

## **МЕТОДИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО** **по проведению технологических исследований на месторождениях** **благородных металлов в процессе геологоразведочных работ**

- I. Общие положения
- II. Основные задачи технологических исследований
- III. Порядок и методика проведения технологических исследований
- IV. Технологические исследования на разных стадиях геологоразведочных работ.

Настоящее методическое руководство определяет основные требования к методике технологических исследований при изучении месторождений благородных металлов.

При составлении Методического руководства использованы требования нормативно-методических документов к технологической изученности месторождений благородных металлов, а также данные по технологическим исследованиям, имеющиеся в специальной и периодической литературе. В методическом руководстве применяются следующие основные понятия:

**благородные металлы** – группа металлов, включающая в основном золото и серебро;

**руда** – минеральное образование, из которого технологически возможно и экономически целесообразно извлекать валовым способом полезные металлы и минералы;

**качество руды** – совокупность свойств, охватывающих её химический и минеральный состав, текстурно-структурные, физико-механические особенности и технологические свойства;

**природный (геологический) тип руды** – руда, обладающая относительно устойчивым минеральным составом, определенными текстурно-структурными особенностями и физическими свойствами. Руды природных типов занимают часть объёма рудных тел или полностью слагают самостоятельные рудные тела;

**промышленный (технологический) тип руды** – руда, принципиально отличающаяся от других руд вещественным составом, параметрами качества и схемой переработки, соответствует одному природному типу руды или их совокупности, близким по технологическим свойствам. Технологические типы руды подразделяются на сорта;

**технологический сорт руды** – руда, имеющая общую для данного технологического типа схему переработки, но отличающаяся различным содержанием полезных компонентов, крепостью и прочими свойствами, а также технологическими показателями.

Добыча и переработка различных технологических сортов руды в зависимости от их количества и взаиморасположения производится отдельно или совместно в определенных оптимальных соотношениях (шихтовка);

**технологические свойства руды** – совокупность признаков характеризующих её дробимость, измельчаемость, раскрываемость минеральных ассоциаций, эффективность разделения минеральных комплексов и отдельных минералов на концентраты для специальных видов переработки с извлечением полезных компонентов;

**обогащение руды** – совокупность процессов первичной обработки руды, имеющие своей целью отделение ценных минералов от пустой породы, а также взаимное их разделение;

**обогащаемость** – способность руды к разделению на соответствующие продукты при обогащении; характеризуется тремя основными показателями: коэффициент извлечения полезного компонента из руд, содержание полезного компонента в концентрате и получаемый объем концентрата при обогащении руды;

**концентрат** – продукт обогащения руды, в котором содержание и минеральный состав одного или нескольких полезных компонентов отвечает требованиям дальнейшей металлургической или иной переработки с целью извлечения этих компонентов;

**черновой концентрат** – промежуточный продукт обогащения руды, предназначенный для дальнейшего обогащения;

**промпродукт** - промежуточный продукт обогащения руды, не являющийся кондиционным концентратом и подлежащий дальнейшей переработке в технологической схеме.

## I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Технологические исследования представляют комплекс специальных исследований по изучению технологических свойств полезного ископаемого месторождения с целью разработки новых схем переработки минерального сырья или совершенствования освоенных схем, обеспечивающих наиболее полное извлечение полезных компонентов. Определение технологических свойств полезного ископаемого и рациональной схемы переработки руды является одной из важнейших задач, решаемых в процессе изучения месторождения.

На территории Республики Узбекистан среди месторождений выделяются три основных собственно золотых геолого-промышленных типа эндогенного оруденения: золото-кварцевый, золото-сульфидно-кварцевый, золото-сульфидный с двенадцатью подтипами (Голованов, 2000) и два комплексных: золото-серебряный и золото-медно-порфировый.

К золото-кварцевому ГПТ относятся месторождения с убого- и малосульфидными рудами. Суммарное количество сульфидных минералов от 1 до 3%. Золото в рудах, как правило, свободное в кварце и частично в сульфидах, распределение неравномерное. По морфологии рудных тел, типам магматических и осадочных рудовмещающих пород и околорудных метасоматитов, составу руд в золото-кварцевом типе выделено три подтипа: Мурунтауский (Мурунтау, Мютенбай, Бесапантау); Чармитанский (Чармитан) и Пирмирабский (Пирмираб, Гузаксай).

К золото-сульфидно-кварцевому ГПТ относятся месторождения, где сульфиды (пирит, халькопирит, блеклые руды, галенит, сфалерит), сульфосоли свинца, меди, серебра, теллуриды золота, серебра, висмута и другие рудные минералы составляют в сумме от 6 до 25% (чаще всего от 10 до 15%). Золото в рудах как свободное в кварце, так и связанное с сульфидами, теллуридами и сульфосолями. По вышеуказанным признакам в золото-сульфидно-кварцевом типе выделено шесть подтипов: Кызылалмасайский (Кызылалмасай, Актурпак и др.); Кочбулакский (Кочбулак, Каулды, Кайрагач); Балпантауский (Балпантау); Марджанбулакский (Марджанбулак); Сармичский (Сармич, Биран и др.) и Булутканский (Булуткан, Рабинджан, Барханный и др.).

К золото-сульфидному ГПТ относятся месторождения, где в составе руд основную роль играют пирит, арсенопирит, реже халькопирит, антимонит и другие сульфиды, количество которых более 25% состава руд. Из жильных – иногда кварц и карбонаты. Первичное золото тесно связано с сульфидами, т.е. «упорное» золото. В окисленных рудах этого типа золото свободное и высокопробное. По указанным выше признакам в описываемом типе выделено три подтипа: Кокпатасский (Кокпатас); