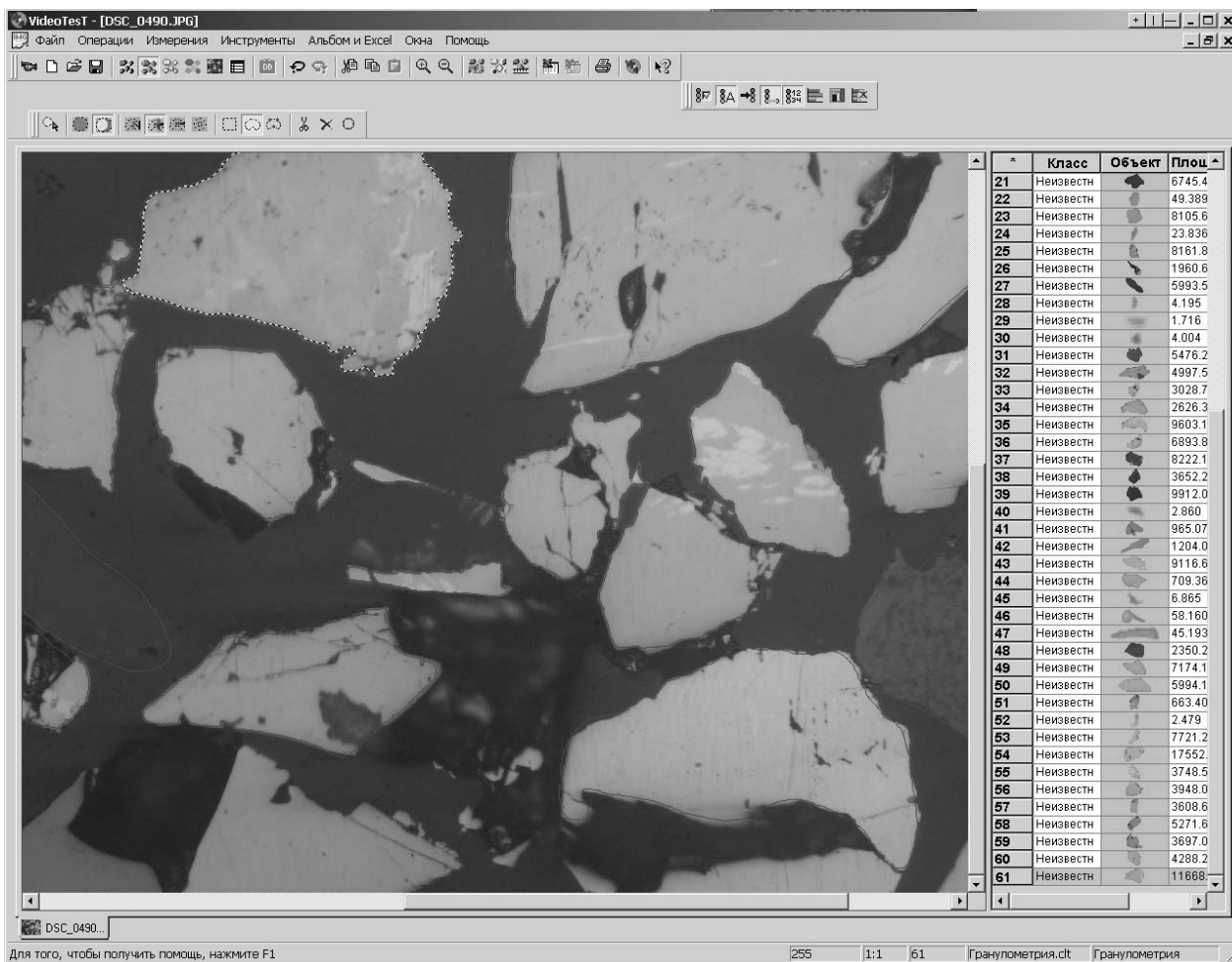


Рис. 1. Изображение измельченной руды (программа Видео Тест)

Для моделирования показателей медного концентрата принят шаг разделения сростков 25% масс. халькопирита, аналогично, для моделирования показателей никелевого концентрата принят шаг разделения сростков 25% масс. пентландита. В результате все зерна разделены на такие же группы сростков, как и для пирротина.

В результате обработки проведенных замеров получены:

1) Для моделирования показателей выведения пирротина в хвосты:

— минеральный состав групп зерен (% масс.), разделенных по доле в них пирротина по каждой фракции крупности и в целом по пробе;

— распределение каждого минерала (% масс.) по зернам, разделенным по доле в них пирротина по каждой фракции крупности и в целом по пробе;

2) Для моделирования медного концентрата:

— минеральный состав групп зерен (% масс.), разделенных по доле в них халькопирита по каждой фракции крупности и в целом по пробе;

— распределение каждого минерала (% масс.) по зернам, разделенным по доле в них пирротина по каждой фракции крупности и в целом по пробе;

3) Для моделирования никелевого концентрата:

— минеральный состав групп зерен (% масс.), разделенных по доле в них пентландита по каждой фракции крупности и в целом по пробе;

— распределение каждого минерала (% масс.) по зернам, разделенным по доле в них пентландита по каждой фракции крупности и в целом по пробе.

