

П.П. ЯСКОВСКИЙ

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РУД
ПРИ
ОЦЕНКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**



Москва - 2001

Министерство образования Российской Федерации
Московская государственная геологоразведочная академия
имени С.Орджоникидзе

П.П. ЯСКОВСКИЙ

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РУД
ПРИ
ОЦЕНКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

Избранная лекция для студентов геологов и экономистов по курсу

"Разведка и геолого-экономическая оценка месторождений

полезных ископаемых"

Москва - 2001

Павел Павлович Ясковский

Технологические свойства руд при оценке месторождений.

Избранная лекция по курсу "Разведка и геолого-

Экономическая оценка месторождений полезных

ископаемых". М., МГГА, 2001. - 54с.

В учебном пособии охарактеризованы технологические свойства руд, которые необходимо учитывать при оценке объектов.

Рассмотрены главные характеристики руд, определяющие их технологические свойства: минеральный и химический состав, текстурные и структурные особенности, физические и механические свойства. Показано влияние этих свойств на переработку минерального сырья.

Пособие предназначено для студентов геологов и экономистов, обучающихся по специальностям 080200 и 060800.

© П.П.Ясковский, 2001.

Содержание

Предисловие	4
Вместо введения	5
1. Процесс переработки минерального сырья	7
1.1. Рудоподготовка	7
1.2. Обогащение	8
1.3. Подготовка товарной продукции и утилизация отходов	12
2. Технологические свойства руд и их влияние на переработку минерального сырья	13
2.1. Минеральный состав руд	14
2.2. Химический состав руд	19
2.3. Текстурные особенности руд	23
2.4. Структурные особенности руд	29
2.5. Физические и механические свойства руд	40
2.6. Природные и технологические типы руд	49
Заключение.	51
Литература	52

Предисловие

Каждый, кто не один раз читал лекции, сталкивался с проблемой нехватки времени. В этом случае важный материал приходилось давать схематично или отсылать аудиторию к дополнительной литературе. Такая литература в виде "толстых" учебников (пособий) обычно долго готовится к изданию и по разным причинам не всегда доходит до студента. Для ее подготовки требуется много свободного времени и средств, которых обычно не хватает.

В реальных условиях более эффективным является путь подготовки "тонких" пособий. Одно из них в Ваших руках. Работа готовилась в условиях "не благодаря, а вопреки". Она целиком выполнена по личной инициативе с помощью "семейного подряда". В.В. и Э.П. Ясковские помогли реализовать этот образовательный проект, отдавая ему свое время и силы. Их труд может оценить только автор. Большую помощь в работе с литературой оказали сотрудники библиотеки МГГА. Всем им - моя признательность и искренняя благодарность.

П.П. Ясковский

Москва Тропарево, июнь 2001

Вместо введения

Во введении обычно обосновывается важность изучаемой темы. Для этой цели можно использовать не совсем традиционную форму в виде заочных вопросов нашим предшественникам. Каждый из них в свое время был крупнейшим специалистом в горном деле, разведке или оценке месторождений.

Вопрос Г Агриколе (1494-1555), выдающемуся средневековому ученому в области горного искусства

"Почему надо изучать технологические свойства руд?"

Ответ: " *поскольку природа рождает металлы по большей части не в чистом виде а в смешанном с землями, загустелыми растворами и камнями, необходимо эти ископаемые вещества по возможности отделить от металлических руд еще до их плавки"*

Г Агрикола "О горном деле и металлургии в двенадцати книгах" М, Изд АН СССР, 1962 С 262 Перевод книги, изданной на латыни в 1556г в городе Базель

Вопрос Н В Барышеву (1903-1949) - крупнейшему ученому в области методики разведки и особенно опробования

"Какие показатели определяют технологические свойства руд?"

Ответ: " 1 *Физические свойства руд*

2 *Количество промышленно ценных компонентов в руде*

3 *Содержание промышленно ценных компонентов*

4. *Содержание полезных. . . и вредных примесей. . .*
5. *Минералогический состав руд. . .*
6. *Характер минерализации. . .*
7. *Размер рудных минералов. . .*
8. *Состав вмещающих пород. . . ."*

Н.В. Барышев в книге В.М. Крейтер "Поиски и разведки полезных ископаемых. М.-Л., Госгеолтехиздат, 1940, с. 462.

Вопрос И.Д. Когану (1905-1982), ведущему специалисту ГКЗ СССР по оценке рудных месторождений:

"На что влияют те или иные технологические свойства руд, какие есть примеры?"

Ответ: *"Вследствие преобладания тонких вкраплений касситерита, наличия станнина и сложного минерального состава руд пришлось применить многостадийную гравитационную схему с доводкой продуктов флотогравитацией и магнитной сепарацией. Однако из-за очень тонкого измельчения и образования шламов происходили большие потери олова, и получался концентрат недостаточно высокого качества"* (о технологических исследованиях руд Фестивального месторождения олова. Сихотэ-Алинь, Приморье).

И.Д. Коган "Подсчет запасов и геолого-промышленная оценка рудных месторождений". М., Недра, 1974, с.145.

Если Вас заинтересовали заданные вопросы и полученные ответы, то лекция - перед Вами.

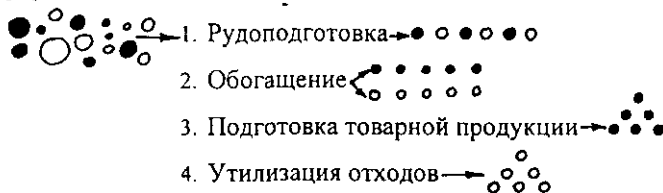
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РУД ПРИ ОЦЕНКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Под технологическими свойствами руд понимаются такие их характеристики, которые влияют на процесс переработки минерального сырья.

Раздел 1. Процесс переработки минерального сырья

Прежде чем описывать технологические свойства руд, кратко рассмотрим процесс переработки минерального сырья. Его цель состоит в выделении ценных компонентов из общей горной массы.

Переработка обычно состоит из нескольких главных этапов:



1.1. Рудоподготовка

Рудоподготовка включает комплекс операций для получения горной массы, отвечающей требованиям последующих этапов обогащения или металлургической переработки. Основным процессом рудоподготовки является дезинтеграция первичной горной массы в виде дробления (крупность частиц обычно до 5 мм) и измельчения (крупность частиц менее 5 мм). Эта операция требует больших энергетических затрат и является очень дорогостоящей (до 50-60% общей стоимости переработки). Цель дезинтеграции - раскрытие полезных минералов из сростков без переизмельчения, используя принцип "не дробить ничего лишнего".

Дробление осуществляется с помощью различных дробилок. В зависимости от крупности кусков и физико-механических свойств исходного сырья дробление производится в одну - четыре стадии, с конечной крупностью частиц от 300 до 5 мм. Затем горная масса может **измельчаться** на мельницах, с конечной крупностью частиц от 1 до 0,04 мм. Степень измельчения определяется, главным образом, гранулометрическим составом зерен полезных минералов. По сравнению с крупнозернистыми рудами мелкозернистые подвергают более тонкому измельчению.

Во многих случаях перед обогащением производится **усреднение качества руд**. Цель такой стабилизации - повысить однородность горной массы, сформировать шихту с заданными параметрами. Сильная изменчивость свойств затрудняет процессы обогащения, приводит к значительным потерям металла (до 5%), повышенному расходу реагентов (до 10%) и снижению производительности оборудования (до 10%). Степень усреднения качества зависит от природной изменчивости минерального сырья и требований обогатительных процессов к параметрам шихты.

1.2. Обогащение

Обогащение представляет собой совокупность одной или нескольких операций, направленных на избирательную концентрацию полезных минералов (табл. 1). Часто обогащение начинается с процесса *предконцентрации*, который направлен на уменьшение объема безрудной массы. Для этих целей используются различные виды сортировок и сепараций. *Сортировка* производится в транспортных емкостях (вагонах, вагонетках, самосвалах) или на конвейерах в тонком слое. *Сепарация* представляет собой процесс

Таблица 1

**Характеристики основных обогатительных
процессов минерального сырья**

Наименование процесса	Главное свойство, используемое при разделении		Допустимая крупность, мм
	Наименование	Величина (не менее)	
Радиометрическое обогащение	контрастность по содержанию	0,5	300 - 1
Промывка	пластическая прочность, МПа	0 - 0,8	300 - 0
Разделение в тяжелых суспензиях	контрастность по плотности, т/м ³	0,05	300 - 0,5
Отсадка	то же	0,5	60 - 0,8
Гравитационная концентрация на столах	то же	0,5	3 - 0,01
Магнитное обогащение слабое сильное	напряженность, кА/М	80 - 150	40 - 0,001
	индукция магнитного поля, Тл	0,8 - 1,1	0,2 - 0,001
Электрическая сепарация	напряжение на электродах, кВ	2 - 50	5 - 0,074
Флотация	избирательная смачиваемость	—	5 - 0,01
Гидрометаллургическое обогащение	избирательное растворение, %	85 - 90	25 - 0,1
Пирометаллургическое обогащение	температура возгонки, °С	800 - 1200	0,1

Источник Минеральное сырье Общие положения // Справочник
М Геоинформмарк 1997 с 38

разделения горной массы на уровне кусков, обычно размером 25 - 150 мм.

Обогащение чаще всего основывается на механическом разделении минералов, гидromеталлургических или пирометаллургических способах. Самыми распространенными процессами разделения минералов являются: *гравитационные, флотационные и магнитные*. Выбор того или иного метода обогащения зависит от контрастности свойств разделяемых агрегатов или отдельных минералов.

Гравитационный метод основан на том, что под воздействием силы тяжести зерна минералов с высокой плотностью осаждаются в воде, воздухе, особых жидкостях или суспензиях быстрее, чем зерна с малой плотностью. Обычная крупность частиц при гравитационном обогащении 0,5 - 10 мм, а минимальная разница в плотности минералов составляет около 1 г/см^3 . Наиболее распространенными обогатительными установками являются концентрационные столы, шлюзы, винтовые и центробежные сепараторы. Гравитационный метод очень широко используется при обогащении от руд россыпных и коренных месторождений золота, олова, алмазов, вольфрама, редких металлов, до углей и горючих сланцев.

Флотационный метод использует различную способность минералов к смачиваемости. В водных суспензиях *гидрофобные* минералы плохо смачиваются, прилипают к пузырькам воздуха и всплывают, создавая пенный продукт (концентрат). *Гидрофильные* минералы, наоборот, хорошо смачиваются, оседают на дно флотомашин и образуют камерный продукт (хвосты). Наиболее успешно флотируются зерна размером 0,1 - 0,04 мм. Флотационная

активность минералов определяется их физико-химическими свойствами и, прежде всего, характером связи между поверхностью частиц и молекулами жидкости. Чем слабее связь, тем сильнее флотуируемость частиц. Хорошей флотуируемостью обладают сульфиды многих металлов, а плохой - их окисленные разновидности.

Метод магнитного обогащения основан на использовании различий в магнитных свойствах отдельных минералов или их агрегатов. Механизм разделения состоит в том, что минеральные зерна (агрегаты) с высокой магнитной восприимчивостью легко притягиваются к полюсам магнитной системы, образуя магнитный концентрат. Немагнитные зерна (агрегаты) формируют другой поток, создающий немагнитный продукт. Крупность частиц, вовлекаемых в магнитную сепарацию, обычно составляет 0,07-10 мм. Магнитная сепарация используется при обогащении различных видов минерального сырья. Особенно велико ее значение для месторождений железа и марганца, основные рудные минералы которых обладают магнитными или парамагнитными свойствами.

Гидрометаллургические и пиromеталлургические процессы используются при обогащении сырья с очень тонкой вкрапленностью минералов. В этом случае не удастся получить кондиционные концентраты традиционными механическими способами.

Гидрометаллургический метод основан на использовании различной способности минералов к растворению. При определенных условиях соединения многих металлов (кобальт, уран, золото, медь и др.) легко выщелачиваются с помощью водных

растворов химических реагентов. Процесс выщелачивания руд может осуществляться в специальных емкостях, штабелях, кучах или в естественном залегании. Затем полезные компоненты выделяются из продуктивных растворов с помощью сорбции (на ионообменных смолах) или экстракции (экстрагентами). Выделение из растворов чистых металлов обычно производится электролитическим или химическим восстановлением. Способность к гидрометаллургическому обогащению определяется, главным образом, минеральным и химическим составом руд, их физическими и химическими свойствами.

Пирометаллургический метод обогащения связан с процессом термической обработки горнорудной массы или концентрата. Обычно он осуществляется в специальных печах. Достаточно широко распространено обогащение с помощью обжига, которое основано на различной способности минералов переносить температурное воздействие. При нагреве многие минералы могут изменять химический состав (получение глинозема из бокситов), магнитные свойства (перевод оксидов Fe в магнетит), или переходить из твердой фазы в газообразную (сурьма, ртуть, мышьяк, сера, органика). Эффективность пирометаллургического метода обогащения зависит от термических свойств минералов. Обжиг используется на разных этапах подготовки руд и концентратов.

1.3. Подготовка товарной продукции и утилизация отходов

Подготовка товарной продукции заключается в формировании партий руды (железа, марганца, хромитов, бокситов) или концентратов с определенными, заранее заданными потребителем свойствами. Это могут быть различные сорта (марки),

отличающиеся содержанием полезных (вредных) компонентов или размером рудных кусков. Так, железные руды, предназначенные для мартеновского металлургического процесса, должны иметь содержание Fe не менее 58% при оптимальной крупности кусков 10 - 250 мм.

Для многих видов минерального сырья (железо, марганец, хром, флюорит, фосфаты, уголь, торф) мелкие частицы укрупняются по требованиям промышленности. С этой целью используется процесс *окускования*. В нем применяются такие способы, как *агломерация* (крупность кусков 5-60 мм), *окомкование* (окатыши 9-16 мм) и *брикетирование* (разной формы и крупности). Эффективность окускования определяется физико-химическими и физико-механическими свойствами минералов. Товарная продукция для месторождений строительного сырья может получаться в виде природного агрегата (песок, гравий). Во всех случаях качество товарной продукции регламентируется требованиями ГОСТа, ОСТа или ТУ.

Утилизация отходов обеспечивает формирование отвалов пустых пород, хвостохранилищ обогатительных фабрик и очистку промышленных водостоков. Часто отходы горно-обогатительных предприятий образуют специфические *техногенные месторождения*. В настоящее время они рассматриваются как ценные, самостоятельные источники вторичного минерального сырья.

Раздел 2. Технологические свойства руд и их влияние на переработку минерального сырья

Важнейшими технологическими свойствами руд являются:

- минеральный и химический состав,
- текстурные и структурные особенности,
- физические и механические свойства.

2.1 Минеральный состав руд

Минеральный состав руд определяется присутствием полезных и породообразующих *минералов*, их количественными соотношениями, формами нахождения, характером парагенетических ассоциаций. Среди полезных минералов по промышленному значению и распространенности выделяют основные (более 10%), второстепенные (1-10%), акцессорные (0,1-0,9%) и редкие (менее 0,1%). Для каждого вида сырья существует своя группа основных минералов. Обычно их количество не превышает 5-10, редко более, как у руд меди, никеля, кобальта, висмута или платиноидов.

Основные минералы какого-либо элемента могут иметь близкие или резко отличающиеся свойства. В первом случае минералы трудно разделить, и их обогащение приходится осуществлять совместно. Так многочисленные минералы элементов платиновой группы (МПГ) из руд коренных месторождений флотировались одновременно. Для платинометаллических россыпей конечным продуктом обогащения является «шлиховая платина», которая, по существу, является коллективным гравитационным концентратом МПГ. Получение чистых платиноидов возможно лишь в процессе глубокой металлургической переработки концентратов. Большие проблемы возникают и во втором случае, когда для выделения основных минералов приходится использовать

разные обогатительные процессы. Для руд олова основными минералами являются: касситерит - SnO_2 , станнин - $\text{Cu}_2(\text{Fe}, \text{Zn})\text{SnS}_4$, варламовит - $\text{FeSn}(\text{OH})_2$ и гидростаннаты - $\text{Fe}_3\text{Sn}(\text{OH})_6$. Наиболее просто и эффективно по гравитационной схеме обогащаются касситеритовые руды (плотность касситерита - 7,0 г/см³). Другие типы руд со станнином (4,5 г/см³) варламовитом (3,8-4,7 г/см³) и гидростаннатами (3,9-4,5 г/см³) относятся к группе труднообогатимых. Они требуют помимо гравитационного обогащения применения целого комплекса других методов: флотации, магнитного и электрического обогащения, пирометаллургии (Грекулова и др., 2000).

Минеральный состав руд оказывает большое влияние на эффективность флотационных процессов. Хорошо обогащаются сульфиды *Pb, Zn, Cu, Mo* и плохо - их окисленные формы. Так для молибденовых руд основным гипогенным минералом является молибденит - MoS_2 , обладающий хорошими природными гидрофобными свойствами. Молибденитовые руды легко обогащаются флотацией по относительно простым технологическим схемам. В это же время окисленные руды, представленные повеллитом - CaMoO_4 , ферримолибдитом $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{MoO}_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ и др., обогащаются с трудом (рис.1). При этом получаются концентраты невысокого качества, что связано по А.А. Абрамову и С.Б. Леонову (1991) со следующими причинами:

- легкая шламуемость гипергенных молибденовых минералов в процессе измельчения руды;
- близость флотационных свойств окисленных молибденовых и породообразующих минералов;

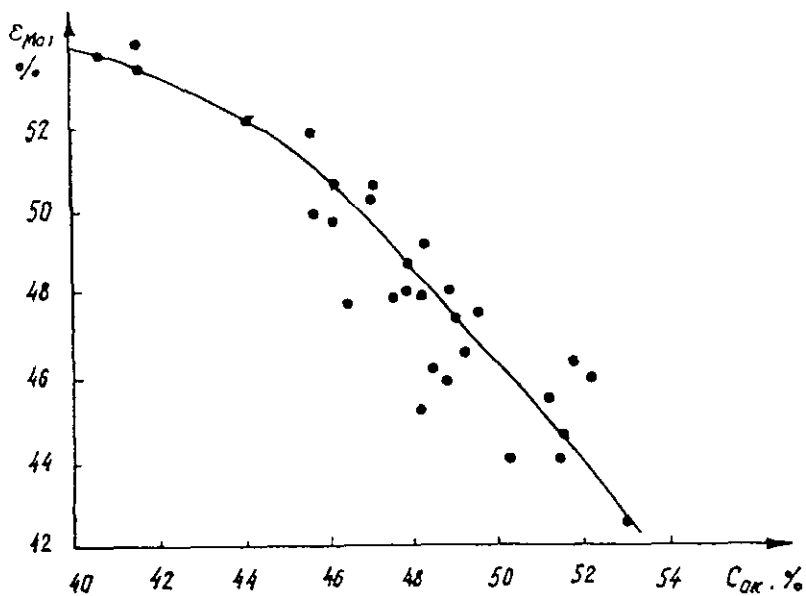


Рис. 1 Зависимость извлечения молибдена в флотационный концентрат (ϵ) от степени окисления молибденита ($C_{ок}$) (по Изюнтко, 1997)

- неоднородность состава гипергенных молибденовых минералов, что затрудняет выбор оптимальных режимов обогащения.

Значительное влияние на технологию переработки сырья также оказывает и *состав породообразующих (нерудных) минералов*. Среди них отмечается большая группа слюдистых и глинистых минералов, углистых веществ, часто связанных с каолинитизацией, серцитизацией, хлоритизацией и другими процессами. Эти минералы и вещества образуют первичные **шламы**, которые из-за небольших размеров слагающих их частиц (доли мм) снижают показатели обогатительных процессов. Кроме того, шламы отличаются высокой природной сорбционной активностью и поэтому резко ухудшают флотацию и цианирование. В этих процессах глинистые (слюдистые) частицы и углистое вещество сорбируют необходимые для обогащения реагенты, затрудняют сгущение и фильтрацию.

Помимо шламообразующих компонентов на технологию и показатели переработки сырья влияют и другие группы нерудных минералов. Так при флотации вольфрамовых руд вместе с шеелитом - CaWO_4 в концентрат из-за близости свойств переходят такие минералы, как кальцит - CaCO_3 , доломит - $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, флюорит - CaF_2 , апатит - $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F, OH, Cl})$. Наиболее резко ухудшает технологические показатели обогащения доломит, который флотируется интенсивнее других карбонатов. Однако, и кальцит достаточно сильно уменьшает извлечение вольфрама в концентрат (рис. 2).

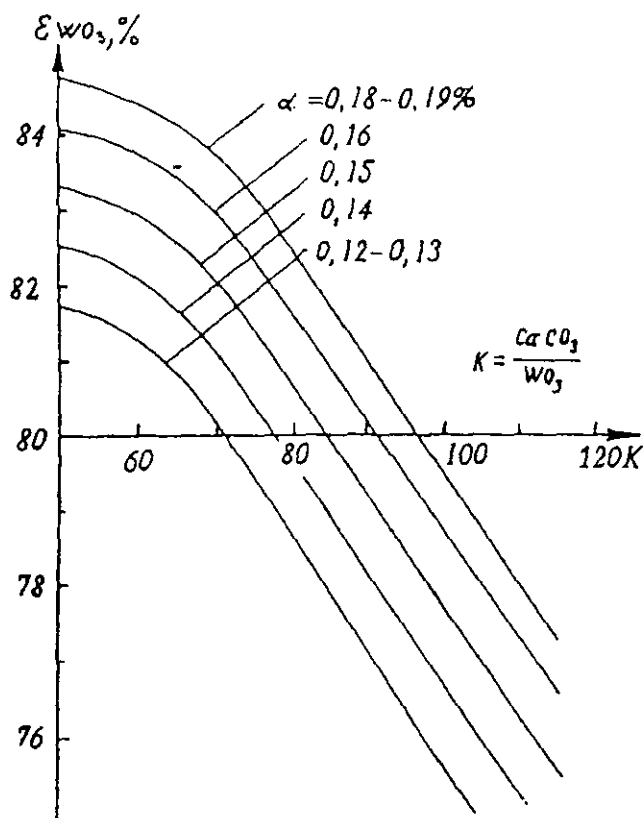


Рис. 2 Зависимость извлечения вольфрама в флотационный концентрат (ϵ) от карбонатного модуля (K) при различных вариантах содержания WO_3 в руде (α) (по данным Изюитко, 1997)

2.2. Химический состав руд

Химический состав руд определяется наличием полезных, вредных, петрогенных элементов (окислов), их содержаниями и соотношениями, присутствием особых химических форм или активных соединений. Все эти факторы оказывают большое влияние на процессы переработки минерального сырья.

Во-первых, выделим *содержание полезных компонентов*. В целом, между показателями обогащения и содержанием полезного компонента наблюдается положительная зависимость: с увеличением содержания элемента улучшаются показатели обогащения рудной массы (рис.3). Однако, иногда зависимость имеет более сложный характер. Это связано с тем, что валовое содержание полезного компонента в руде может распределяться между несколькими минеральными формами. Так для одного из оловорудных месторождений Киргизии доля Sn в касситерите составила - 64,2%, а в неизвлекаемых по традиционным схемам - гранате - 24,1%, магнетите - 5,1%, пирите - 3,1%, пироксене - 2,2% (Иванов и др. 1989, с. 103). Поэтому при изучении процессов обогащения важно определять не только валовой химический состав руд, но и детально анализировать баланс распределения элементов по минеральным формам. *Химический и минеральный состав руд* взаимосвязаны и взаимообусловлены.

Во-вторых, отметим *соотношения элементов или их окислов*. Для многих месторождений схемы и показатели обогащения определяются не содержаниями элементов (окислов), а

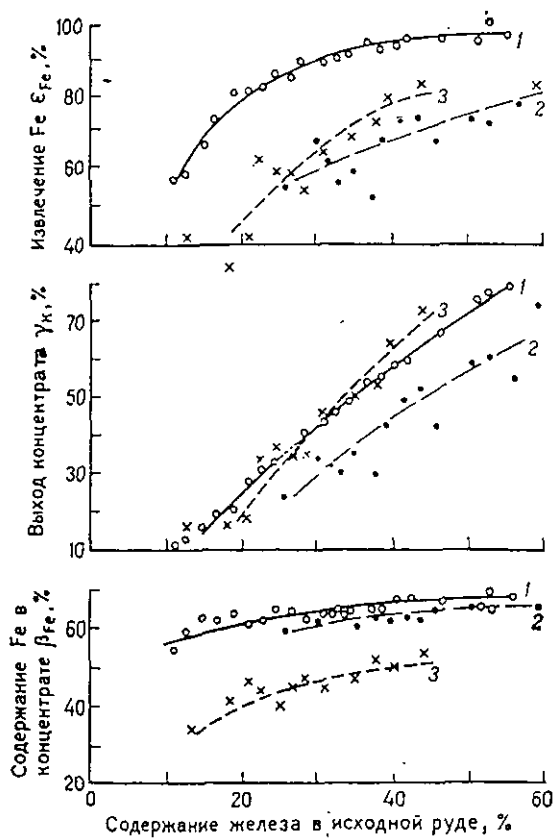


Рис.3 Зависимость показателей обогащения от содержания железа в руде Тагарского месторождения
 типы руд: 1 - магнетитовый; 2 - магнетит-магнетитовый;
 3 - гематит-гидрогематитовый (по Коцу и др , 1980)

их отношениями. Важнейшим методом переработки бокситовых руд и получения глинозема Al_2O_3 , является гидрохимический метод Байера. Его использование эффективно лишь для высококачественных руд с кремниевым модулем $M_{Si} = Al_2O_3 / SiO_2$ более 5 - 7. Алюминиевые руды с низким M_{Si} (высоким содержанием SiO_2) перерабатываются по более дорогому методу спекания.

Для полиметаллических руд, где основные полезные компоненты тесно связаны между собой по минеральному составу и химическим свойствам, устанавливаются особые зависимости. Проведенные исследования показали, что извлечение металлов в большой степени определяется отношениями элементов в виде Zn/Pb , Cu/Zn , $Zn/Cu+Pb$ (Генкин и др. 1986; Изюитко, 1997; Коц и др. 1980).

