

Научный Совет по методам технологических исследований

Методы обогащения  
Инструкция № 1

Утверждена Управлением  
научно-исследовательских организаций  
Мингео СССР

*Н. П. Лавров*

МАЛООБЪЕМНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОПРОБОВАНИЕ  
И КАРТИРОВАНИЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ  
ПРИ РАЗВЕДКЕ

Выписка из приказа Мингео СССР № 513 от 12 февраля 1976г.  
5. Министерствам и управлениям геологии союзных республик, объединениям, предприятиям союзного подчинения:

обеспечить обязательное применение утвержденных рекомендаций по проведению различных видов технологических исследований;

проводить экспериментальную проверку подготавливаемых Научным советом к внедрению типовых методов технологических исследований.

Размножение методических рекомендаций на местах во избежание возможных искажений разрешается только фотографическим или электрографическим путем.

Всесоюзный научно-исследовательский институт  
минерального сырья (ВИМС)

Москва 1979

В соответствии с приказом Мингео СССР № 513 от 12 февраля 1976 г. инструкция № 1, разработанная Всесоюзным научно-исследовательским институтом минерального сырья/Г.А.Коцом/ совместно с МЕХАНОБОМ /С.Ф.Черноштыковым/, рассмотрена секцией обогащения /протокол № 2 от 1 марта 1978 г./ и рекомендована Бюро Научного совета по методам технологических исследований /протокол № 6 от 21 февраля 1978 г./.

Председатель НСОМТИ	И.В.Шманенков
Председатель секции обогащения	В.А.Мокроусов
Ученый секретарь	Т.М.Анучина

СОДЕРЖАНИЕ

I. Общие сведения . . . . .	4
2. Назначение малообъемного технологического опробования и картирования рудных месторождений . . . . .	8
3. Объекты и условия применения . . . . .	16
4. Аппаратура . . . . .	17
5. Последовательность и основные этапы технологического изучения рудных месторождений на разных стадиях разведки (с включением работ по малообъемному технологическому опробованию и картированию) . . . . .	17
6. Составление групповых проб для технологической оценки руд месторождений полезных ископаемых . . . . .	27
7. Разработка принципиальных схем и оптимальных режимов технологической переработки природных типов руд и подбор стандартных схем для технологической оценки малых проб . . . . .	33
8. Изучение вещественного состава и физико-механических свойств руд на пробах различных видов . . . . .	36
9. Массовая технологическая оценка малых проб . . . . .	38
10. Математическая обработка результатов технологической оценки малых проб . . . . .	39
11. Выявление зависимостей показателей технологической переработки руд месторождений от качества руды . . . . .	41
12. Классификация руд месторождений по обогатимости по данным обработки малых проб . . . . .	43
13. Нанесение на разрезы и планы месторождения контуров залегания различных технологических типов и сортов руд . . . . .	44
14. Организация работ, оформление и использование их результатов . . . . .	45

Инструкция № I рассмотрена в соответствии с приказом Мингео СССР № 513 от 12 февраля 1976г. Научным советом по методам технологических исследований /протокол № 6 от 21 апреля 1978г./ и рекомендована к утверждению и вводу в действие с 1 января 1979 г.

## I. Общие сведения

Технологическую оценку запасов руд производят при поисках, разведке и эксплуатации месторождений полезных ископаемых. Технологические свойства руд изучают на комплексе проб — малых технологических (МТП), минералого-технологических (МГ), типовых и сортовых технологических (ТПП и СТП), которые различаются по целевому назначению, весу и объему исследований. На заключительной стадии детальной разведки технологические свойства руд изучаются в полупромышленных, а иногда и в промышленных условиях.

При разведке крупных удаленных месторождений со сложными, сильно изменчивыми по составу и технологическим свойствам рудами, особенно в случаях быстрого изменения их свойств (окисление, дезинтеграция и др.), при вскрытии рудных тел горными выработками технологические исследования целесообразно проводить в полевых условиях непосредственно на месторождениях, на опытных обогатительных установках и опытных фабриках.

Технологические исследования руд являются частью единого геологоразведочного процесса. Они базируются на данных геологического изучения месторождений, материалах первичной геологической документации разведочных выработок и химического опробования, изучения вещественного состава и физико-механических свойств руд и вмещающих пород.

Важнейшими целями технологических исследований руд при разведке являются:

- а) технологическая оценка запасов руд месторождения, необходимая для подсчета и утверждения их в ГКЗ СССР;
- б) получение необходимых данных для проектирования новых горно-обогатительных комбинатов или расширения действующих предприятий.

При проектировании рудников и обогатительных фабрик первостепенное значение имеет не только детальное изучение технологических свойств руд по представительным пробам и разработка на их основе завершенной технологии обогащения или переработки руд, но и достоверное определение пространственного положения различных типов и сортов руд и их количественного соотношения, характеристика изменчивости состава и обогатимости руд по месторождению в целом, по отдельным рудным телам, участкам, блокам, разведочным пересечениям и горизонтам. Эти сведения необходимы для разработки плана горных работ, обеспечивающего равномерную подачу на технологическую переработку руды постоянного качества по периодам и годам эксплуатации.

Опыт разведки и эксплуатации месторождений показывает, что при существующих высоких требованиях к рациональному комплексному использованию рудного сырья технологическая оценка запасов руд, основанная на отборе и испытаниях только небольшого числа (5-10) "представительных" лабораторных проб, в сочетании с полупромышленными испытаниями недостаточно эффективна, особенно при изучении месторождений с комплексными, труднообогатимыми рудами сложного и изменчивого состава. Это является следствием как малого количества изучаемых технологических проб, так и практического отсутствия возможности обеспечения их полной представительности по всем параметрам, в том числе по химическому составу, минеральному составу, текстурно-структурным особенностям, физико-механическим свойствам и т.д.

Одним из путей для достижения при разведке месторождений необходимой полноты и достоверности изучения технологических свойств руд является дополнение существующей методики технологической оценки запасов комплексом исследований, получившим общее наименование "малообъемное технологическое опробование и картирование". Эта методика

обеспечивает резкое увеличение объема информации о вещественном составе, строении, физико-механических, химико-технологических свойствах и обогатимости руд без существенно-го увеличения затрат на технологическую оценку запасов руд месторождений. Во многих случаях затраты на технологическую оценку даже могут быть уменьшены за счет сокращения исследований непредставительных проб, в том числе, непредставительных проб большого веса.

Значения терминов, принятых в инструкции

Природные типы — основные классификационные подразделения руд месторождений. Они выделяются в зависимости от минерального и химического состава, текстурных и структурных особенностей руд, с учетом возможности их четкого пространственного обособления, обеспечивающего возможность селективной добычи. Вспомогательную роль при выделении типов руд играют окраска, физико-механические и др. свойства. Типы руд выделяются в процессе геологической документации при разведке и опробовании, они должны представлять не менее 1-2% от общего объема руд и характеризоваться достаточной устойчивостью минералогического и химического состава, удельного и объемного веса.

Разновидности (природные) — являются подразделениями типов руд, связанных между собой постепенными переходами и различающихся по каким-либо характерным четко выраженным особенностям или свойствам (минеральным, химическим, текстурно-структурным и др.). Селективная добыча их, как правило, невозможна.

Технологические типы — руды, обогащение или переработку которых производят по различным технологическим схемам, а добычу — раздельно. Подсчет запасов технологических типов руд также производят раздельно. Например, к различным технологическим типам относятся окисленные и сульфидные медные руды Кальмакырского медно-порфирирового месторождения.

На многих месторождениях технологические типы руд соответствуют природным типам. Однако имеются примеры,

когда в пределах одного природного типа руд различают несколько технологических типов.

Технологические сорта руд выделяют в пределах технологических типов. Обогащение или переработку этих сортов производят одинаковыми способами и по одинаковым технологическим схемам, но с получением различных технологических показателей. Технологические сорта, как правило, соответствуют природным разновидностям руд. Подсчет запасов технологических сортов производится статистическим, либо другими способами. При эксплуатации технологические сорта одного и того же типа перерабатывают совместно, но в строго определенных соотношениях.

Технологические пробы подразделяют на виды, в зависимости от характера испытаний и объекта, который они представляют.

По характеру испытаний различают следующие виды технологических проб:

- лабораторные (ЛП)
- укрупненно-лабораторные (для исследований в непрерывном процессе (УЛП))
- полужаводские (промышленные) (ПП)

По представляемому объекту пробы делят на:

- композитные (КП), которые отбирают при детальной разведке ( в контурах карьера, подземного рудника и т.д.), для характеристики месторождения в целом, либо от руды определенного периода эксплуатации. Пробы состоят из смеси технологических сортов руд в заданном соотношении и чаще всего являются полупромышленными или промышленными. Вес 100-500т и более;
- типовые (сортовые) пробы представляют технологические типы или сорта руд; их отбирают преимущественно при детальной разведке. Обычно они являются лабораторными (ЛП, ЛСП) или укрупненно-лабораторными (УЛП). Вес 1-10т;
- минералого-технологические пробы (МП) представляют природные типы (значительно реже разновидности) руд и отбираются преимущественно при предварительной разведке. Вес до 100-300 кг;
- малые технологические пробы (МТП) характеризуют

природные типы (реже разновидностей) руд по отдельным пересечениям рудных тел разведочными выработками. Рудным материалом для них обычно являются групповые разведочные пробы. Вес проб от долей кг до 20-50 кг.

Технологические карты, планы, разрезы - графическое изображение на карте, плане, разрезе в определенном масштабе контуров залегания различных типов и сортов руд, которые отмечаются условными обозначениями (краской, штриховкой, буквенными индексами и др.). Показатели обогащения указываются изолиниями, условными знаками или цифрами.

## 2. Назначение малообъемного технологического опробования и картирования рудных месторождений

В зависимости от поставленных задач малообъемное технологическое опробование (МТО) можно проводить самостоятельно, или в комплексе с технологическим картированием (МТОК).

Малообъемное технологическое опробование (МТО) (изучение технологических свойств руд по малым пробам) осуществляют на всех стадиях геологоразведочного процесса, начиная от поисков до эксплуатационной разведки. Число проб, технологические схемы и режимы для исследования обогатимости, а также перечень параметров вещественного состава и физико-механических свойств руд, подлежащих определению, устанавливают в каждом конкретном случае отдельно.