1. Минеральный состав руды по данным минералогического моделирования

Для пробы ТС-2005 по результатам моделирования получены данные полного минерального состава (таблица 1) по фракциям отсева и в итоге — с учетом выхода каждой фракции — по пробе в целом.

Таблица 1

Минеральный состав пробы по видам сростков (% масс.)

Класс крупности	Минерал	Доля минерала в зерне				Свободные зерна	Сростки	Проба
		До 25	25–50	50–75	75–100			
Проба	Халькопирит	0.28	0.67	1.87	1.91	4.73	5.29	10.02
	Пентландит	1.47	1.39	1.92	2.71	7.49	3.36	10.85
	Пирротин	0.78	1.62	3.03	15.23	20.66	38.02	58.68
	Пирит						0.06	0.06
	Кубанит	0.10		0.04	0.08	0.22	0.13	0.35
	Валлериит	0.03				0.01	0.04	0.04
	Магнетит	3	0.10	0.04	0.11	0.26	3.46	3.72
	Нерудные	0.03	0.06	0.24	0.66	0.99	15.29	16.28
	Всего	2.69	3.84	7.14	20.71	34.39	65.61	100.00

Содержание в пробе халькопирита составляет ~10% масс., пентландита ~11% масс., а пирротина ~ 59% масс. Важно отметить, что кубанит (второй минерал-носитель меди) присутствует в незначительном количестве, как и валлериит.

Из таблицы следует, что при общем содержании пирротина в пробе на уровне 59%, свободный пирротин составляет 38%. Кроме того, богатые им сростки составляют более 15%.

Такое подразделение позволяет не только качественно, но и количественно оценить степень раскрытия главных рудных минералов.

2. Раскрытие главных рудных минералов

На рисунке 2 показана степень раскрытия пирротина при помоле руды до 80% масс. класса 71 мкм. Во всех классах крупности, включая самые верхние, пирротин, главным образом, представлен свободными зернами и богатыми сростками, причем доля собственно свободных зерен растет с утонением материала.

Открытый халькопирит (рисунок 2) и его богатые сростки преобладают только в классах тоньше 33 мкм. Линия, характеризующая пробу в целом, показывает, что достижение высокого извлечения меди возможно, однако приведет к разубоживанию концентрата.

Пентландит (рис.3) повсеместно, за исключением, пожалуй, только самого тонкого класса закрыт и находится, главным образом, в виде бедных сростков.

Данные по раскрытию главных рудных минералов используются для определения эффективной крупности измельчения. Класс крупности с максимальным раскрытием определяется по крутизне кривой. Наиболее предпочтительным классом раскрытия является класс, когда кривая наклонена под углом ~45° что в геометрии соответствует равнобедренному прямоугольному треугольнику.

Раскрытие пирротина наблюдается уже в грубых фракциях от -100 мкм и происходит постепенно до крупности +24 мкм (77%) (рис. 5). В более тонких фракциях дальнейшего высвобождения пирротина не происходит или происходит мало, что также указывает на крупность возможного доизмельчения питания.