Значительное влияние на показатели обогащения оказывает не только химический состав руд, но и особенности состава вмещающих пород. В частности, на процесс флотации полиметаллов воздействуют такие петрогенные окислы, как CaO , MgO , SiO_2 . Обычно они связаны с присутствием карбонатных и кремнистых пород. Наиболее химически активными при флотации являются слюдистые, глинистые и лимонитизированные породы. Для последних характерно повышенное содержание Fe . Отмеченные закономерности химизма вмещающих пород можно выразить в виде отношения $(CaO + MgO + SiO_2) / Fe$. Данный показатель тесно связан с извлечением свинца в флотационный концентрат (рис. 4).

В-третьих, обратим внимание на присутствие в рудах *особенно химически активных форм*. В частности, при добыче

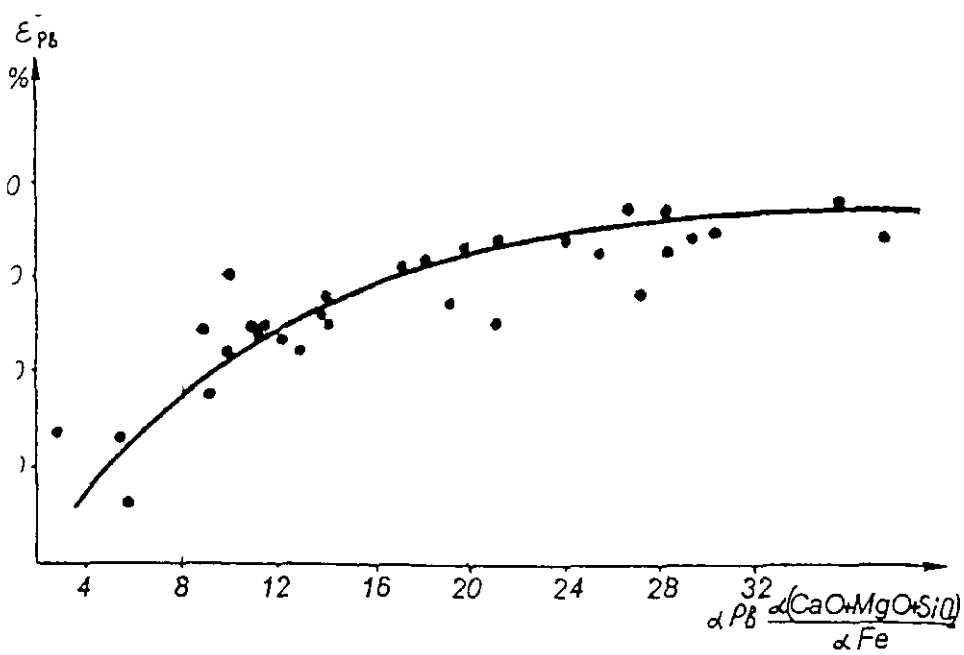
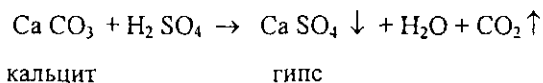


Рис 4 Зависимость извлечения свинца в флотационный концентрат(ε) от его содержания в руде (α) и состава вмещающих пород (по Изонтко, 1997)

урана методом подземного выщелачивания (ПВ), извлечение металла во многом определяется карбонатностью руд и вмещающих пород. Для широко используемой кислотной схемы ПВ растворитель (H_2SO_4) наиболее активно взаимодействует с кальцитом по реакции:



Таким образом, чем больше карбонатность среды, тем значительней произвольный расход кислоты, сильнее проявляется явление коагуляции, тем меньше извлечение урана в продуктивные растворы. Поэтому при существенной карбонатности пород (более 2,0-2,5% CO_2) извлечение урана с помощью кислоты становится вообще неэффективным и целесообразно переходить на другие схемы ПВ (Мамилов и др., 1980).

Химический состав имеет большое значение не только в процессе обогащения, но и при сертификации готовой продукции. Марки и сорта получаемых концентратов, в основном, регламентируются содержаниями полезных и вредных элементов (соединений). Эти требования к химическому составу для каждого вида минерального сырья приводятся в соответствующих ГОСТ, ОСТ или ТУ. В частности, по ГОСТ 212-76 флотационный молибденовый концентрат высшего сорта (марка КМФ-В) должен иметь: Mo - не менее 52%, примесей не более (%) SiO_2 - 4, As - 0,03; Cu - 0,02; P - 0,02, Sn - 0,4.

2.3. Текстурные особенности руд

Текстура руд обуславливается размером, формой и характером срастания минеральных агрегатов. Основным

элементом текстуры является **минеральный агрегат**, который представляет собой сближенную совокупность минеральных зерен. Текстуры, как правило, изучаются визуально на обнажениях, в горных выработках или в штуфах (шлифах). Среди текстур по происхождению выделяются морфологические группы, а в их пределах несколько десятков морфологических видов.

Текстуры руд исключительно многообразны. Среди них по влиянию на процессы переработки минерального сырья можно выделить: благоприятные и неблагоприятные (табл.2). *Благоприятные текстуры* характеризуются крупными размерами минеральных скоплений, достаточно однородным строением, простыми и четкими границами между агрегатами (рис.5). Для таких текстур особенно эффективны процессы рудоподготовки, а обогащение не вызывает больших затруднений и позволяет получать высококачественные концентраты. *Неблагоприятные для обогащения текстуры* имеют небольшие размеры минеральных скоплений, неоднородное строение агрегатов, сложные и постепенные изменяющиеся границы между ними (рис.6). Руды с такими текстурами всегда требуют сложных, многостадийных процессов рудоподготовки и обогащения.

Текстурные особенности, главным образом, влияют на:

- эффективность процессов рудоподготовки (сортировка, сепарация),
- выбор схем обогащения.

Прежде всего, отметим, что многие благоприятные текстуры (массивные, вкрапленные, полосчатые и др.) характерны для особо богатых руд. В этом случае руды железа, марганца, хромитов, меди,

Таблица 2

Классификация текстур руд и их влияние на обогатимость
(по Изюитко, 1997 с.45)

	Морфогенетическая группа	Морфогенетический вид	Влияние на обогатимость
Благоприятные для обогащения	Однородная	Равномерновкрапленный Массивный	Руды с содержанием минералов более 60% обогащения не требуют, прямо направляются на металлургический передел Руды с размером агрегатов более 2 мм обогащаются с небольшими потерями
	Пятнистая	Вкрапленный Пятнистый Нодулярный	
	Удлиненная	Полосчатый Слоистый Гнейсовидный Линзовидный Прожилковый	
Неблагоприятные для обогащения	Катакластическая Кластическая	Брекчиевый Конгломератовый	Руды с размером агрегатов менее 2 мм обогащаются трудно В процессе обогащения образуется много шламов, с которыми связаны значительные потери полезных минералов
	Цементная	Цементный	
	Коллоидная Метаколлоидная	Колломорфный Оолитовый Почковидный Порошковатый Корковый	
	Коррозонная	Скелетный Каемочный Сетчатый Нитеобразный Субграфический	
	Каркасная	Пористый Ячеистый Ящичный	

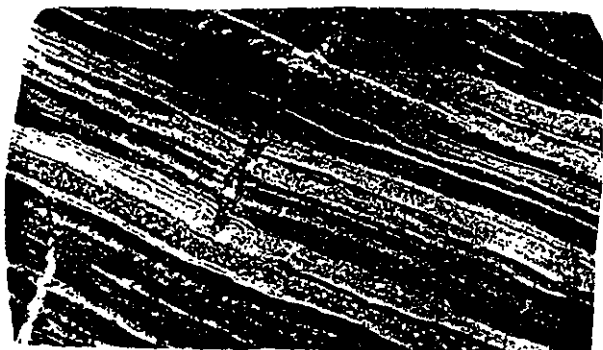


Рис 5 Полосчатая текстура железистого кварцита, в основном, сложенная магнетитом (серое) и кварцем (черное). Секущие прожилки - кварц Кривой Рог (Украина). По К.Ф.Щербаковой. Полированный штупф. Нат. вел.

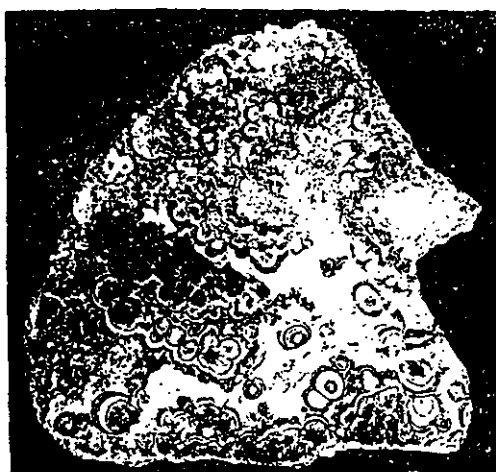


Рис 6 Колломорфная текстура агрегатов касситерита в виде почек и гроздей. Белое (в межпочечных пространствах - кварц). Месторождение Джалинда (Россия). Полированный штупф. Нат. вел.

Источник: А.Г.Бетехтин, А.Д.Генкин, А.А.Филимонова, Т.Н.Шадлун. Текстуры и структуры руд. М.Госнаучтехиздат 1958 (с. 56,317).

никеля вообще не требуют использования процессов предварительного обогащения. Они после соответствующей дезинтеграции прямо используются в металлургическом производстве.

Обычные руды перед обогащением проходят рудоподготовку. Ее цель – уже на самых ранних стадиях процесса переработки вывести из оборота в отвальные хвосты пустую породу. В результате такой операции получается товарная руда с вполне определенными технологическими свойствами.

Одним из самых эффективных приемов рудоподготовки является радиометрическая мелкопорционная сортировка и сепарация (характерный размер кусков 25-150 мм). Возможность использования этих систем определяется контрастностью руд - способностью различаться в штуфах по какому-либо свойству. Поэтому результаты сортировки и сепарации во многом обусловлены текстурными особенностями руд. В целом, можно отметить: чем ярче и масштабнее проявлена текстура, значительней размер ее агрегатов, выше в них содержание полезных компонентов, резче границы с вмещающей средой, тем больше контрастность руд и лучше показатели обогащения.

Наиболее широко радиометрическая сортировка и сепарация используется при рудоподготовке радиоактивных видов минерального сырья (рис.7). Для урановых руд хорошие показатели радиометрического обогащения отмечаются для следующих видов благоприятных текстур: массивной, прожилковой, полосчатой, пятнистой, крупно- и среднезернистой с размерами агрегатов не менее 3-5 мм. В этих случаях из добываемой горной массы можно

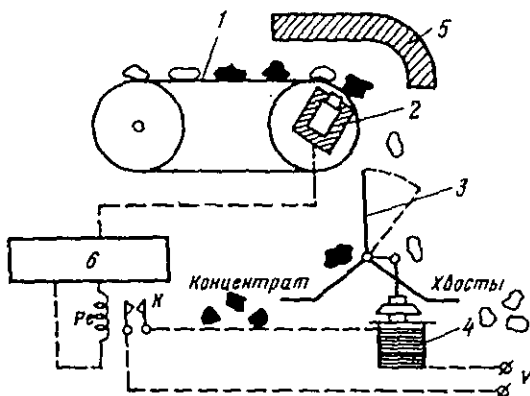


Рис.7 Схема одноканального ленточного радиометрического сепаратора с электромеханическим разделяющим механизмом шибера типа. 1 – ленточный конвейер, 2 – датчик радиометра в экране, 3 – шибер, 4 – электромагнит, 5 – экран, 6 – радиометр. (по Архипову, 1985).

удалить от 60 до 90% отвалных продуктов и обеспечить повышение содержания урана в товарной руде в 1,2-1,5 раза (Зернов и др., 1991.; Кисляков и др., 1997). Если же руды сложены очень тонкозернистыми агрегатами: коллоидными, цементными, сетчатыми, петельчатыми и порошковатыми текстурами, то в этих случаях радиометрическое обогащение становится неэффективным. Такое сырье направляется на переработку по гидрометаллургическим технологиям (Прибытков, 1977).

Заметное влияние текстурные особенности руд оказывают и на традиционные, собственно обогатительные схемы. Так на медно-никелевых месторождениях Норильской группы выделяют два основных технологических типа: вкрапленные и сплошные руды. Они достаточно сильно отличаются друг от друга текстурным обликом. Каждый тип руд перерабатывается по своей схеме. При обогащении вкрапленных руд используется коллективная флотация с последующим разделением концентратов. Сплошные руды обогащаются отдельной флотацией по схемам глубокой переработки (Абрамов, Леонов, 1991).

2.4. Структурные особенности руд

Под структурой руд понимаются особенности, определяемые размером, формой и характером срастания минеральных зерен. Обычно они изучаются под микроскопом в шлифах. Основным элементом структуры является зерно. Среди структур по происхождению выделяются морфогенетические группы, а в их пределах несколько десятков морфологических видов.

Структуры руд обладают удивительным разнообразием. По характеру влияния на процессы обогащения выделяют два класса:

благоприятные и неблагоприятные структуры (табл. 3) К благоприятным для обогащения относят структуры с крупными зёрнами, однородным их строением, простыми формами, прямыми или слабо волнистыми границами срастания (рис.8). Благоприятные структуры обеспечивают достаточно полное раскрытие зёрен, высокие показатели обогащения и качества концентратов. Неблагоприятные для обогащения структуры имеют крайне небольшие размеры зёрен (менее 0,05-0,01 мм), неоднородное строение, сложные формы и сильно извилистые границы срастания (рис.9). В случае неблагоприятных структур, даже при значительном измельчении, раскрытие зёрен неполное, показатели обогащения невысокие, а получаемые концентраты не отличаются высоким качеством.

Как уже отмечалось ранее, структура руды определяется тремя основными параметрами: размером, формой и характером срастания минеральных зёрен. *Распределение зёрен по размерам* влияет на:

- выбор процессов обогащения (рудоподготовки),
- особенности измельчения руд,
- показатели извлечения.

При выборе процессов обогащения решающее значение часто приобретает крупность зёрен. Так, гигантовкрапленные тантал-ниобиевые руды (d более 10 мм) обычно подвергаются радиометрической сортировке и сепарации. Крупновкрапленные руды ($d = 0,1-10$ мм) обогащаются по гравитационным схемам, а средневкрапленные ($d = 0,01-0,1$ мм) по комбинированным флотационным и гравитационным схемам. Селективная флотация используется при обогащении тонко- и дисперсно-

Таблица 3

Классификация структур руд и их влияние на обогатимость
(по Афанасьевой и Исаенко, 1998 с.88-89)

	Морфогенетическая группа	Морфологический вид	Влияние на обогатимость
Благоприятные для обогащения	Зернистая	Идиоморфнозернистый Аллоτριоморфнозернистый Гипидиоморфнозернистый Порфирировидный	Руды крупно, средне, мелко-зернистые с однородным строением Извлечение и качество концентрата - высокие
	Собственно кристаллобластическая	Идиоморфнобластический Гранобластический Гипидиоморфнобластический	
Неблагоприятные для обогащения	Коррозионная	Скелетная Реликтовая Разъедания	Руды тонкозернистые, субмикроскопические, коллоидно-дисперсные с размерами минералов менее 0,03 мм Строение зерен неоднородно Типичны полиминеральный состав руд и сложные срастания зерен Извлечение минералов затруднено Качество концентрата - пониженное
	Метазернистая	Аллоτριоморфнометазернистый Идиоморфнометазернистый Гипидиоморфнометазернистый	
	Коллоидная и метаколлоидная	Гелевый Концентрически-зональный Радиально-лучистый Волокнистый	
	Распада твердых растворов	Эмульсионный Решетчатый Пластинчатый	
	Катакластическая	Раздробленный Порфирокластический Расщепления	



Рис 8 Гранобластическая структура зерен пирита
Полированный шлиф. Ув 80 По Е.Л.Афанасьевой и М.П.Исаенко



Рис 9 Структуры расщепления и смятия зерен молибденита (белое); кварц (темно-серое)
Месторождение Каджаран (Армения)
Полированный шлиф Ув 90
По Е.Л.Афанасьевой и М.П.Исаенко

Источник: Е.Л.Афанасьева, М.П.Исаенко
Технологическая минераграфия М Недр
1988 (с.63,68).

вкрапленных руд (d менее 0,01мм) (табл. 4).

В ряде случаев субмикроскопический размер зерен делает невозможным их извлечение и обогащение. К такому типу относятся руды импактного Попигайского (Россия) и метаморфогенного Кумдыкольского (Казахстан) месторождений технических алмазов. Оба месторождения обладают уникальными запасами (более 1000 млн. карат) и содержаниями (50-100 кар/т). Однако размеры кристаллов так малы (обычно менее 0,05-0,1 мм), что не позволяют при существующих технологиях переработки подвергнуть их обогащению.

Размер зерен (d) определяет оптимальную степень измельчения (D_0). При слишком крупном измельчении ($D \gg d$) рудные зерна плохо освобождаются из сростков с породообразующими минералами. В случае переизмельчения ($D \ll d$) образуются тонкодисперсные шламы, которые затрудняют процесс обогащения (рис.10). Поэтому *оптимальная величина измельчения прямо связана с гранулометрическими характеристиками зерен.*

$$D_0 \leq d$$

Много сложностей возникает при обогащении тонкозернистых руд, которые из-за малых размеров частиц трудно освобождаются из сростков или улавливаются в концентрат. Эта проблема «сверхмелких зерен» существует как для коренных, так и для россыпных месторождений. В общем случае, чем крупнее зерна,

Таблица 4

Рациональное сочетание процессов промышленной переработки Та-Nb руд в зависимости от их типа и размера зерен.
(По Ю.С. Кушпаренко).