Основное назначение малообъемного технологического опробования (без картирования) - получение уже на первых этапах изучения месторождений информации об обогатимости, вещественном составе и физико-механических свойствах руд для предварительного выделения природных и технологических типов руд. Малообъемное технологическое опробование также применяют для изучения зависимостей между отдельными параметрами вещественного состава и обогатимостью. Для более четкого выявления этих зависимостей могут быть использованы и рядовые пробы, наиболее ярко характеризующие изменчивость того или иного параметра.

По мере развития методики малообъемного технологического опробования и создания для нее более совершенной аппаратуры можно будет во все большей степени сокращать число проб большого веса, подвергаемых технологическим исследованиям. Однако необходимость в исследовании определенного числа больших проб сохранится при разработке промышленных технологических схем и режимов, испытании оборудования, составлении балансов по распределению всех основных и попутных полезных компонентов и т.д.

На стадии поисков малообъемное технологическое опробование выполняют с использованием схем и режимов, ранее разработанных на рудах аналогичного состава. В дальнейшем, эти схемы и режимы уточняют применительно к конкретным рудам.

Малообъемное технологическое опробование предшествует проведению на месторождениях технологического картирования. В связи с этим одной из его задач является получение объективных данных для:

а) определения оптимальных объемов работ по технологическому картированию (все месторождение подлежит картированию или только его отдельные участки);

б) разработки методики технологического картирования, в том числе соотношения объемов исследования вещественного состава и обогатимости для различных типов руд, выбора моделирующих схем и режимов и т.д.

Малообъемное технологическое опробование и картирование (МТОК) является комплексом исследований по изучению пространственной изменчивости вещественного состава, физико-механических и технологических свойств руд, осуществляемым на достаточном количестве (до нескольких сотен) малых технологических проб, подвергающихся изучению специально для целей технологического картирования. Так как эти исследования проводятся в едином цикле с другими геологоразведочными работами (геологической документацией, химическим опробованием, отбором и испытаниями минералого-технологических, типовых технологических и др. видов проб) и имеют целью подсчет запасов по технологическим сортам руд, то их следует осуществлять по специально разработанным программам и с обязательным соблюдением требований, предъявляемых к технологическому картированию.

Важнейшими являются требования по исследованию достаточного количества представительных проб, объективности технологической оценки руд по малым пробам, сопоставимости технологических показателей по малым и большим пробам, достоверности выявленных зависимостей показателей обогащения от вещественного состава. Так как исследования проводятся по большому количеству проб, то важнейшим требованием также является выполнение работ в оптимальном объеме, не допускающем излишеств и неоправданных сокращений.

Технологическому изучению руд (в т.ч. малообъемному технологическому опробованию) предшествует (часть работ выполняется одновременно) проводимое с начала поисков выделение и изучение природных минералого-петрографических и структурных типов и разновидностей руд, определение их пространственного соотношения и важнейших особенностей вещественного состава и строения руд:

- а) количественного и качественного минерального состава;
- б) химического состава руд и важнейших (в практическом отношении) минералов;
- в) попутных компонентов;
- г) текстур и структур руд и распространенности различных форм нахождения рудных минералов (вкрапленность, прожилки, гнезда и т.д.);
- д) физических свойств руд.

Выделение и минералогическое исследование природных типов и разновидностей руд состоит из нескольких этапов:

- а) параллельно с составлением первичной геологической документации разведочных выработок производят отбор проб, характеризующих руды каждого разведочного пересечения. Образцы должны характеризовать руды по содержанию в них рудных и нерудных минералов, по структурным и текстурным особенностям и др. свойствам;
- б) визуальное разделение отобранного каменного материала по типам и разновидностям руд;
- в) изучение распределения выделенных типов и разновидностей руд по месторождению и оценка их количественных соотношений.

Так как первичная геологическая документация является основной при выделении типов руд, то ее должны составлять высококвалифицированные геологи. При документации необходимо фиксировать тип руды, характер рудовмещающей породы, главные рудные минералы, их количество и характер распределения, структуры и текстуры руд, характер и интенсивность вторичных изменений и др.

Компановку групповых проб производят после выделения типов и разновидностей руд.

От выделенных природных типов (и разновидностей) руд отбирают (составляют из групповых) представительные минералого-технологические пробы для разработки в лабораторных условиях принципиальных схем и режимов обогащения. Схема составления проб для технологического картирования приведена на рис. I.

На отквартованных навесках (вес до 50 кг) подбирают "стандартные" схемы и режимы для обработки малых технологических проб, которые моделируют схемы, разработанные на минералого-технологических пробах. На минералого-технологических пробах разрабатывают стандартные для данного рудного объекта методики изучения вещественного состава и физико-механических свойств (измельчаемость и др.) по малым технологическим пробам. Следует подчеркнуть исключительную важность для технологического картирования разработки моделирующих схем и режимов, учитывающих все основные особенности состава каждого природного типа руд и его изменчивость.

Для обеспечения представительности минералого-технологические пробы необходимо отбирать не только от рудных интервалов со средним для данного типа руд составом, но компоновать из достаточного количества частных (групповых) проб, характеризующих весь диапазон изменчивости состава руд данного типа. В соответствии с этим минералого-технологические пробы для лабораторных технологических исследований необходимо отгружать как в усредненном виде, так и в виде отдельных частных (групповых) проб, представляющих рудные интервалы, различающиеся по вещественному составу. Это дает возможность проверить схему и режим (моде-

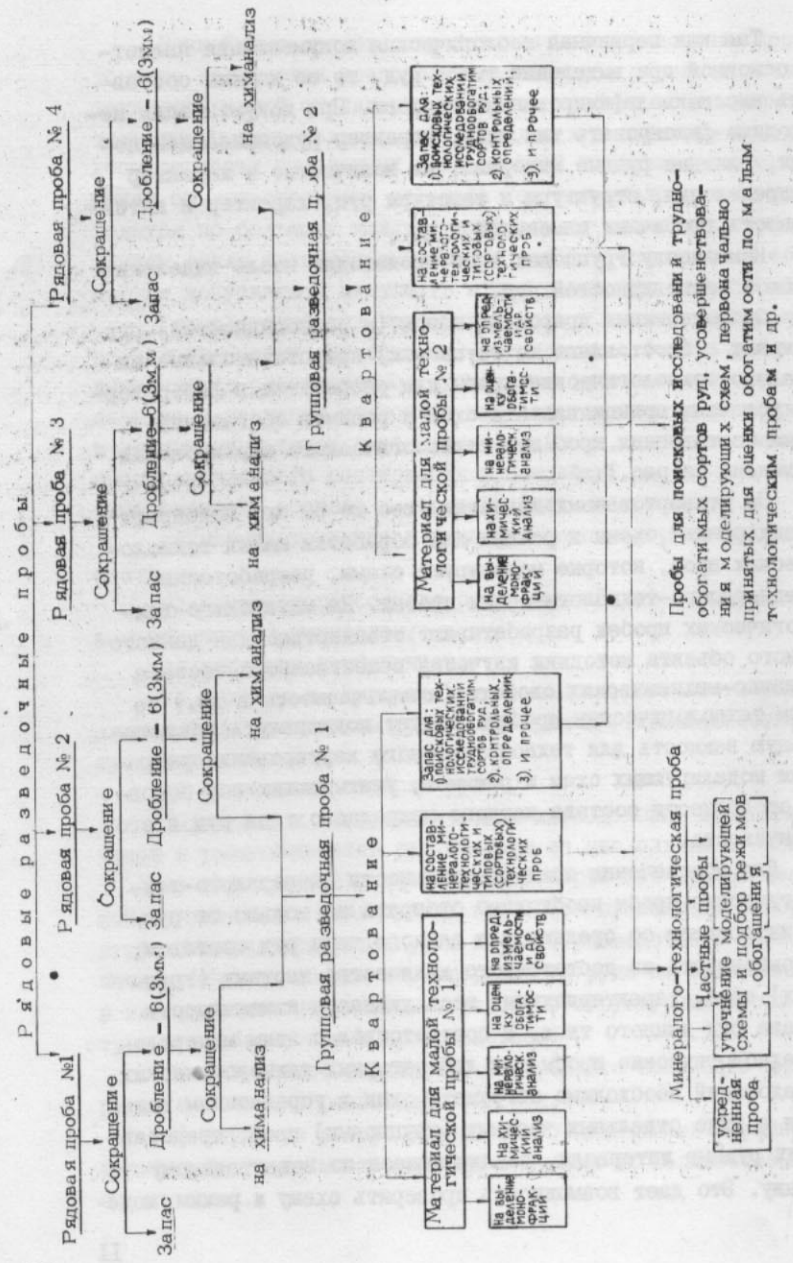


Рис. 1. Приципиальная схема составления проб для целей технологического картирования.

Пробы для поисковых исследований и трудно-обогащаемых сортов руд, усовершенствования и моделирующей схем, первоначально принятых для оценки обогатимости по малым технологическим пробам и др.

лирующие те, что были разработаны на усредненной пробе) на частных пробах, охватывающих весь диапазон колебаний состава руд, вошедших в среднюю пробу. Практически разработанные на усредненной пробе схема и режим должны проверяться не менее, чем на 3-5 частных пробах, на которых уточняют режимы и схемы сепарации, что затем используется при массовой оценке обогатимости малых проб при технологическом картировании. Такая организация работ дает возможность при исследованиях минералого-технологических проб определить возможные пределы колебаний показателей обогащения по малым пробам и корректировать отдельные параметры режима процессов обогащения обрабатываемых малых проб, в зависимости от их состава.

В результате исследований малых технологических и минералого-технологических проб, увязанных с данными геологической документации разведочных выработок, анализами химического состава рядовых и групповых проб, выявляется технологическая неоднородность руд на различных участках и горизонтах месторождений. На основании этого производят выделение и оконтуривание в пространстве технологических типов и сортов руд, составляют технологические карты, планы и разрезы.