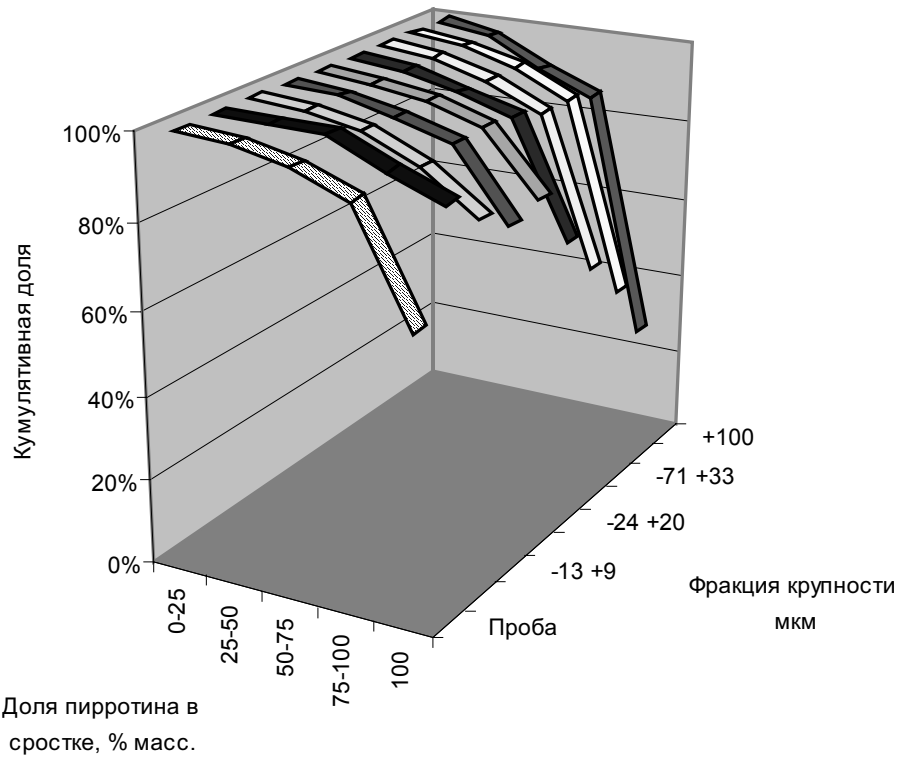


Рис.2. Кумулятивное раскрытие пирротина в разных классах крупности

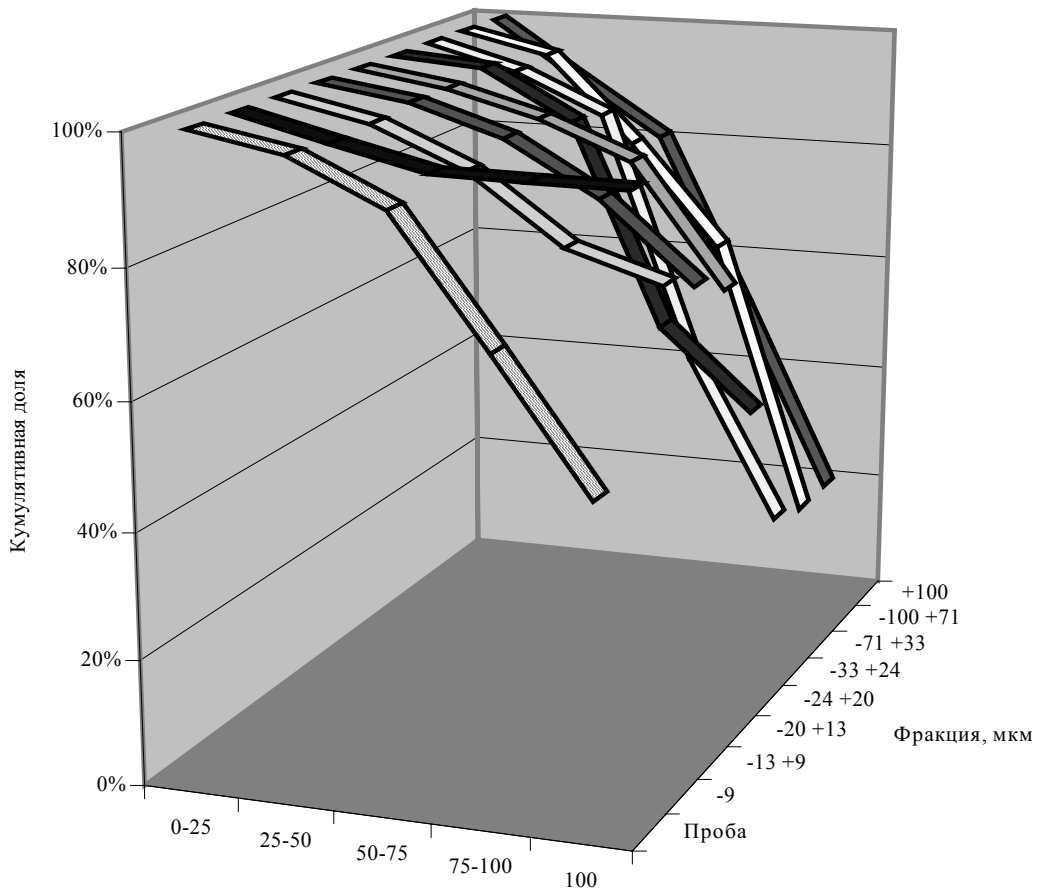


Рис.3. Кумулятивное раскрытие халькопирита в разных классах крупности

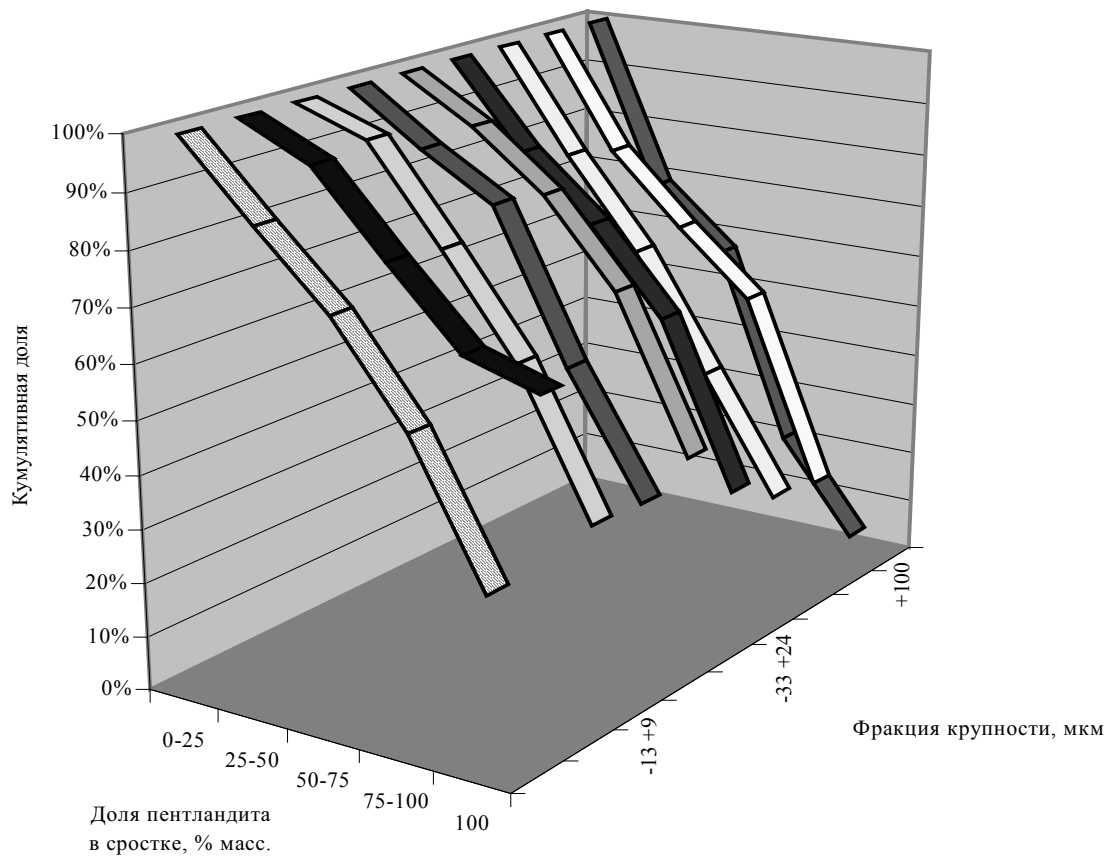


Рис.4. Кумулятивное раскрытие пентландита в разных классах крупности

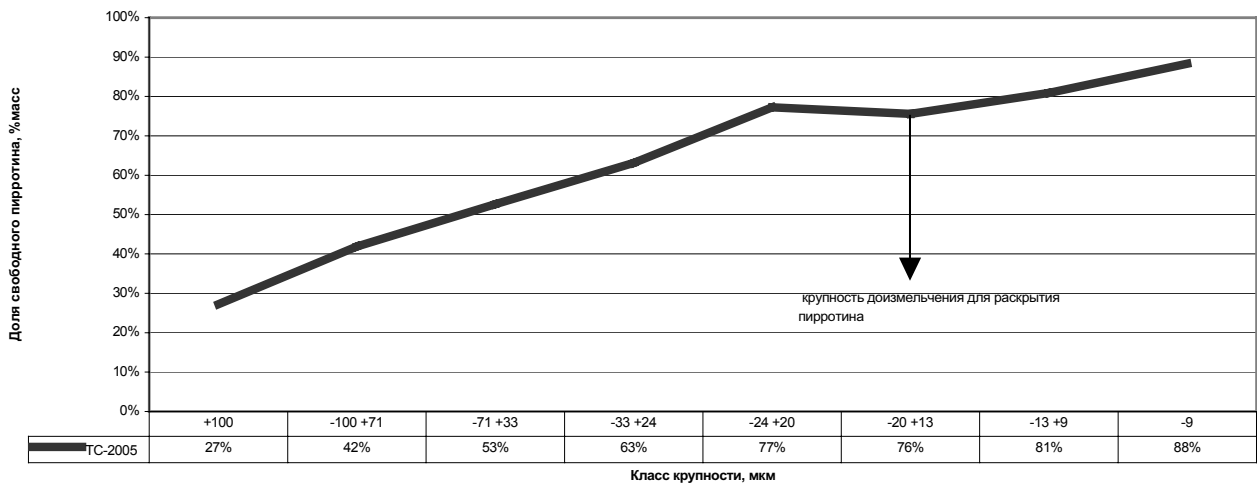


Рис. 5. Раскрытие пирротина по классам крупности

Эффективное раскрытие халькопирита (рис.6) начинается в классе крупности $-71+33$ мкм (22%) до $-24+20$ мкм (68%). Возможно дораскрытие халькопирита в классе $-13+9$ мкм, что позволит высвободить еще около 15% халькопирита.