Размер зёрен, мм	Характеристика минералов				
	Та руда	Та и Та-Nb руда		Та-Nb и Nb руда	
	Слабомагнитные ($\chi \geq (10-60) \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{кг}$) тяжелые ($\rho \geq 7 \text{ г/см}^3$)	Слабомагнитные ($\chi \geq 10 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{кг}$) средней плотности ($\rho \approx 5-6 \text{ г/см}^3$)	Немагнитные ($\chi < 5 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{кг}$) повышенной плотности ($\rho \geq 6 \text{ г/см}^3$)	Слабомагнитные ($\chi \geq 10 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{кг}$) малой плотности ($\rho \approx 4,5 \text{ г/см}^3$)	Немагнитные ($\chi < 5 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{кг}$) малой плотности ($\rho \approx 4 \text{ г/см}^3$)
1000					
100	Радиометрическая сортировка в транспортных емкостях и устройствах				
10	Радиометрическая и тяжелосредная separация				
1	Гравитационное обогащение				
0,3					
0,1					
0,07	Флотация				
0,01	(Магнитная separация)			(Магнитная separация)	
0,001	Селективная флокуляция				
Характерные минералы	Танталит, ваджкинг, талинолит	Колумбит, лопарит, стронверит, самарскит	Микролит, горюкит, симпсонит, стибиконтанталит	Гатчеттолит, Th-пироклор, цериепироклор, приорит	Пироклор паццанг иусинг, ферсманг

Источник: В.С.Кудрин, Ю.С.Кушпаренко, Н.В.Петрова
и др. // Минеральное сырье. Ниобий и тантал.
М.Геосинформмарк. 1998(с.63)

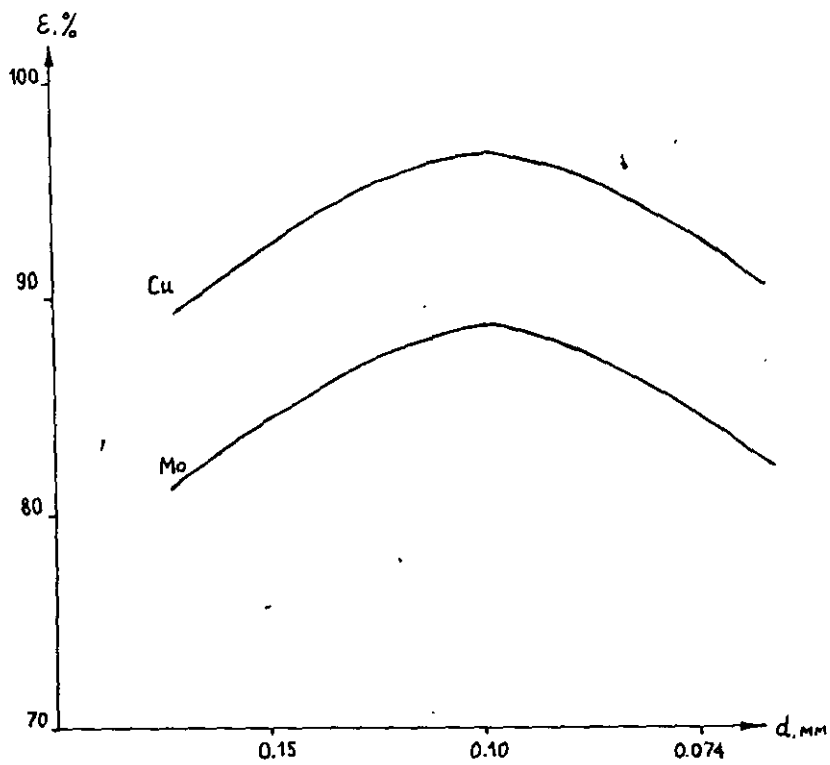


Рис. 10 Влияние крупности измельчения (d) на извлечение (ϵ) молибдена и меди из молибденовых руд (по данным Изютко, 1997).

тем лучше показатели извлечения и наоборот, чем меньше размер зерен, тем труднее их извлечение в концентрат (рис.11-13).

Особенности формы и характер срастания зерен также сильно влияет на показатели обогатительных процессов. В частности, при гравитационном разделении минералов на наклонной плоскости лучше всего извлекаются частицы изометрической формы (кубы, октаэдры, короткопризматические кристаллы), а хуже – удлиненные (длиннопризматические, шестоватые, игольчатые) или пластинчатые (листоватые, чешуйчатые). Своеобразный эффект отмечается при обогащении золотоносных россыпных месторождений. Так, в продуктивных песках часто присутствуют мелкие золотишки пластинчатой формы. Они даже при значительных размерах по ширине и длине из-за очень малой толщины (менее 0,05-0,10 мм) хорошо перемещаются в водном потоке. Такое пластинчатое, «плавающее» золото легко теряется в процессе гравитационного обогащения на шлюзах (столах) и переходит в хвосты.

Многие руды имеют сложные формы зерен и прихотливые границы срастания. Кроме того, внутреннее строение зерен часто неоднородно, в них отмечаются каемки, микропрожилки, включения и реликты других минералов. Данными особенностями структур обладают большинство коррозионных, метазернистых, коллоидных, распада твердых растворов и катакластических морфогенетических рупп. При измельчении руд с такими структурами возникает большое количество технологических продуктов в виде сростков и пороодообразующих частиц. В этом случае за счет

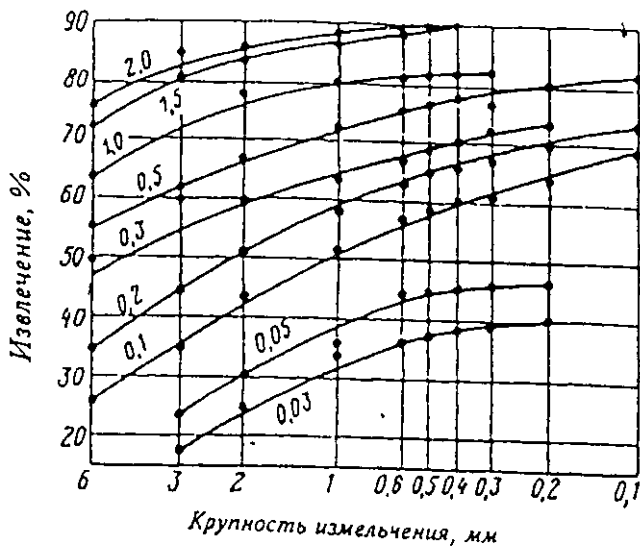


Рис 113 Зависимость извлечения олова в товарные концентраты от размера вкрапленности (цифры у кривых) и крупности измельчения (по Изюитко, 1997).

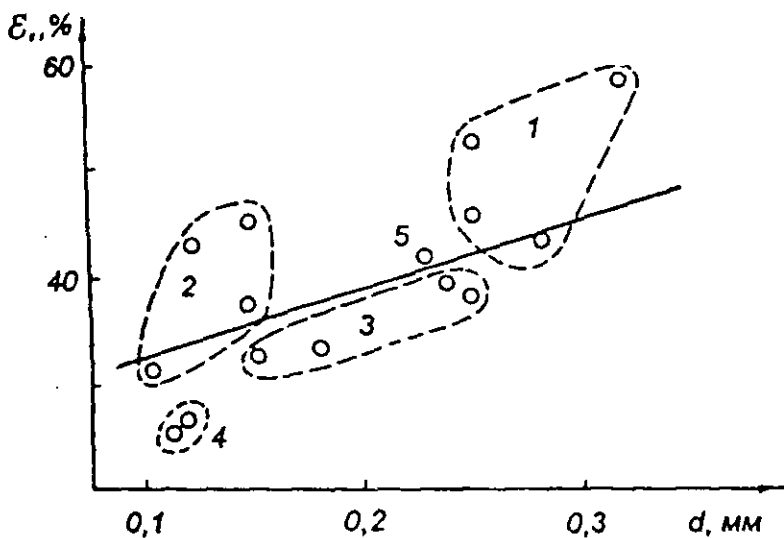


Рис. 13. Зависимость извлечения золота (ϵ) в гравитационный концентрат от средней крупности золотин (d). Месторождения: 1 – Незаметнинское, 2 – Советское, 3 – Мурунтау, 4 – Березовское, 5 – Коммунарское. (по данным Изюитко, 1997).