Технологические карты, планы и разрезы могут быть использованы для следующих целей:

- а) обоснованного отбора представительных по всем параметрам проб типовых и сортовых лабораторных, укрупненных лабораторных, полупромышленных и промышленных;
- б) подсчета запасов руд по природным типам и технологическим сортам руд;
- в) определения возможного извлечения полезных компонентов по каждому типу и сорту, по периодам эксплуатации, рудным телам, горизонтам и участкам месторождений;
- г) разработки при проектировании ГОКов обоснованных систем стабилизации качества руд при эксплуатации месторождения за счет усреднения руд при добыче, транспортировке, складировании, бункеровании и т.д.;
- д) повышения уровня проектирования ГОКов за счет более полного учета особенностей руд, в том числе, комп-

лекности их состава и более достоверного определения качества рудной массы, которая будет поступать на обогащение по периодам и годам эксплуатации.

Важнейшими условиями, обеспечивающими объективное выделение технологических типов и сортов руд и определение изменчивости их состава и свойств, являются точная пространственная привязка проб к различным участкам рудных залежей и проведение исследований малых проб каждого типа руд по единым, стандартным схемам и методикам.

В зависимости от особенностей вещественного состава и строения руд, стандартные (моделирующие) технологические схемы могут быть весьма разнообразными — от относительно сложных, в значительной степени повторяющихся принципиальные схемы, разработанные на минералого-технологических пробах, до простых. Например, к простым относятся схемы, по которым исследования проводятся в открытом цикле с определением одного или нескольких технологических показателей (содержание полезных компонентов в хвостах, извлечение полезных компонентов в коллективный концентрат и т.д.). Однако во всех случаях необходимо определять переходные коэффициенты, позволяющие расчетным путем перейти от показателей обогащения по малым пробам (полученным по моделирующим схемам) к показателям обогащения, полученным на больших пробах по развернутым схемам (разработанным на пробах МТ, ЛТП, ЛСП и др.).

В качестве основного исходного материала для отбора малых технологических проб используют групповые разведочные пробы, характеризующие отдельные природные типы и разновидности руд на различных участках и горизонтах месторождений. Обычно в групповые пробы входят 5–10 рядовых проб, представляющих рудные интервалы длиною до 10–15 м и более. Опробованию подвергают разведочные выработки, вскрывающие рудную зону на всю ее мощность или на всю ширину промышленного контура. Так как целью технологических исследований по малым пробам является выделение и оконтуривание запасов технологических типов и сортов руд, то при компоновке малых проб необходимо учитывать наличие прослоев пустых пород и некондиционных руд. При этом следует руководствоваться

ся условиями (временными или взятыми по аналогии), в том числе по максимально допустимой мощности безрудных прослоев, а также минимальной мощности рудного тела.

Групповые пробы в большинстве случаев (даже при алмазном керновом бурении) имеют вес, достаточный для проведения всего комплекса исследований по малообъемному технологическому опробованию и картированию.

Так как групповые пробы отбирают для характеристики изменчивости вещественного состава, текстурно-структурных особенностей, физико-механических свойств и обогатимости природных типов руд, то совокупности этих проб должны охватывать весь интервал изменчивости этих свойств по каждому типу руд.

Групповые пробы могут отбираться для характеристики минеральных разновидностей, входящих в состав типов руд, при соблюдении следующих условий:

- разновидности руд обладают четкой минерально-структурной характеристикой, позволяющей визуальным образом выделять их в разведочных выработках;
- запасы руды, представленные минеральной разновидностью, могут быть подсчитаны статистическим или другими способами.

Отбор рядовых проб для малообъемного технологического опробования и картирования допустим только в ограниченных, строго подчиненных количествах и производится для решения отдельных, конкретных задач. Например, для выявления влияния на показатели обогащения различного состава вмещающих пород, степени окисления руд (в узких пределах), определенных структур и текстур руд, наличия некоторых рудных минералов и минеральных ассоциаций и т.д.

Небольшие веса малых технологических проб, их обработка по стандартным схемам и режимам без специального подбора условий обработки каждой пробы, выполнение, в основном, анализов только конечных продуктов обогащения существенно снижают стоимость их технологической оценки по сравнению с исследованиями обычных лабораторных технологических проб по общепринятой методике.

Согласно нормативам времени на лабораторные испыта-

ния обогатимости полезных ископаемых трудоемкость исследования одной типовой лабораторной технологической пробы равноценна трудоемкости испытаний 100–200 малых проб.

Применение малообъемного технологического опробования и картирования особенно целесообразно при разведке месторождений сложных комплексных руд с низким содержанием редких и рассеянных элементов, которые гораздо легче можно обнаружить в продуктах обогащения малых проб, чем в рядовых и групповых химических пробах.

Поэтому малые пробы необходимо в полной мере использовать при опробовании месторождений черных, цветных и редких металлов на рассеянные элементы (германий, селен, теллур, галлий, кадмий, индий, галлий, рений, скандий и др.) и подсчете их запасов. Это определяется одинаковыми требованиями к отбору проб для технологического картирования и проб для опробования месторождений на рассеянные элементы по методике, утвержденной ГКС при Сов.Мине СССР. Для определения содержания рассеянных элементов и характера их распределения необходимо использовать продукты обогащения малых проб. Число отбираемых и исследуемых проб должно быть достаточным для подсчета запасов рассеянных элементов. Совмещение технологического опробования с опробованием на рассеянные элементы ускоряет проведение этих двух видов опробования и сокращает расходы на их выполнение.

### 3. Объекты и условия применения

Настоящая инструкция составлена в основном для использования ее при технологической оценке запасов месторождений черных, цветных и редких металлов, руды которых обрабатываются методами механического обогащения. Однако разработанная методология, с соответствующей конкретизацией, может быть использована и при технологическом изучении руд, подвергаемых химико-технологической переработке (бокситы и др.), а также при изучении других твердых и нерудных ископаемых.

Важнейшим условием для применения малообъемного опробования и картирования является достаточное число и вес имеющихся в наличии групповых проб, допускающие обработку их по рекомендованным стандартным схемам с выполнением всех необходимых анализов.

Ввиду того, что веса групповых проб, в особенности при алмазном бурении скважин малого диаметра, обычно невелики, малообъемное технологическое опробование и картирование в первую очередь применимо для тонко- и мелкокрупчатых руд железа, свинца, цинка, молибдена, меди, никеля, олова, некоторых редких и рассеянных элементов (висмут, германий и др.), для технологической оценки которых в большинстве случаев достаточны веса малых проб от долей кг до 30–50 кг.

### 4. Аппаратура

Аппаратура для малообъемного технологического опробования должна обеспечить обработку проб по рекомендуемым схемам при достаточной производительности и минимальных потерях материала. Выбор аппаратуры зависит от веса обрабатываемых исходных проб и продуктов обогащения, поступающих в отдельные операции. Поскольку веса исходных проб могут колебаться в пределах от долей килограмма до 30–50 кг (чаще всего от долей кг до 5–10 кг), а веса продуктов обогащения – от граммов до 2–3 кг, то при исследованиях можно использовать обычные лабораторные обогатительные аппараты, в том числе малогабаритные приборы МОЛМ и другие, специально приспособленные для обработки малых количеств материала. Техника работы освещена в опубликованных руководствах (С.И. Митрофанов. Исследования руд на обогатимость. ГНТИ литературы по черной и цветной металлургии, 1950; Коц Г.А., Разумная Е.Г. Применение микрообогатительных методов и аппаратуры для минералогических исследований, оценки обогатимости и технологического картирования месторождений. Недра, 1970; Изучение вещественного состава и обогатимости железных руд. Под ред. В.М. Григорьева, Недра, 1976).

### 5. Последовательность и основные этапы технологического изучения рудных месторождений на разных стадиях разведки (с включением работ по малообъемному технологическому опробованию и картированию)

Начало технологических испытаний руд на представительных лабораторных пробах при разведке зависит от степени технологической освоенности минерального сырья. Если тех-

нология обогащения руд и переработки концентратов данного типа минерального сырья промышленностью освоена, то технологические испытания руд могут быть начаты в конце предварительной или в начале детальной разведки. Для месторождений же новых промышленных типов, по которым технология обогащения руд и переработки концентратов промышленностью не освоена, технологические испытания необходимо начинать при поисково-разведочных работах.

Большинство месторождений минерального сырья относится к промежуточным группам, для которых технология обогащения руд или переработки концентратов промышленностью освоена не полностью и требуются значительные дополнительные исследования. Так как важнейшим условием эффективности технологических исследований является проведение их на представительных пробах, а обеспечить объективную возможность для представительного отбора проб по всем параметрам можно только после проведения технологического картирования, осуществленного полностью или в значительном объеме, то для большинства месторождений малообъемное технологическое опробование и картирование целесообразно проводить с начала предварительной разведки. В этом случае обеспечивается не только отбор действительно представительных технологических проб, но остается также достаточно времени для проведения всех технологических испытаний до окончания подсчета запасов.

Технологическую оценку запасов руд, и в том числе малообъемное технологическое опробование и картирование, следует проводить по специально разработанным и утвержденным руководством территориальных геологических управлений программам, составляемым совместно геологами и технологами. В программах по проведению малообъемного технологического опробования и картирования должны рассматриваться следующие вопросы:

- а) цели и сроки проведения работ;
- б) число проб по типам и разновидностям руд и места их отбора;
- в) методика отбора всех видов проб (МТП, МГ, ЛТП и др.);
- г) расчет необходимого веса проб;
- д) схема подготовки проб для технологического картирования;

е) технологические схемы и режимы исследований малых проб;

ж) рекомендуемые исследования химического и минерального состава, а также физико-механических свойств исходных навесок малых проб и продуктов их обогащения;

з) методики изучения вещественного состава и измельчаемости руд по малым пробам;

и) методика обобщения результатов исследований вещественного состава, обогатимости и физико-механических свойств, в том числе подразделения руд на технологические типы и сорта;

к) методика составления технологических карт и разрезов;

л) основные требования к отчету по картированию.

Методика малообъемного технологического опробования и картирования и объемы необходимых исследований в значительной степени зависят от того, на какой стадии изучения месторождений они начали проводиться.

В данной инструкции рассматривается наиболее оптимальный вариант, когда проведение этих работ планируют с начала поисково-разведочных работ.

Поиски (детальные поиски).

На этой стадии отбираются единичные (5-10) малые технологические пробы для общей схематической технологической оценки оруденения на перспективных площадях. Технологические схемы и режимы для испытаний принимают по аналогии со схемами, используемыми на рудах сходных по составу, уточняемыми с учетом особенностей вещественного состава исследуемых проб.

Поисково-разведочные работы

Отбирают небольшое количество (ориентировочно 10-20) малых проб с целью общей предварительной технологической оценки оруденения минерализованных зон, в том числе для предварительного выделения технологических типов по основным рудным телам. Технологические схемы и режимы принимают по аналогии с применяемыми на сходных по вещественному составу месторождениях. На месторождениях руд, технология переработки которых не освоена, в конце поисково-разведочного этапа начинается отбор и испытания минералого-технологических проб.

На стадии предварительной разведки

До отбора технологических проб предварительно выделяют природные типы руд, определяют их пространственное положение и количественные соотношения, а также изучают важнейшие особенности вещественного состава и строения руд. От природных типов отбирают типовые минералого-технологические пробы, компонуемые из групповых проб, пропорционально представляющие все выделенные разновидности руд. На этих пробах, поступающих на исследование как в усредненном виде, так и в виде отдельных частных проб, в лабораторных условиях разрабатывают принципиальные схемы и режимы обогащения природных типов руд и "стандартные" схемы обработки малых проб. На исходных навесках и продуктах обогащения этих проб по стандартным методикам производят изучение вещественного состава и некоторых физико-механических свойств руд (измельчаемость и др.). На основании изучения малых технологических проб выявляют технологическую неоднородность природных типов руд и выделяют сорта руд. При этом необходимо выяснить насколько выделенные природные типы руд соответствуют различным технологическим типам и сортам руд, следует ли отдельные природные типы руд объединить в один технологический тип или, наоборот, разделить на несколько типов и сортов, учитывая технологические показатели обогащения. На заключительном этапе предварительной разведки на основании всех полученных данных составляют технологические карты и разрезы; подсчитывают запасы руд по технологическим типам и сортам.

На смесях групповых проб, представляющих труднообогатимые сорта руд, производят доработку схем и режимов с целью повышения показателей обогащения. Эту работу продолжают при детальной разведке на представительных сортовых лабораторных пробах, составляемых по данным технологических планов и разрезов.

На стадии детальной разведки

В блоках запасов, переводимых в высшие категории (А и В), по результатам исследований малых проб корректируют контуры выделенных технологичес-

ких типов и сортов руд, уточняют их обогатимость, вещественный состав и измельчаемость. МП подвергают обработке по стандартным схемам, разработанным при предварительной разведке и уточняемым при детальной. Детализируют составленные технологические карты и разрезы. По выделенным технологическим типам и сортам руд отбирают лабораторные (ЛП) и укрупненно-лабораторные (УЛП) пробы для разработки схем и режимов их обогащения. Производят отбор и испытания руд в полупромышленном и промышленном масштабах. В некоторых случаях эти испытания должны дополняться исследованиями на опытных обогатительных установках и фабриках непосредственно на месторождениях. При работе опытных установок на месторождениях весьма целесообразно, чтобы весь рудный материал, полученный при проходке разведочных горных выработок, полностью поступил на технологические исследования.

Если малообъемное технологическое опробование и картирование выполняют после окончания предварительной или детальной разведок, а при исследованиях минералого-технологических проб моделирующие схемы и режимы не были разработаны, то это необходимо сделать на вторично отобранных минералого-технологических пробах аналогичного состава. Такое условие обязательно и при технологическом картировании уже эксплуатируемых месторождений, руды которых поступают на обогащение.

Для обеспечения высокой эффективности и экономичности работ при проведении технологического картирования необходимо строгое соблюдение последовательности всех выполняемых исследований, полный учет всех результатов, полученных на предыдущей стадии, при переходе на последующую, исключение исследований неrepresentативных проб (особенно проб большого веса). Если объективными данными на раннем этапе работ доказана нецелесообразность использования большого числа проб и возможность замены их меньшим количеством, либо доказана целесообразность перераспределения объемов изучения вещественного состава и обогатимости руд, то необходимо внести соответствующие коррективы в программу работ последующих этапов.

На рис. 2 приведена принципиальная схема и последовательность работ по технологической оценке запасов руд при разведке с включением работ по малообъемному технологическому опро-

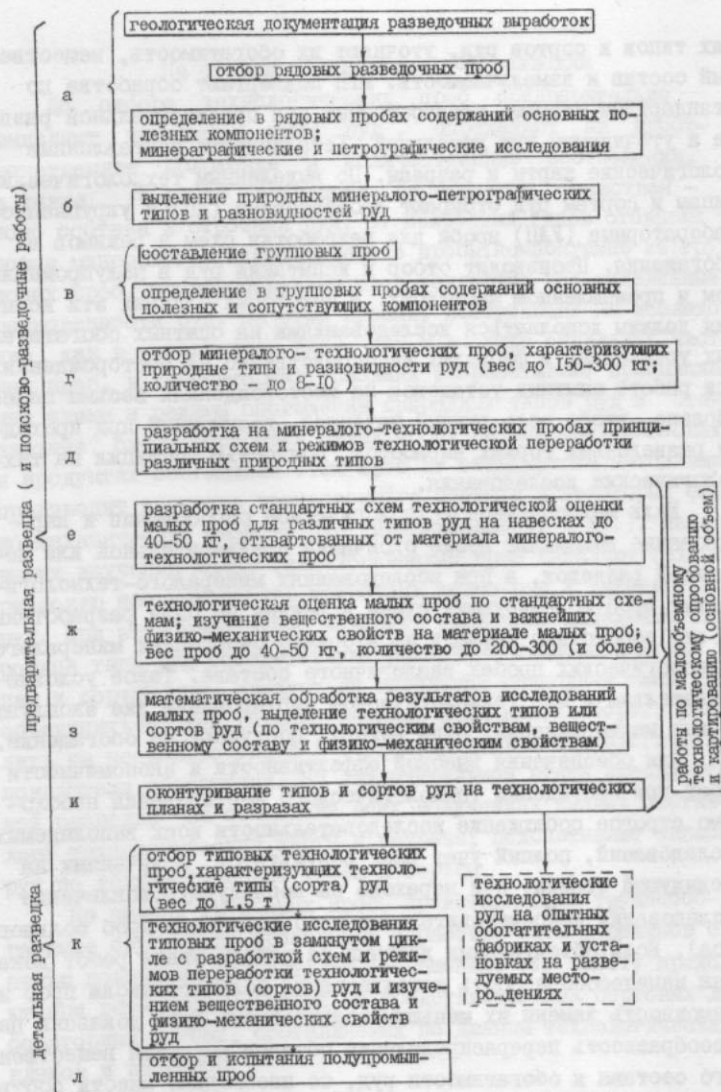


Рис. 2. Принципиальная схема и последовательность работ по технологической оценке запасов руд при разведке (с исключением работ по малообъемному технологическому опробованию и картированию).

быванию и картированию. Из перечисленных II этапов работ (а, б, в, г, д, е, ж, з, и, к, л) только 4 этапа (е, ж, з, и) непосредственно относятся к малообъемному технологическому опробованию и картированию месторождений.

При проведении технологического изучения руд по схеме на рис. 2 рекомендуется:

а) пункты а, б, в, г, е, ж, з, и выполнять силами геологоразведочных партий, экспедиций и центральных лабораторий ТТУ;

б) пункт д - разработку принципиальных схем и режимов по минерало-технологическим пробам - осуществлять силами обогатительных лабораторий ТТУ, в содружестве с научно-исследовательскими институтами Мингео СССР, сочетая эти работы с подбором стандартных схем и методик массовой технологической оценки малых технологических проб, моделирующих схемы, разработанные на типовых пробах большого веса.

в) пункты "к" и "л" - укрупненные лабораторные и полупромышленные испытания, следует осуществлять силами научно-исследовательских организаций системы Мингео СССР или промышленных министерств на стационарных опытных обогатительных фабриках. Отбор проб для укрупненных лабораторных и полупромышленных испытаний осуществляют геологоразведочные организации (ТТУ) по согласованию с научно-исследовательскими институтами, проводящими испытания.

В СССР опытные обогатительные установки и фабрики, работающие на разведываемых месторождениях, применяют очень редко. В каждом отдельном случае целесообразность их работы должна быть тщательно обоснована. Поэтому на рис. 2 исследования на обогатительных установках и фабриках непосредственно на месторождениях обведены пунктирной линией.

Полнота и достоверность технологической оценки запасов руд при разведке в значительной мере зависят от степени изученности вещественного состава, текстурно-структурных особенностей и физико-механических свойств руд.

Между свойствами руд и технологическими показателями обогащения обычно имеются либо функциональные (наблюдаются относительно редко), либо выявляемые статистическим путем, по большей части довольно сложные, зависимости, достоверные

установление которых возможно при достаточно большом числе проб.

Для выявления этих зависимостей необходимо, чтобы основные параметры вещественного состава руд, текстурно-структурные особенности, характер рудной вкрапленности и сростаний рудных и нерудных минералов изучались по пробам с получением количественных характеристик. Обычно для этой цели применяют фазовые химические анализы и проводятся определения по достаточному количеству полированных брикетов и прозрачных шлифов, изготовленных из измельченного до различной крупности материала.

Например, при технологическом картировании одного из месторождений колчеданных свинцово-цинковых руд, по малым пробам, производились следующие определения:

- а) содержание рудных и основных нерудных минералов (без приведения к 100%);
- б) количество рудных минералов в сростаниях между собой и с нерудными минералами, а также количество свободных зерен рудных минералов;
- в) распределение зерен различных рудных минералов по классам крупности +0,1 мм; -0,1+0,05 мм; -0,05+0,02 мм; -0,02 мм;
- г) соотношение между числом зерен сфалерита с эмульсионной вкрапленностью халькопирита и пирротина и числом зерен сфалерита без такой вкрапленности;
- д) распределение свинца и цинка по различным минералам;
- е) оценка структурно-текстурных особенностей.