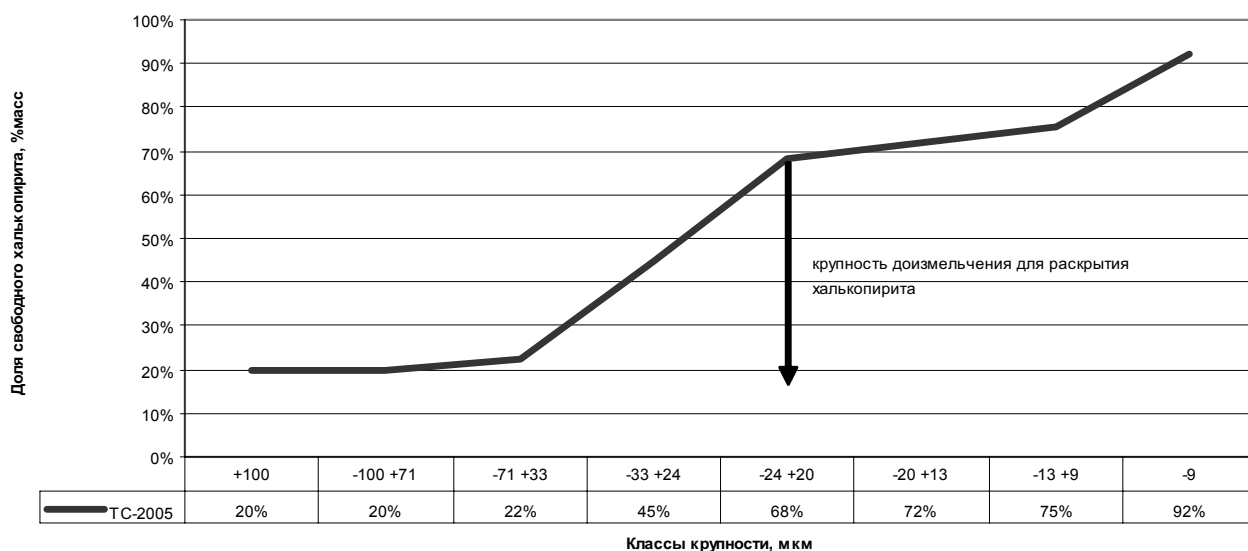


Рис. 6. Раскрытие халькопирита по классам крупности

Отмеченная динамика раскрытия халькопирита указывает на его гранулометрическую неоднородность.

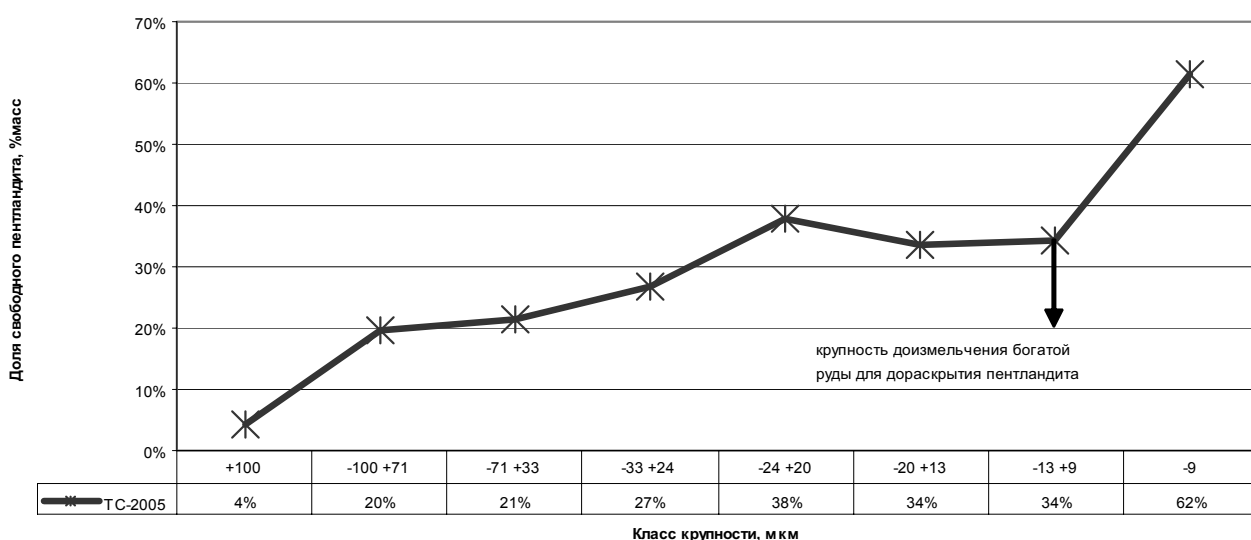


Рис. 7. Раскрытие пентландита по классам крупности

Раскрытие пентландита богатой руды происходит в классе крупности постепенно от крупного класса -100+71% масс., когда раскрывается около 20% масс. пентландита до класса -24+20 мкм с долей раскрытого пентландита всего 38% масс. Эти показатели относятся к зернистому пентландиту, доля которого в руде невелика. В более тонких классах наблюдается высвобождение пламеневидного пентландита. Оно начинается в тонкой фракции -13+9 мкм, максимальное раскрытие пентландита наблюдается в шламах (-9 мкм).

Таким образом, наиболее эффективно в исследуемой руде происходит раскрытие халькопирита, затем пирротина и труднее всего пентландита.

Это свидетельствует о том, что значительное количество пентландита остается в сростках, прежде всего, с пирротинном. Поэтому недораскрытие пирротина приведет к значительным потерям пентландита. Наиболее эффективное раскрытие пирротина и связанного с ним пентландита происходит в классах -24+13 мкм. В связи с этим в технологическом цикле можно рекомендовать доизмельчение до крупности, которая обеспечит преобладание частиц размером около 13–24 мкм.

3. Параметры выведения пирротина их металлургической переработки

Для выведения из процесса обогащения пирротина в виде свободных зерен и богатых сростков с долей пирротина 75–100% масс. достаточно грубого измельчения до крупности -71 мкм.

Если предположить, что пирротинный продукт будет состоять из зерен свободного пирротина и его богатых сростков с долей пирротина 75–100% масс., то из исследуемой руды может быть выведено ~91% масс. пирротина от всего пирротина пробы, что составит 38% масс. от питания. Однако с ним будет потеряно ~11% масс. пентландита и ~2% масс. халькопирита. Потери никеля при этом составят 16% масс. (рис. 8, 9).