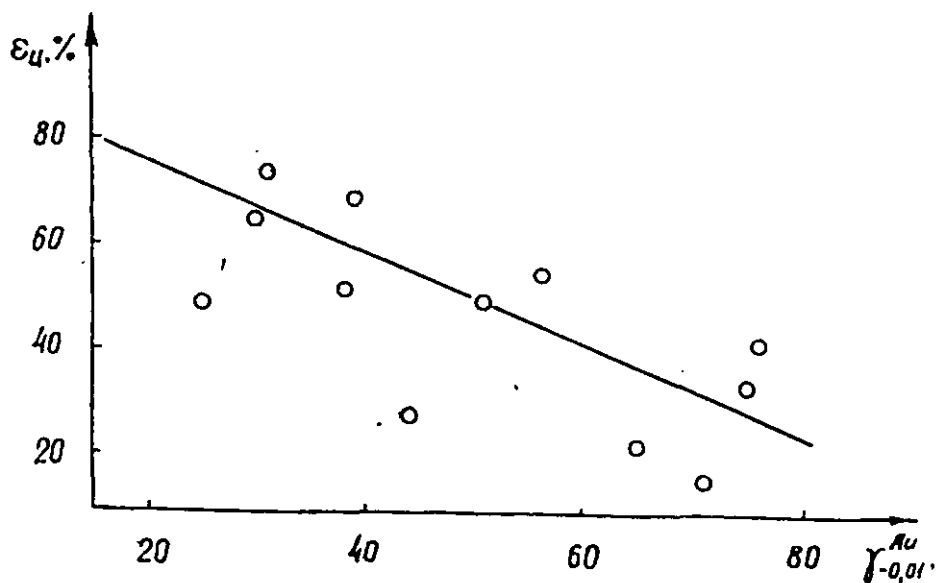


Рис 13 Зависимость извлечения золота в раствор при прямом цианировании руд Итакинского месторождения (ϵ) от количества тонкодисперсного самородного золота ($\gamma_{-0,01}^{Au}$). (По данным Изюитко, 1997).

нерудной компоненты извлечение и качество получаемых концентратов резко снижается (рис. 14)

2.5. Физические и механические свойства руд

Физические и механические свойства руд обуславливаются сочетанием полезных и породообразующих минералов, их характеристиками, составом, количественными соотношениями, текстурно-структурными особенностями. Все многообразие физических и механических свойств, связанных с переработкой минерального сырья, можно разделить на две основные группы:

1. Свойства, определяющие особенности рудоподготовки.
2. Свойства, влияющие на выбор схемы обогащения.

Среди главных свойств минералов, определяющих особенности процессов рудоподготовки, отметим следующие:

Твердость – способность минерала оказывать сопротивление какому-либо механическому воздействию. В минералогической практике широко известна шкала Мооса, оценивающая по десятибалльной шкале относительную твердость минералов при царапании (тальк –1, алмаз-10). При количественном измерении чаще всего используется определение микротвердости по Виккерсу. Этот метод характеризует сопротивление минерала вдавливанию стандартной алмазной пирамидки.

У большинства минералов наблюдается определенная изменчивость твердости, вплоть до ярко выраженной анизотропии, как у кианита. Высокой твердостью обладают такие рудные минералы, как: рутил, касситерит, циркон, берилл, хромшпинелиды, а низкой – самородный висмут, золото, молибденит, киноварь, зурипигмент. Наивысшую микротвердость (ок. 10 000кгс/мм²)

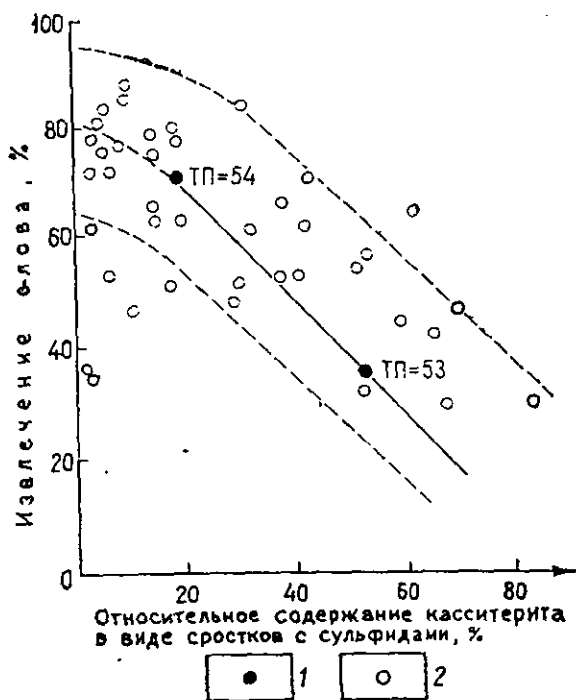


Рис. 14. Зависимость извлечения олова в концентрат от содержания касситерита в сростках с сульфидами: 1- технологические пробы, 2- минералого-технологические пробы (по данным Коц и др., 1980)

имеет алмаз, который превышает твердость корунда примерно в пять, а молибденита более чем в 300 раз. Для ряда минералов (алмаз, гранаты, корунд, топаз и др.) повышенная твердость определяет их промышленное использование в качестве природных абразивов.

Спайность - способность минерала раскалываться в определенных направлениях (плоскостях) Спайность может проявляться в различной степени. У некоторых минералов она выражается очень сильно: слюды, флюорит, галит, галенит, сфалерит, пентландит и др. Зато у других она практически отсутствует: пирит, халькопирит, лопарит, циркон, самородные Au, Ag, Pt. Весьма совершенная спайность слюд используется при их обогащении по форме. В этом случае пластинчатые кристаллы слюд легко проходят в узкие щели грохота, а пустая порода в виде округлых агрегатов остается в надрешетном продукте.

Хрупкость – способность минерала разрушаться под механическим воздействием без заметных пластических деформаций. Этим свойством обладают многие минералы, например, киноварь, церуссит, диаспор и др. Минералы с повышенной хрупкостью при дезинтеграции склонны к переизмельчению и образованию труднообогащаемых шламов. Для алмаза его повышенная хрупкость является неблагоприятным свойством, т.к. способствует нарушению целостности кристаллов. У некоторых минералов хрупкость весьма мала. В них часто проявляются такие свойства, как упругость (слюды, асбест) или ковкость (самородные Au, Ag, Cu). При обогащении руд с

крупным золотом необходимо учитывать, что в процессе дезинтеграции золотины из-за ковкости практически не измельчаются, а лишь деформируются.

В общем случае, чем меньше твердость, совершеннее спайность и выше хрупкость минерала, тем легче происходит процесс его разрушения. Рудная масса обычно представляет собой композицию минералов с весьма различными физико-механическими свойствами. Поэтому для оценки затрат, связанных с дроблением и измельчением руд, в зарубежной горнорудной практике, используют *интегральный показатель* - «индекс Бонда» (Шумилин, 1998). Он характеризует затраты электроэнергии в кВт/час, необходимые для дезинтеграции 1 т руды до крупности частиц менее 0,1 мм в объеме 80%. Величина индекса Бонда составляет:

- мягкие руды – 12,
- руды средней твердости – 15,
- твердые руды – 17.

Помимо дробления и измельчения, другой важнейшей операцией рудоподготовки является радиометрическая сортировка и сепарация. Эффективность этих процессов определяется таким свойством руд, как природная **радиоактивность**. Она заключается в способности руд к самопроизвольному испусканию α (β) - частиц и γ -квантов. Наиболее высокой радиоактивностью обладают урановые руды. В меньшей степени радиоактивность

проявляется на месторождениях тантала и ниобия, фосфатов, бокситов, калийных солей, редкоземельных элементов, апатитов.

Все действующие на урановом месторождении виды сортировок и типы сепараторов основаны на регистрации с помощью специальных детекторов природной радиоактивности. В равновесных рудах между содержанием урана и радиоактивностью существует прямая зависимость. Поэтому, чем сильнее проявлены радиоактивные свойства руд, выше содержание урана, больше контрастность, тем лучше показатели радиометрического разделения (табл.5).

Среди главных физических свойств, влияющих на выбор схемы обогащения, отметим следующие:

- плотность,
- магнитность,
- электрические свойства.

Плотность минерала ρ определяется отношением массы к единице объема. Обычно она выражается в г/см^3 . Плотность минерала может меняться в зависимости от состава изоморфных примесей и микровключений. По плотности среди минералов выделяют: легкие ($\rho < 3 \text{ г/см}^3$), средние ($3 - 4 \text{ г/см}^3$), тяжелые ($4 - 5 \text{ г/см}^3$) и очень тяжелые ($\rho > 5 \text{ г/см}^3$). К легким относятся многие породообразующие минералы, в том числе: кварц, кальцит, доломит, микроклин, ортоклаз, плагиоклазы, мусковит. Среди очень тяжелых отмечается большинство рудных

Таблица 5

Усредненные показатели сортировки урановых руд
(по Зернову и др, 1991 с 131)

Показатели сортировки	Особоконтрастные руды		Среднеконтрастные руды	
	класс +5-30мм	класс +30-100мм	класс +20-30мм	класс +30-100мм
Содержание U в исходной руде, %	0,100	0,100	0,060	0,060
Выход хвостов, %	65	85	50	60
Содержание U в хвостах, %	0,010	0,005	0,015	0,010
Эффективность Сортировки	0,6-0,7	0,8-0,9	0,6-0,7	0,7-0,8

минералов. Наивысшую плотность имеют: касситерит (6,3-7,2), танталит (8,2), уранинит (7,5-10,6), киноварь (8,0-8,2), золото (15,6-18,3), платина (14,0-19,0).