Основной объем информации при этом был получен при проведении фазового анализа и изучении полированных брикетов и шлифов, изготовленных из измельченного до крупности -0,2 мм материала. Для каждой малой пробы изготавливали по 2 брикета и по 2 шлифа. При отборе малых проб проводили макроскопическое описание интервалов разведочных выработок, из которых составлялись групповые пробы. Отмечали визуально фиксируемые признаки - сплошность руды, минеральный состав, степень окисленности и выщелоченности, наличие сланцеватости, текстурные особенности. Определяли весовые соотношения в пробе макроскопически различных разновидностей руд.

Оценка и прогнозирование обогатимости руд при разведке месторождений, особенно на предварительной стадии, только по данным минералого-петрографического изучения руд, или с резко подчиненным объемом технологических исследований, неэффективны для подавляющего большинства промышленных типов руд по следующим причинам:

- а) очень большой трудоемкости и длительности проведения детальных исследований вещественного состава;
- б) уникального характера руд большинства месторождений, не позволяющего находить полные аналогии по минералого-петрографическим свойствам и обогатимости;
- в) изменчивости технологических свойств одних и тех же минералов, в зависимости от условий их образования, характера минерального комплекса и других их особенностей, трудно выявляемых в процессе минералогических исследований без постановки соответствующих серий технологических опытов;
- г) относительно короткого срока проведения предварительной разведки, при котором надо дать общую оценку месторождения, в том числе и технологическую.

Поэтому только сочетание изучения вещественного состава с достаточным объемом прямых определений опытным путем показателей обогащения, предусматриваемых методикой технологического картирования, является эффективным средством технологической оценки запасов руд при разведке, особенно предварительной.

Соотношение объемов исследований вещественного состава и обогатимости руд, выбор параметров, подлежащих оценке, и методика их определения сугубо индивидуальны для каждого промышленного типа руд. Поэтому и методики малообъемного технологического опробования и картирования, например, для магнетитовых, бурожелезняковых, оловянных, касситеритовых, меднопорфировых (окисленных и сульфидных) будут различаться между собой, сохраняя лишь общие принципы их использования.

При изучении месторождений с рудами сложного минерального состава малообъемное технологическое опробование и картирование необходимо сочетать со специальным детальным изучением вещественного состава, а в некоторых случаях (например, при переменном составе рудных минералов) и с минерало-

Таблица I  
Рекомендуемые определения параметров вещественного состава по рядовым и групповым разведочным, минералого-технологическим, малым и типовым технологическим пробам

№ п/п	Определения	Число определений по группам параметров вещественного состава				
		I группа*		II группа <sup>жжж</sup>		III группа <sup>жжж</sup>
		Рядовые	Групповые	Малые технологические	Минералого-технологические	Типовые технологич.
1	2	3	4	5	6	7
1.	Число пров, подлежащих исследованию	До нескольких тысяч	До тысяч и более	До нескольких сотен	До нескольких десятков	До 5-10
2.	Микроскопическое описание (документация) с предварительным разделением на природные типы и разновидности	+	+			
3.	Определение содержания основных полезных компонентов	+				
4.	Определение содержания основных полезных компонентов и важнейших сопутствующих		+	+		
5.	Полный химический анализ					
6.	Полуколичественный спектральный анализ			+	+	+
7.	Количественный спектральный анализ				+	+
8.	Содержание металлов в различных формах (окисной, сульфидной и т.д.)		+			
9.	Сокращенный фазовый анализ			+		
10.	Полный фазовый анализ				+	+
11.	Сокращенный минералогический анализ (по шлифам, брикетам, шпихам)			+		
12.	Полный минералогический анализ по средним пробам				+	+
13.	Определение размеров вкрапленности и структурно-структурных особенностей руд (сокращенное)			+		
14.	Изучение степени раскрытия рудных зерен при различном измельчении					
15.	Изучение мономинеральных фракций				+	+
16.	Определение измельчаемости руд в стандартных условиях				+	+
17.	Определение абразивности и др. физико-химических свойств				+	+

Применение: \*) производится при химическом опробовании месторождения,

жж) рекомендуемые определения,

жжж) половина или третья часть проб.

гическим картированием, изучением монофракций, воздействием на минералы ультразвука, разного рода излучений, растворителей и т.д.

Ориентировочные объемы работ при технологическом изучении руд (исследования вещественного состава и обогатимости), включая малообъемное технологическое опробование и картирование, указаны в таблице I. Рекомендуемые определения, в том числе размеров рудной вкрапленности, вскрытия рудных зерен при различном измельчении, распределения полезных и вредных компонентов по различным минералам, степени окисленности руд, измельчаемости и др., а также показателей технологической обработки малых проб представляют собой единый комплекс взаимодополняющих друг друга исследований, позволяющий наиболее полно и достоверно выявить корреляционные зависимости технологических показателей обогащения от свойств руд, присущих данному конкретному месторождению.

Объемы исследований, приведенные в таблице I, даны без привязки к определенному типу руд или какому-либо месторождению. Поэтому при составлении программ технологических исследований, в том числе исследований по малообъемному технологическому опробованию и картированию, по каждому месторождению необходимо, исходя из общих методических установок, конкретизировать объемы и характер исследований вещественного состава и обогатимости.

#### 6. Составление групповых проб для технологической оценки руд месторождений полезных ископаемых

Общие принципы группировки проб, указанные в инструкциях ГИЗ СССР, полностью применимы для целей технологического опробования и картирования. Групповые разведочные пробы составляют из рядовых по принципу однородности вещественного состава и принадлежности к одному типу или разновидности руд.

С целью максимального сокращения объема работ, по одним и тем же пробам проводят химическое, технологическое и др. виды опробования, в том числе на рассеянные элементы.

Групповые пробы для малообъемного технологического опробования и картирования отображают по опорным разведочным сечениями (створы скважин, скважины в комбинации с горными выработками, горные выработки).

Длина рудных интервалов, характеризуемых групповыми пробами, определяется следующими требованиями:

- групповая проба должна представлять только один природный тип или одну разновидность руд и отбирается на всю их мощность, вскрытую разведочной выработкой. При этом длина рудного интервала, представленного одной пробой, может достигать 30–50 м (например, для штокерковых медно-молибденовых, колчеданных и др. месторождений);

- при пересечении разведочной выработкой нескольких природных типов руд, перемежающихся между собой, и отсутствии среди них четко выраженных разновидностей целесообразно в одну групповую пробу объединять все однотипные рудные интервалы.

Число малых проб, необходимое для проведения малообъемного технологического опробования и картирования, зависит от многих факторов, важнейшими из которых являются: степень сложности и изменчивости вещественного состава и текстурно-структурных особенностей руд, число выделенных на месторождении природных типов и разновидностей руд, размеры месторождения, число рудных тел, степень детальности разведки и др.

Ввиду сложности отбора проб, трудоемкости и относительно высокой стоимости их исследований необходимо стремиться к сокращению числа проб. Однако при этом нужно учитывать, что достоверность оконтуривания типов и сортов руд, определения их средних характеристик в целом по месторождению, отдельным его участкам, горизонтам и блокам в решающей степени зависит от числа отобранных проб, их представительности и системы размещения по месторождению и рудным телам. Для многих типов руд без исследования достаточного числа проб не могут быть выявлены основные зависимости между вещественным составом и обогатимостью.

Для определения оптимального числа малых проб в каждом конкретном случае производят соответствующие расчеты.

Ниже приводится пример такого расчета.

На месторождении 2-й группы (по классификации ГКС) проведена предварительная разведка трех мощных (мощность каждого до 100–120 м) параллельно залегающих рудных тел. Рудная зона разбурена десятью разведочными профилями через 200 м с расстоянием между скважинами по профилю 120 м. Рудные тела разведаны до глубины 400 м, с подсечениями по вертикали через 100 м (четыре разведочных горизонта). Выделено два природных типа руд. При отборе по всем разведочным пересечениям число проб составит:

$10 \text{ профилей} \times 4 \text{ горизонта} \times 3 \text{ рудных тела} \times 2 \text{ типа руд} = 240 \text{ проб.}$

Однако при окончательном определении числа проб следует учесть, что:

а) вследствие выклинивания некоторых рудных тел выше горизонтов 400 и 300 м, число рудных пересечений будет не 120 ( $10 \times 4 \times 3$ ), а только 108 (коэффициент 0,9);

б) два типа руд одновременно наблюдаются по разведочным пересечениям только в шести случаях из десяти (коэффициент 0,6);

в) по разведочным пересечениям мощность природных типов руд превышает максимальную промышленную мощность в девяти случаях из десяти (коэффициент 0,9).

Количество проб с учетом коэффициентов составит:

$$240 \times 0,9 \times 0,6 \times 0,9 = 115 \text{ проб.}$$

Если при предварительной разведке в ходе технологического картирования были установлены четкие зависимости между вещественным составом руд и обогатимостью, то на стадии детальной разведки отпадает необходимость отбора и испытаний малых технологических проб по всем новым разведочным пересечениям. Целесообразно лишь уточнение неясных вопросов и детализация технологической оценки в блоках запасов, переводимых в категорию А и В. Например, при детальной разведке для целей получения запасов категории В на 3-х верхних горизонтах месторождения (через 50 м по вертикали) проводят подземные разведочные горные выработки. Квершлагги и рассечки задают через 100 м на участке длиной 500 м. При отборе по всем разведочным пересечениям количество проб составит:

5 пересечений x 3 горизонта x 3 рудных тела x 2 типа руд = 90 проб.

С учетом коэффициентов (по аналогии с примером по предварительной разведке) количество проб составит:

$$90 \times 0,6 \times 0,9 = 49 \text{ проб.}$$

Таким образом, общее количество малых проб, отбираемых при предварительной и детальной разведке, будет в рассмотренном примере 164 шт. (115+49). С учетом проб, отбираемых при поисках (5-10) и поисково-разведочных работах (10-20), общее количество малых проб составит 180-190 штук.