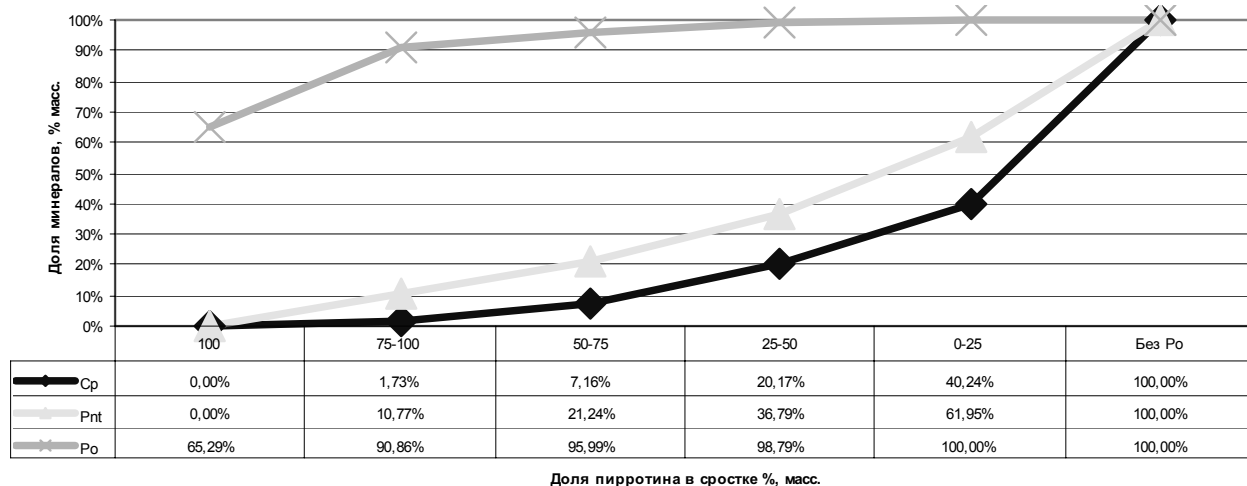


Рис.8. Кумулятивное распределение минералов по сросткам с разной долей пирротина

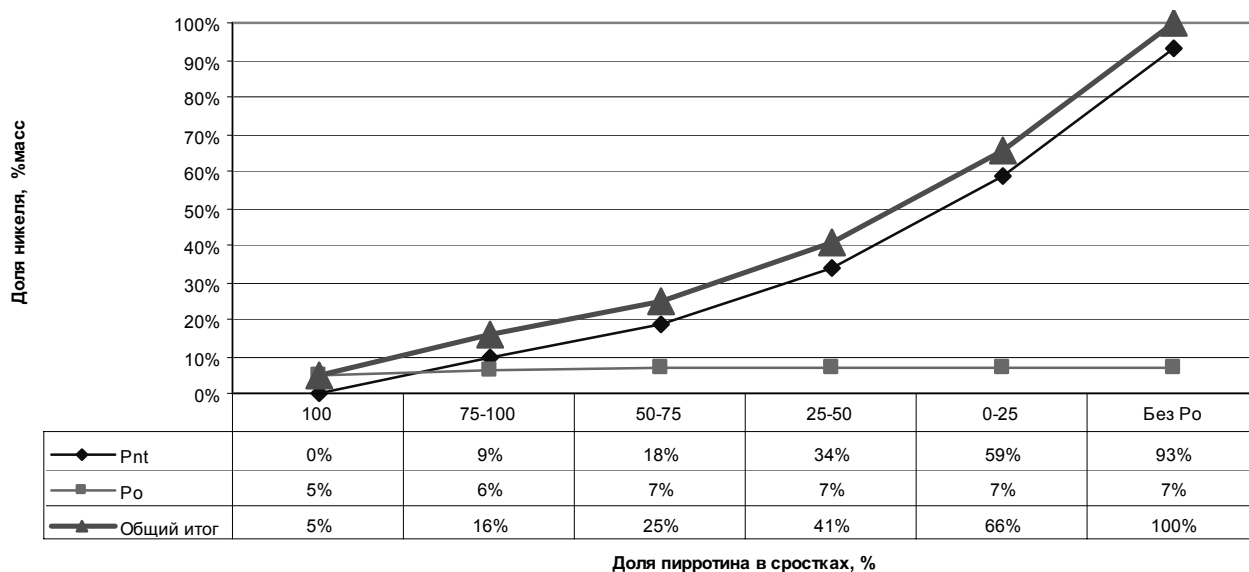


Рис. 9. Кумулятивное распределение никеля в руде по сросткам с разной долей пирротина

4. Прогнозные минералогически лимитированные кривые извлечения и содержания никеля и меди в селективных концентратах

Моделирование технологических показателей выполнено для селективной схемы обогащения с последовательным получением медного, затем никелевого концентрата [1].

4.1. Моделирование медного концентрата

Медный концентрат (рисунок 10) с минимальным разубоживанием, когда в концентрат распределяются свободные зерна халькопирита и его богатые сростки с долей 75–100% масс., имеет содержание Cu 26.7% при извлечении 84%.

Однако если задать содержание меди в медном концентрате 30%, то в данной пробе извлечение составит 70% и разубоживание концентрата снизится.