На использовании плотности минералов основаны различные схемы гравитационного обогащения: в тяжелых средах, в потоках на наклонной плоскости или винтовой поверхности. В этих случаях при движении частиц с разной плотностью происходит их естественное разделение. Тяжелая фракция, содержащая полезные минералы, отделяется в концентрат, а легкая, с породообразующими минералами, уходит в хвосты. Особенно широко гравитационные схемы используются в процессе обогащения руд золота, платины, олова, титана-цикония, монацита, колумбита-танталита.

Магнитные свойства минерала определяют его способность намагничиваться в магнитном поле. Одной из основных характеристик является *удельная магнитная восприимчивость* - χ , ($\text{м}^3 / \text{кг}$)

$$\chi = \frac{\alpha}{\rho}$$

где α - магнитная восприимчивость,

ρ - плотность, - ($\text{кг} / \text{м}^3$)

По особенностям поведения в магнитном поле в технологии обогащения среди минералов выделяют (Куликов и др., 1985):

- диамагнитные (немагнитные)
- парамагнитные (слабомагнитные)
- ферромагнитные (сильномагнитные)

Диамагнитные минералы обладают очень небольшой удельной магнитной восприимчивостью - до 10^{-8} м³/кг. Практически это немагнитные минералы. К этой группе относятся золото, касситерит, флюорит, графит, кварц, кальцит и др. Парамагнитные минералы имеют слабую магнитность. Их удельная магнитная восприимчивость находится в диапазоне ($10^{-8} - 10^{-6}$) м³/кг. Среди парамагнетиков выделяют: гематит, хромит, вольфрамит, ильменит, пиролюзит и др. Ферромагнитные минералы характеризуются самыми высокими значениями χ - более 10^{-6} м³/кг. В эту группу сильномагнитных минералов входят: магнетит, титаномагнетит, пирротин, кубанит и др.

Магнитные свойства минералов используются в процессах **магнитной сепарации**. Механизм разделения состоит в том, что сильномагнитные минералы притягиваются к полюсам магнитной системы и собираются в одни приемные устройства, а немагнитные минералы выносятся потоком в другие приемные устройства. Для слабомагнитных минералов применяют разделение в сильных магнитных полях или осуществляют специальную термopодготовку в виде магнетизирующего обжига. Магнитная сепарация является главным методом

обогащения железных и марганцевых руд. Обычно она используется при переработке большинства видов минерального сырья.

Электрические свойства минерала определяются его способностью проводить электрический ток. К важнейшей характеристике относится *удельное сопротивление*. Его величина зависит от энергетических параметров кристаллической решетки, наличия структурных дефектов, содержания примесей, и для одного и того же минерала может изменяться в достаточно широком диапазоне. По величине удельного сопротивления в обогащении минералы подразделяются на три группы (Куликов и др., 1985)

- диэлектрики ρ более 10^8 Ом*м
- полупроводники ρ 10^{-7} - 10^8 Ом*м
- проводники ρ менее 10^{-7} Ом*м

К диэлектрикам с очень высоким сопротивлением в основном относятся породообразующие минералы, в том числе, кварц, кальцит, полевые шпаты, а также, алмаз, циркон, шеелит и др. Полупроводники представлены большинством сульфидов, многими окислами и частично карбонатами. В этой группе можно отметить такие минералы, как антимонит, кобальтин, халькозин, вольфрамит, гематит, ильменит, псиломелан и др. Типичным проводником являются металлы: самородное золото, серебро, платина, палладий, медь и др.

В процессе электрической сепарации используется разделение минералов по их удельному сопротивлению. При соприкосновении с электродом проводники легко приобретают одноименный заряд и отталкиваются от него. Диэлектрики, наоборот, не заряжаются и перемещаются в электрическом поле по иной, чем проводники, траектории. Электрическая сепарация применяется при обогащении алмазов, титан-циркониевых, тантал-ниобиевых, олово-вольфрамовых, редкоземельных и др. руд.

Для всех рассмотренных способов переработки минерального сырья можно отметить одну, общую закономерность: **чем больше контрастность физических свойств разделяемых минералов, тем эффективней происходит процесс их обогащения.**

2.6. Природные и технологические типы руд

При изучении месторождений технологические свойства руд оцениваются в результате специальных исследований и геометризируются по данным *геолого-технологического картирования (ГТК)* (Генкин и др., 1986; Коц и др., 1980). С помощью ГТК устанавливаются закономерности пространственного размещения природных и технологических типов руд.

Под **природным типом** понимают руды, сходные по составу, текстурным и структурным особенностям, которые слагают достаточно четко обособленные участки. Природные типы могут разделяться на разновидности по контрастности свойств, минеральным формам, текстурам, структурами, попутным и

вредным компонентам. Природные типы (разновидности) устанавливаются на стадиях оценки и разведки месторождений, при подготовке их к эксплуатации. Они выделяются в контурах подсчитываемых запасов.

Технологические типы руд фиксируются на стадии эксплуатации месторождения и выделяются в контурах отработки. Технологический тип руд объединяет руды с близкими свойствами, что позволяет перерабатывать их по одной схеме. В пределах технологического типа могут выделяться разные *сорта*, например, богатые, рядовые и бедные руды. Они, хотя и перерабатываются по единой (близкой) схеме, но отличаются по показателям обогащения и качеству получаемых концентратов.

Природные и технологические типы часто соответствуют друг другу, но иногда из-за неоднородности свойств природные типы разделяются на два-три технологических типа.

Заключение

В заключении обычно формулируются основные выводы и намечаются пути решения существующих задач. Мы же хотим отойти от этой привычной схемы. Пусть главные выводы и возможные пути решения постараются сделать сами читатели

Если что-то осталось неясным, не поленитесь обратиться к литературе. При желании можно связаться с автором, П.П. Ясковским, который работает на кафедре "Методики поисков и разведки месторождений полезных ископаемых" МГГА или по Email: fersterling@mtu-net.ru.

Л и т е р а т у р а

1. *Абрамов А.А., Леонов С.Б.* Обогащение руд цветных металлов. - М., Недра, 1991. - 407с.
2. *Архипов О.А.* Радиометрическая обогатимость руд при их разведке. - М., Недра, 1985.-144с.
3. *Афанасьева Е.Л., Исаенко М.П.* Технологическая минераграфия- М., Недра, 1988. - 226с.
4. *Генкин Ю.Г., Тянь В.Д., Дробышевский А.М. и др.* Геолого-технологическое картирование руд месторождений цветных металлов. - М., Недра, 1986.- 120с.
5. *Грекулова Л.А., Гусев С.С., Иванков С.И. и др.* Расширение МСБ олова за счет нестандартных типов рудного сырья.// Разв. и охр. недр.2000, №3-4, с. 32-35.
6. *Зернов Л.В., Леринман В.С., Лучин И.А.* Рудничная радиометрия - М., Энергоатомиздат, 1991. - 168с.
7. *Иванов О.П., Кушнаренок Ю.С., Маршукова Н.К.* Технологическая минералогия оловянных руд.- Л., Недра, 1989. - 208с.
8. *Изоитко В.М.* Технологическая минералогия и оценка руд. СПб., Наука, 1997. - 582с.

9. *Кисляков Я.М., Машковцев Г.А., Мизута А.К. и др.* Уран. Справочник - М., Геоинформмарк, 1997 - 70с.
10. *Коц Г.А., Чернопятов С.Ф., Шманенков И.В.* Технологическое опробование и картирование месторождений. - М., Недра, 1980. - 288с.
11. *Куликов Б.Ф., Зуев В.В. и др.* Минералогический справочник технолога-обогапителя. - Л., Недра, 1985. - 264с.
12. *Мамитов В.А., Петров Р.И., Шушания Г.Р. и др.* Добыча урана методом подземного выщелачивания. - М., Атомиздат, 1980. - 248с.
13. *Прибытков П.В.* Классификация промышленных урановых руд по технологическим признакам и оценка влияния текстур и структур руд на процессы переработки. // *Текстуры и структуры уран. руд эндоген. месторождений.* - М., 1977. - с. 176-192.
14. *Шумилин М.В.* Геолого-экономические основы горного бизнеса.// *Минеральное сырье, №3, 1998.* - 168с.