Ориентировочное количество проб, необходимое для проведения технологического картирования, можно определить исходя из величины коэффициента вариации, являющегося основным количественным показателем изменчивости свойств руд (таблица 2). Исходя из данных табл. 2, минимум проб, необходимый для надежного определения изменчивости свойств в пределах каждого типа (сорта) руд, составляет: для месторождений с равномерным оруденением ( $V = 5-40$ ) - 12-16, с неравномерным ( $V = 40-100$ ) - 20-25, с весьма и крайне неравномерным ( $V = 100-150$  и выше) - 35-50 проб.

При наличии на месторождении, например, трех типов руд это количество, соответственно, утраивается. Для основной массы месторождений руд цветных металлов, характеризующихся неравномерным и весьма неравномерным оруденением ( $V = 50-150$ ), ориентировочное число проб, необходимых для технологического картирования месторождения средних масштабов, составит примерно 200. С учетом исследования малых проб при поисках, поисково-разведочных работах и при детализации характеристики запасов руд высоких категорий общее число малых технологических проб не превысит 300.

Однако из опыта проведения малообъемного технологического опробования и картирования следует, что число малых проб может быть довольно резко сокращено при систематической обработке получаемых при картировании данных. При обработке данных часто выявляют зависимости между параметрами вещественного состава и обогатимостью, что позволяет либо сократить число намеченных для исследования проб, либо производить отбор проб по более редкой сети.

Таблица 2

Группировка месторождений твердых полезных ископаемых по степени изменчивости содержания полезного компонента (Крейтер В.М. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. Госгеолгиздат, 1961 г.)

Группы месторождений	Характер распределения компонентов, подлежащих определению	Представители месторождений	Коэффициент вариации содержания	Рекомендуемое число проб по каждому типу
1. Равномерный		Простые месторождения углей, горючих сланцев, строительных материалов, флюсов, цементного сырья, серы, каменных и калийных солей, фосфоритов, некоторых железных и марганцевых руд, нередко имеющих $V = 5-10$ ; некоторые более сложные месторождения солей, серы, глин, каолинов, марганцевых руд типа чистурских и никопольских, железных руд типа липецких и тульских, халиловских и алапаевских, криворожских и КМА, а также многие другие месторождения с $V = 10-20\%$ .	5-40	12-16
2. Неравномерный		Месторождения гидротермального и контактового генезиса; преобладающее большинство медных и полиметаллических месторождений; часть месторождений вольфрама, молибдена и сложные железорудные м-ния типа Соколовско-Сарбайского, а также немногие золоторудные месторождения.	40-100	20-25
3. Весьма неравномерный		Большинство жильных месторождений; некоторые полиметаллические м-ния; большинство месторождений олова, вольфрама, молибдена, а также многие м-ния золота.	100-150	35-50
4. Крайне неравномерный		Мелкие или весьма нарушенные месторождения. Многие месторождения редких металлов, золота, платины.	свыше 150	35-50

При наличии экспрессных методов определения технологических параметров и низкой стоимости их (например, магнитные анализы магнетитовых руд) технологическую оценку можно осуществлять по всем групповым пробам.

Целесообразно, чтобы примерно 50% всех исследованных малых проб МПН приходилось на горизонты месторождений, обработка которых будет производиться в первые 7-10 лет эксплуатации.

Минимальный вес малой пробы для технологической оценки определяют в соответствии с правилами сокращения проб по формуле:  $Q = k \cdot d^2$  (при колебаниях "к" для руд разных типов от 0,05 до 0,5), где  $d$  - размер максимальных кусков руды в мм (в данном случае крупность дробления материала, поступающего в обработку);  $Q$  - вес пробы в кг. С учетом необходимости резервирования части (~ 50-75%) каждой пробы для составления усредненных проб по типам и сортам, для параллельных и контрольных опытов (в зависимости от сложности руд по каждой пробе изучаются 1-3 навески), для изучения вещественного состава и измельчаемости, а также в зависимости от особенностей выбранной для оценки обогатимости стандартной схемы веса малых проб сильно колеблются. Например, вес малых проб при технологическом картировании Удоканского медного месторождения составлял около 10 кг, а для полиметаллических медно-свинцово-цинковых руд - 14-20 кг. В среднем ориентировочные веса малых проб для магнетитовых и магнетито-гематитовых железных руд до 3-5 кг, для руд цветных металлов - не менее 7-10 кг, для редкометалльных руд, обогащаемых по комбинированным схемам, - не менее 15-20 кг.

Если групповые пробы имеют недостаточный вес для проведения технологического опробования по принятой моделирующей схеме (включая выполнение необходимых анализов), то ее нужно упростить: ограничить, например, получением только черновых или коллективных концентратов и т.д. Доводочные операции в данном случае осуществляют на смесях концентратов первичного обогащения по выделенным технологическим сортам. Объединение групповых проб допустимо лишь в исключительных случаях и только за счет смешения проб

в пределах одного разреза. Например, в рудном теле большой мощности различные групповые пробы характеризовали один и тот же тип руды в лежачем и вислячем боках и в центральной части рудного тела. После их объединения одна проба будет характеризовать тип руды на всю мощность рудного тела. Объединение групповых проб соседних разведочных профилей не рекомендуется, т.к. объединенная проба в этом случае будет являться усредненной минералого-технологической, представляющей определенный участок рудного тела.

Пробы для технологического опробования и картирования необходимо хранить в крупнозернистом виде: крупность < 6(3) мм; [80% > 0,074 мм]. Для этого следует обеспечить сохранность в нужной крупности остатков от сокращения при отборе на химанализ рядовых проб с тем, чтобы из них можно было составить групповые пробы. Использование для этих целей тонкоизмельченных дубликатов групповых проб допустимо лишь в исключительных случаях, когда невозможно заново отобрать пробу. При длительном хранении измельченные пробы сульфидных, особенно коллоидных колчедановых руд сильно окисляются, что отрицательно сказывается на их флотационных свойствах. Поэтому срок хранения таких проб должен быть минимальным, определенным для каждого типа руд экспериментально.

#### 7. Разработка принципиальных схем и оптимальных режимов технологической переработки природных типов руд и подбор стандартных схем для технологической оценки малых проб

На стадии предварительной разведки принципиальные схемы и оптимальные режимы разрабатываются на минералого-технологических пробах общепринятыми в лабораторной обогатительной практике методами, со сравнением различных вариантов схем и режимов и выбором наиболее эффективных и экономичных.

Для обеспечения необходимой степени сходимости показателей обогащения по минералого-технологическим и малым пробам нужна тщательная разработка моделирующих схем и режимов на усредненной и частных пробах (из которых составлена усредненная проба), с учетом колебаний вещественного

состава и физико-механических свойств руд в пределах одного природного типа. При этом для каждого типа руд в зависимости от колебаний вещественного состава должны быть определены допустимые отклонения в расходе реагентов, времени флотации и др. Для этих целей необходима отгрузка в лаборатории, производящие оценку обогатимости минералого-технологических проб, не только усредненной пробы, но и не менее 3-5 частных проб, из которых она составлялась.

В целях контроля воспроизводимости показателей обогащения по малым пробам, целесообразно проведение технологического картирования с охватом всех групповых проб, из которых составляли минералого-технологические пробы.

Как правило, размер допустимых отклонений в расходе реагентов от средних значений не должен превышать  $\pm 10-20\%$  относ. Однако при технологических испытаниях смешанных и окисленных руд отклонения в расходе сульфидизатора могут быть и значительно большими. Степень сходимости показателей обогащения по минералого-технологической и по каждой отдельной малой (групповой) пробе зависит от степени сходимости их вещественного состава и физико-механических свойств. Показатели обогащения, рассчитанные по совокупности малых проб, являются более представительными и достоверными, чем показатели по минералого-технологической пробе. Если показатели обогащения по совокупности малых и минералого-технологической пробе (с учетом частных проб) различаются более, чем на 20-25% относ., то это указывает на несовершенство моделирующей схемы, либо на непредставительность минералого-технологической пробы. Однако такой вывод можно делать только после исследований достаточно представительной совокупности малых проб (не менее 20-30 проб).

Для руд многих типов показатели обогащения зависят не от одного параметра вещественного состава, например, содержания полезного компонента, а от нескольких. Например, для смешанных и сульфидных руд медистых песчаников выявлена зависимость между показателями обогащения и комплексным коэффициентом, учитывающим одновременно содержание меди и степень окисленности руды (величина отношения содержаний меди окисленной и меди общей в долях единицы). Поэтому для таких руд сте-

пень сходимости показателей обогащения по минералого-технологической и малым пробам должна определяться с учетом комплексных коэффициентов. Нахождение таких коэффициентов способствует сокращению объемов исследований при технологическом картировании.

При подборе моделирующих схем, для достижения наилучшей сходимости данных обработки большой минералого-технологической пробы и отквартованной от нее малой пробы, в операциях выделения конечных продуктов обогащения из малой пробы нужно придерживаться принципа дробного фракционирования материала за счет многократных пересчетов продуктов при постепенном изменении условий процесса обогащения (напряженность магнитного поля, время флотации и т.п.) с конечным выделением концентратов и хвостов, по возможности наилучшего качества, и нескольких промпродуктов. Продукты опыта просматривают под биноклем, либо подвергают более детальному анализу, а затем группируют в конечные продукты, аналогичные по выходу и качеству с полученными при обработке большой пробы. Таким образом, за счет сокращения или увеличения числа пересчетных операций подбирают схему обработки малой пробы, обеспечивающую наилучшее совпадение результатов ее обогащения с данными укрупненного опыта, которая в дальнейшем принимается для массовой технологической оценки малых технологических проб как стандартная.

Разработка технологических схем обработки малых проб должна учитывать практическую возможность их осуществления на материале групповых проб. Поэтому для полиметаллических и других многометалльных руд в основу массовой оценки обогатимости, как правило, должна быть положена лишь основная часть схем, например, получение коллективных концентратов. Об обогатимости руд в этом случае судят по содержанию металлов в отвальных хвостах и извлечению металлов в коллективные концентраты. Опыт обогащения по полной схеме, например, с получением селективных концентратов, следует планировать лишь как контрольные.

В разрабатываемых схемах для массовой обработки малых проб должно быть предусмотрено выделение обогащенных и, по возможности, мономинеральных фракций для минералогичес-

кого и химического изучения и проведения детальных исследований вещественного состава. Для этого, после определения выхода продуктов обогащения и отбора от них проб на необходимые химические или физические анализы, 1/4 - 1/8 каждого продукта должна подвергаться дальнейшему разделению общепринятыми при минералогических исследованиях методиками для выделения монофракций. Число и виды технологических проб, по которым необходимо выделять монофракции, должны быть предусмотрены программой работ.

#### 8. Изучение вещественного состава и физико-механических свойств руд на пробах различных видов

При разведке по всем рядовым пробам производят определение содержаний основных полезных компонентов. По результатам этих анализов и геологической документации осуществляют подразделение запасов руд на типы с различным соотношением в них полезных компонентов (например, свинцово-цинковые, медно-цинковые и т.п.).

Более детальное изучение состава руд производят по групповым разведочным и технологическим пробам. Параметры вещественного состава руд, изучаемые по всем видам проб, подразделяют на три группы: I, II, III (табл. I).

Параметры I группы предназначены для подразделения руд на природные минералогическо-петрографические типы и разновидности. Они определяются по рядовым и групповым разведочным пробам. К ним относятся: содержания основных полезных и важнейших попутных компонентов, содержания основных металлов в различной минеральной форме (например, сульфидной, окисленной, олова в форме станнина и касситерита, железа в форме магнетита и др.).

В соответствии с инструкциями ГКЗ, в настоящее время при разведке многие из этих параметров определяют почти в достаточном объеме, кроме анализов на распределение основных полезных компонентов по минеральным формам.

Параметры II группы определяют на исходном материале малых технологических проб и они служат для подробной характеристики типов руд, но, главным образом, для выявления корреляционных зависимостей между вещественным составом

и показателями обогащения. Это обеспечивает возможность выделения и оконтуривания технологических типов и сортов руд с учетом всех групповых разведочных проб, а не только части их, по которым произведены технологические исследования.

К параметрам II группы относятся содержания рудных и нерудных минералов (определяются по данным сокращенного минералогического анализа), содержания полезных компонентов в различных минеральных формах (результаты сокращенного фазового анализа), крупность рудной вкрапленности и текстурно-структурная характеристика, раскрываемость рудных зерен при заданном измельчении, содержание в руде различных, в том числе попутных компонентов (данные полуколичественного спектрального анализа), характеристика вмещающих пород.

По малым технологическим пробам производят определение измельчаемости руд в стандартных условиях, а также других свойств в зависимости от особенностей руды (например, шламистость, глинистость и др.).

Параметры III группы определяют по минералогическим типовым и сортовым (лабораторным и укрупненным) пробам. Они служат для детальной характеристики руд, уточнения корреляционных зависимостей между составом руды и показателями обогащения. Параметры III группы аналогичны параметрам II группы, но их определяют с наибольшей полнотой и точностью путем проведения полных анализов: минералогического, химического, спектрального и фазового; изучения мономинеральных фракций и степеней раскрытия рудных зерен при различном измельчении. По этим же пробам детально изучают измельчаемость и некоторые другие физико-механические свойства руд (крепость, удельная работа дробления и др.).

Ориентировочное соотношение между количеством проб по которым следует проводить определения параметров I (только по групповым разведочным), II и III групп, целесообразно принять в среднем (без привязки к какому-либо типу руд или месторождению), как 100:25:1.

Для месторождений различных типов руд как перечень параметров, так и объемы их исследований, существенно различны. В процессе изучения вещественного состава проб при

технологическом картировании параметры, наиболее изменчивые и оказывающие наибольшее влияние на обогатимость, должны изучаться на наибольшем числе проб.

#### 9. Массовая технологическая оценка малых проб

Массовую технологическую обработку малых проб следует проводить при заданном постоянстве схемы и режима, установленных при разработке моделирующей схемы руд данного типа, но с учетом необходимой корректировки отдельных факторов режима обогащения, в зависимости от колебаний вещественного состава руды (например, время флотации, расход реагентов), выявляемой при обработке по моделирующей схеме частных проб, составляющих усредненную минералогическую пробу.

Для анализа исходных проб и продуктов обогащения желательнее привлечение наиболее простых и дешевых методов физического и химического анализов, требующих минимальных навесок (количественный спектральный и рентгенометрический анализы, магнитометрия, фазовый, химический и др.). Анализам на основные полезные компоненты подвергают исходные пробы и конечные концентраты обработки малых проб, а в многостадийных схемах с получением концентратов разных сортов — также и промежуточные концентраты различных стадий обработки — для возможности расчета баланса распределения полезных компонентов. При исследовании руд, содержащих ценные элементы-спутники, необходимо производить вначале полуколичественные спектральные анализы концентратов на содержание этих элементов, а в случае установления повышенных концентраций — количественные их определения.

В тех случаях, когда качество получаемых концентратов определяется не только содержаниями полезных компонентов, но и некоторыми вредными и полезными примесями (например, P, S, CaO, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> в железных рудах), производят анализы концентратов также и на содержание этих примесей.

Все опыты по массовой обработке малых технологических проб следует тщательно документировать с фиксацией схемы, режимов обработки, выходов продуктов обогащения и результатов анализов.

При отборе проб на анализ от промежуточных продуктов обогащения, которые подвергаются дальнейшей обработке по схеме, нужно учитывать веса отобранных проб для последующего подсчета баланса опыта.

#### 10. Математическая обработка результатов технологической оценки малых проб

Результаты обогащения каждой малой пробы сводят в стандартные таблицы, в которых с использованием обычных при обогатительных расчетах формул подводят балансы распределения полезного компонента в продуктах обогащения и подсчитывают проценты извлечения последнего в концентрат. При неувязках в балансе необходимо повторить анализы продуктов, либо провести контрольные опыты на хранимых остатках групповой пробы.

После подсчета результатов обогащения каждой отдельной малой пробы по приводимым ниже формулам производят определение средневзвешенных по длинам интервалов проб показателей обогащения для каждого технологического сорта, участка, горизонта и всего месторождения в целом, а также по тем его участкам, от которых отбирались укрупненные лабораторные или полупромышленные пробы с целью сопоставления среднерасчетных данных обогащения малых проб с данными укрупненных испытаний.

Подсчет средневзвешенных (средне-расчетных) показателей обогащения малых проб производят по длинам рудных интервалов, представляемых каждой пробой. Средневзвешенное содержание полезного компонента в смеси проб рассчитывают по формуле:

$$\alpha_{cp} = \frac{H_1 \alpha_1 + H_2 \alpha_2 + \dots + H_n \alpha_n}{\sum H} ; \quad (1)$$

средний выход концентрата по формуле:

$$\gamma_{cp} = \frac{H_1 \gamma_1 + H_2 \gamma_2 + \dots + H_n \gamma_n}{\sum H} ; \quad (2)$$

Среднее содержание полезного компонента в концентрате по формуле:

$$\epsilon_{\text{ср}} = \frac{N_1 \gamma_1 \epsilon_1 + N_2 \gamma_2 \epsilon_2 + \dots + N_n \gamma_n \epsilon_n}{\sum N \gamma}; \quad (3)$$

Среднее извлечение по формуле:

$$\epsilon_{\text{ср}} = \frac{\gamma_{\text{ср}} \cdot \epsilon_{\text{ср}} \cdot 100}{\alpha_{\text{ср}}}, \quad \%, \quad (4)$$

где:  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_n$  - содержания полезных компонентов в отдельных пробах, %;

$\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_n$  - содержания полезных компонентов в концентратах отдельных проб, %;

$\gamma_1, \gamma_2, \gamma_n$  - выходы концентратов, %;

$N_1, N_2, N_3$  - длины рудных интервалов, представляемых отдельными пробами (в % или в долях единицы от суммарной длины рудных интервалов, представляемых всеми пробами, учитываемыми в расчетах).

Среднерасчетные показатели обогащения малых проб сопоставляют с данными опытов укрупненного лабораторного или полупромышленного обогащения проб руды соответствующих участков месторождения. Расхождения в показателях выходов концентратов, содержания и извлечения полезных компонентов ( $\epsilon_{\text{укр.}}$ ) вычисляют в % абсолютных и относительных, причем за 100% принимают данные укрупненных испытаний.

Например, 
$$\epsilon_{\text{укр.}} = \frac{\gamma_{\text{мал.}} - \gamma_{\text{укр.}}}{\gamma_{\text{укр.}}} \cdot 100\%$$

Близкое совпадение средних показателей обогащения малых технологических и больших типовых проб свидетельствует о правильности принятой методики оценки обогатимости проб.

При систематических расхождениях в показателях обработки малых и больших проб средние величины этих расхожде-

ний по значительному количеству проб могут рассматриваться как поправочные коэффициенты для пересчета данных обогащения малых проб на результаты обогащения больших проб. Например, средний коэффициент превышения выходов концентрата данного сорта при обработке малых проб над результатами укрупненного опыта обогащения руд с данного участка составляет  $K = \frac{\gamma_{\text{мал.}}}{\gamma_{\text{укр.}}} = 1,3$ . Следовательно, для

вычисления возможных показателей укрупненного опыта обогащения руды в различных точках участков нужно показатели выходов концентратов из каждой отдельной групповой пробы разделить на коэффициент 1,3.

Подобная методика выведения поправочных коэффициентов для пересчета показателей обогащения одной и той же руды по разным схемам может быть использована и при математической обработке результатов обогащения малых проб.

Например, все малые пробы маргит-магнетитовой руды были обработаны по схеме с сепарацией только в слабом магнитном поле, а часть проб по той же схеме, но с перечисткой хвостов сепарации в сильном магнитном поле. Перечистка во всех опытах дала прирост выходов концентратов на 20%.

$$K_{\gamma} = \frac{\gamma \pm \Delta \gamma}{\gamma} = 1,2$$

при некотором снижении качества концентратов:

$$K_{\epsilon} = \frac{\epsilon \pm \Delta \epsilon}{\epsilon} = 0,8.$$

Умножением показателей обогащения проб, которые не подвергались сепарации в сильном поле, на средние поправочные коэффициенты  $K_{\gamma}$  и  $K_{\epsilon}$  можно в данном случае определить возможные показатели обработки этих проб по последней схеме, без проведения соответствующих экспериментов.

## II. Выявление зависимостей показателей технологической переработки руд месторождения от качества руды

Результаты технологической обработки большого количества малых проб по одинаковым схемам дают обширную информацию об изменчивости технологических свойств руд мес-

торожения, что может быть использовано для установления усредненных зависимостей показателей обогащения от содержания полезного компонента в исходной руде (по различным минералогическим-петрографическим разновидностям). Эти зависимости могут быть оформлены в виде таблиц или графиков.

Для установления зависимости показателей обогащения от основных параметров минерального состава обогащаемых руд следует использовать методы множественного корреляционного анализа и сопоставить показатели обогащения значительного количества малых проб разных типов с данными изучения химического и фазового состава, окисленности, наличия вредных и полезных примесей, величин вкрапленности полезных компонентов и др. параметров вещественного состава. Полученные уравнения множественной регрессии позволяют вычислять ожидаемые показатели обогащения (выход концентрата, содержание и извлечение в концентрат полезного компонента) по основным параметрам вещественного состава руды.

Уравнение множественной регрессии обычно имеет следующий вид:  $y = a_0 \pm a_1 x_1 + a_2 x_2 \pm \dots a_n x_n$ , (5)

где  $y$  - изучаемый технологический параметр (выход концентрата, содержание в концентрате или извлечение в него полезного компонента).

$x_1, x_2, x_n$  - коррелирующие компоненты (содержание в исходной руде полезных примесей, вкрапленность рудных и породных минералов и т.д.).

$a_0, a_1, a_2, a_n$  - коэффициенты, учитывающие влияние каждого из параметров вещественного состава на изменение величины искомого показателя "y".

С помощью вычислительной машины производят расчет значений парных коэффициентов корреляции между всеми компонентами /  $r$  /, множественных коэффициентов корреляции каждого компонента со всеми остальными /  $R$  /, коэффициентов уравнения регрессии /  $a_0, a_1, \dots, a_n$  / и выявляют параметры вещественного состава, существенно влияющие на величину искомого показателя обогащения.

По выведенному уравнению регрессии производят расчет ожидаемых показателей обогащения по каждому опыту, которые сопоставляют с экспериментальными данными. Определяют аб-

солютные отклонения, средне-арифметические /  $\bar{x}$  / и средне-квадратичные отклонения /  $\sigma_{\bar{x}}$  / расчетных данных от экспериментальных по всей совокупности опытов, на основании чего выявляют точность расчетов по данному уравнению.

Описанная методика может быть успешно применена уже на самых первых этапах технологического опробования с тем, чтобы на последующих этапах освоения и эксплуатации месторождений сократить объемы экспериментальных работ как по картированию, так и по дальнейшему изучению обогатимости, заменив их расчетными определениями ожидаемых показателей обогащения по основным параметрам вещественного состава.

## 12. Классификация руд месторождений по обогатимости по данным обработки малых проб

После математической обработки результатов обогащения малых технологических проб месторождения и анализа полученных результатов намечают шкалу для классификации руд по обогатимости.

В тех случаях, когда существуют официально утвержденные технологические условия на концентраты обогащения разных сортов (например, для никопольских марганцевых руд: концентрат сорта А должен содержать  $Mn > 47,0\%$  при содержании фосфора  $< 0,2\%$ ; концентрат I-го сорта должен содержать  $Mn > 43\%$  и т.д.), эти технические условия принимают за основу при технологическом картировании.

Это означает, что на планах и разрезах месторождения или на кальках, которые на них накладывают, должны быть показаны соответствующими условными обозначениями участки рудной залежи, отличающиеся по выходу концентратов данного промышленного сорта, который может быть получен при переработке руды по принятой схеме. Если концентратов выделяется несколько, то для каждого из них составляется отдельная технологическая карта.

В случаях, когда для перерабатываемых руд не существует твердо установленных кондиций на концентраты различных сортов, либо существуют кондиции только на один сорт, для технологической классификации руд месторождения при

картировании применяют условные шкалы, позволяющие разбить руды месторождения на различные технологические сорта по показателям содержаний и извлечений полезных компонентов в концентрат. В качестве основного параметра, по которому производят разбивку руд на различные технологические сорта, в пределах каждого минералогического типа принимают показатель, варьирующий в наиболее широких пределах. Наиболее предпочтительным параметром является извлечение металла в концентрат.

Условную разбивку руд месторождения на технологические сорта по указанным шкалам производят для определения ожидаемых показателей обогащения при раздельной и валовой добыче и обогащении руды смежных блоков, а также для определения соотношений трудно-, средне- и легкообогащаемых руд на любом участке и по месторождению в целом.

### 13. Нанесение на разрезы и планы месторождения контуров залегания различных технологических типов и сортов руд

Оконтуривание технологических типов и сортов руд на планах и разрезах производят принятыми в геологической практике методами с использованием интер- и экстраполяции.

Если технологические типы и сорта руд выделяются только по отдельным разведочным выработкам и не увязываются с данными, полученными со смежных выработок, то производят статистический подсчет запасов с условным оконтуриванием типов и сортов руд.

Нанесение показателей обогащения на разрезы и планы месторождения осуществляют посредством масштабного изображения на последних групповых проб отрезками линий, возле которых дробью указывают показатели обогащения каждой пробы (первая цифра в числителе - выход концентрата, в %; вторая цифра - содержание в нем полезного компонента, в %; цифра в знаменателе - извлечение в концентрат, в %). Отрезки линий, изображающие групповые пробы, отнесенные к одному технологическому сорту, соединяются линиями, оконтуривающими блоки руд данного технологического сорта, обозначаемые соответствующими условными знаками, или видами штриховок.

Если разведка месторождения осуществлялась с помощью вертикальных или наклонных буровых скважин, основой технологического картирования являются разрезы месторождения, на которые наносятся показатели обогащения руд разных технологических сортов, а оконтуривание этих сортов в плане осуществляют посредством интерполяции данных картирования разрезов месторождения на пространство между последними. Для вертикально и наклонно залегающих рудных тел показатели обогащения по каждому технологическому сорту между параллельными сечениями определяют как средневзвешенные по длинам рудных интервалов, а для фланговых блоков посредством экстраполяции показателей, характеризующих обогатимость крайних сечений месторождения.

Если групповые пробы отбирались из расщепов в горизонтальных разведочных выработках, то технологические планы составляют непосредственно по данным оценки обогатимости этих проб.

Для рудных тел, залегающих на разных горизонтах, составляют погоризонтные технологические планы.

При технологическом картировании целесообразно совмещать нанесение на разрезы и планы границ различных природных типов руд (отмечаемых разными видами штриховки) с контурами различных по качеству получаемого концентрата или по извлечению полезного компонента технологических сортов в пределах каждого типа (отмечаемых на карте разными цветами). Классификация руд по извлечениям полезного минерала в концентрат в этом случае может быть показана сплошными и пунктирными контурами разных цветов.

Если осуществляют картирование месторождения комплексных руд, то показатели обогащения и технологические сорта для каждого полезного компонента наносятся на разрезы и планы раздельно.

### 14. Организация работ, оформление и использование их результатов

Работы по технологическому опробованию и картированию на стадиях предварительной и детальной разведок осуществляют экспедиции и центральные лаборатории территори-

альных геологических управлений в содружестве с институтами системы Мингео СССР, МЧМ СССР и ИЦМ СССР, а на стадии эксплуатационной разведки — геологические организации ИЦМ СССР и МЧМ СССР совместно с соответствующими промышленными предприятиями, либо по договорам с ЦИ ТТУ Мингео СССР.

Для осуществления указанных работ нужно предусмотреть:

а) сохранность остатков сокращения керновых и других разведочных проб в крупности не менее 100% — 6 (3) мм после отбора проб на химанализ;

б) соответствующие ассигнования и штаты в программах и сметах партий и экспедиций.

Материалы по технологическому опробованию и картированию оформляются одновременно с материалами по подсчету запасов в общем отчете о результатах геологоразведочных работ. Подсчет запасов руд по сортам целесообразно совмещать с подсчетом запасов рассеянных элементов (германий, селен, теллур, таллий, кадмий, индий, галлий, рений, скандий), используя одну и ту же графику и другие материалы.

При составлении объяснительной записки к подсчету запасов технологических сортов руд рекомендуется пользоваться следующей принципиальной схемой.

1. Введение.
2. Методика проведения технологического изучения запасов руд и в том числе малообъемного технологического опробования и картирования.
3. Условия залегания, распространение, пространственное распределение типов и сортов руд.
4. Минеральный, химический состав и физико-механические свойства руд по типам и сортам и их изменчивость.
5. Обогащаемость руд.
  - а) результаты разработки схем обогащения основных технологических типов руд и схем, их моделирующих;
  - б) обогащаемость руд по типам и сортам. Ее изменчивость, сопоставление средневзвешанных по длинам рудных интервалов показателей обогащения малых проб с

данными обогащения минералого-технологических, типовых и сортовых лабораторных проб.

6. Зависимость показателей обогащения от вещественного состава и физико-механических свойств руды.
7. Методики составления технологических планов и разрезов и подсчета запасов по типам и сортам руд.
8. Подсчет запасов по типам и сортам руд.
9. Заключение.

#### Приложения к отчету

1. Журналы опробования.
2. Таблицы содержания основных и попутных компонентов по исходной руде и продуктам обогащения.
3. Таблицы содержания по пробам рудных и нерудных минералов, размеров выделений рудных минералов, текстурно-структурная характеристика.
4. Таблицы показателей обогащения.
5. Таблицы определения физико-механических свойств.
6. Таблицы определения **измельчаемости**.
7. Таблицы вывода средних показателей по сортам, горизонтам, блокам подсчета запасов.

#### Графические приложения

1. Технологические планы и разрезы.
2. Схемы обработки проб.

Материалы по технологическому изучению руд, в том числе по малообъемному технологическому опробованию и картированию используются:

- а) при общей оценке запасов месторождений;
- б) при составлении кондиций на минеральное сырье, а также при разработке ТЭО и ТЭДов;
- в) при обосновании целесообразности проведения детальной разведки;
- г) при проектировании и эксплуатации горнообогатительных комбинатов.