Частные кривые по отдельным классам крупности показывают, что при несколько более тонком измельчении возможно улучшение показателей медного концентрата.

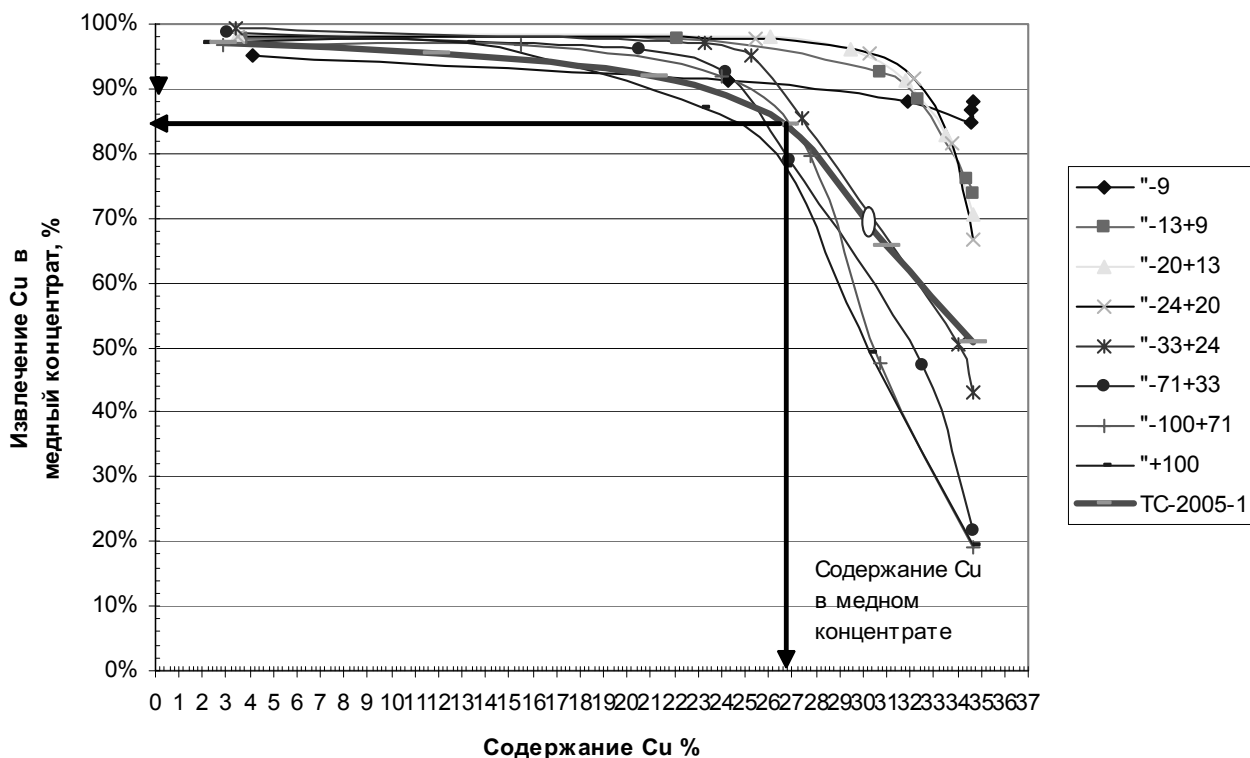


Рис.10. Извлечение меди в медный концентрат по фракциям крупности

4.2. Моделирование никелевого концентрата

Никелевый концентрат (рисунок 11) с минимальным разубоживанием, когда в концентрат распределяются свободные зерна пентландита и его богатые сростки с долей 75–100% пентландита, имеет содержание 28.7% при извлечении 59%. Технологически по результатам изучения раскрытия пентландита такой концентрат практически не достижим.

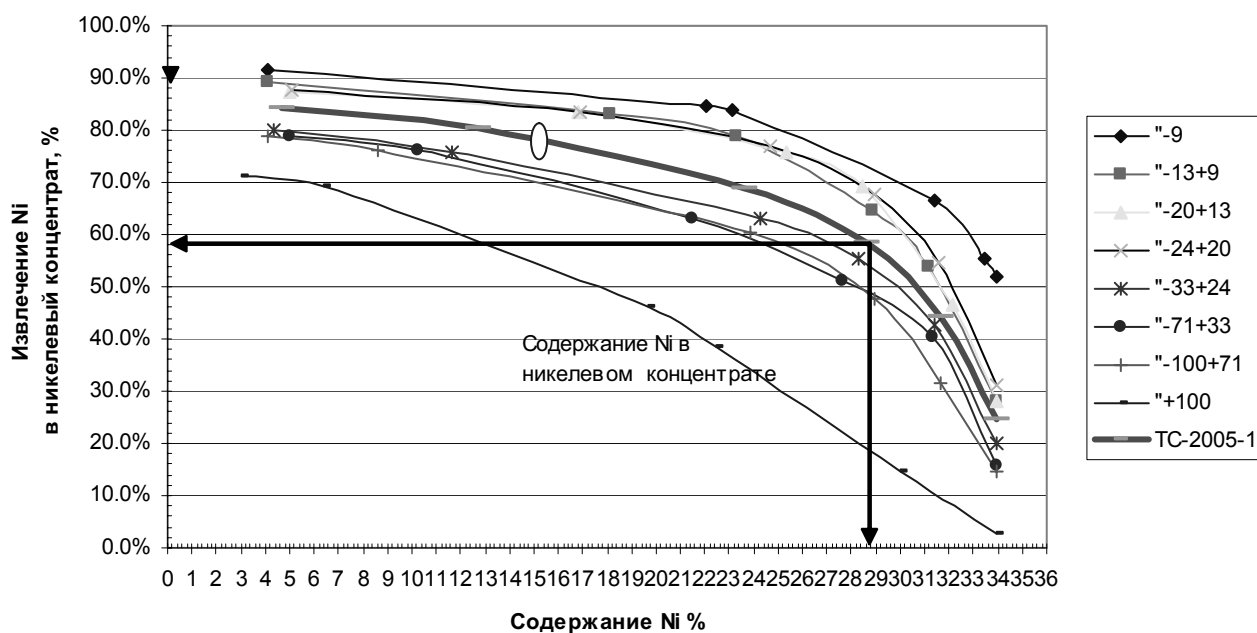


Рис.11. Извлечение никеля в никелевый концентрат по фракциям крупности

Однако если задаться содержанием никеля в концентрате 15%, то теоретически возможно получить извлечение в концентрат на уровне 88%. В таком концентрате имеет место существенное разубоживание, поскольку он будет включать в себя зерна с долей пентландита от 0 до 25% масс. и 25–50% масс.

Расчетные результаты показывают, что повышение содержания никеля в концентрате приводит к резкому снижению извлечения и неэффективно. Доизмельчение до тонких классов -24+20мкм может повысить извлечение в концентрат на 10–12%.

Выводы

Методика минералогического моделирования может быть применена для оценки технологических свойств руд различного состава.

Минералогическому моделированию предшествует скрупулезная работа по изучению вещественного состава руды в аншлифах и изучения химического состава минералов методом микрорентгеноспектрального анализа. Последнее необходимо для контроля минералогического анализа посредством сравнения данных химического состава сырья, рассчитанных теоретически и полученных непосредственно из химической лаборатории.

Изучение раскрытия главных рудных минералов позволяет по теоретическим данным обоснованно подойти к выбору рациональной крупности первичного измельчения руды.

Представленная методика позволяет рассчитывать идеальные минералогически лимитированные показатели обогащения руд. Безусловно, результаты практических испытаний по конкретным схемам будут ниже, чем теоретические показатели. Однако, если практическая кривая содержания/извлечения находится ниже теоретической кривой, но в целом повторяет ее, выбранную схему обогащения и ее параметры следует считать оптимальной. В том случае, если теоретическая и практическая кривые окажутся разнонаправленными, следует откорректировать либо саму схему обогащения, либо параметры схемы (реагентный режим, введение дополнительных перечисток и т. д.) [2,3].

В настоящее время имеется опыт применения данной методики для медно-никелевых руд по усовершенствованию схемы переработки и комплексных медно-железных руд, для которых разрабатывается новая схема обогащения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Максимов В.И., Козырев С.М., Лялинов Д.В. Выполнение минералого-технологического анализа продуктов, отобранных при Генеральном опробовании ТОФ, с целью разработки рекомендаций по повышению качества концентратов и снижению потерь металлов. /Отчет НИР ОАО «Институт Гипроникель», СПб, 2003, 207с
2. Ламберг П., Лишо Ю. Использование анализа изображения при моделировании флотации сульфидных медно-никелевых руд / Обогащение руд — Цветные металлы, № 6, 2001 г., сс. 44–47.
3. Сотка П., Ламберг П. Прикладная минералогия в обогащении полезных ископаемых / Обогащение руд — Цветные металлы, № 6, 2001 г., сс. 33–36.

ИЗУЧЕНИЕ ТИПОМОРФНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫХ МИНЕРАЛОВ ПРИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ РУД НА СТАДИИ ПОИСКОВО-ОЦЕНОЧНЫХ РАБОТ

Бубнова Т.П., Скамницкая Л.С., Щипцов В.В.

ИГ Кар.НЦ РАН, г.Петрозаводск, bubnova@krc.karelia.ru

При рассмотрении геологического объекта (месторождения) на стадии поисково-оценочных работ основное внимание уделяется всестороннему изучению его геологических характеристик и минералогических особенностей с построением геолого-технологической модели, чтобы получить необходимые исходные данные для составления технико-экономического обоснования на проведение последующей стадии работ. Технологическая минералогия играет в этом процессе ведущую роль, давая ответ на практический вопрос о типоморфных особенностях минералов (целая гамма необходимых параметров химических, физических и механических свойств в зависимости от поставленных задач, что позволяет сделать выбор наиболее оптимальной схемы обогащения минерального сырья.

Технологическая минералогия имеет дело с выражением вышеупомянутых свойств в количественном выражении. Таким образом, после всестороннего анализа объекта появляется возможность оценить его перспективы на стадиях, предшествующих геологоразведочным работам.

В своей обобщающей работе В.М.Изоитко обобщила факторы, непосредственно влияющие на технологический процесс [1]: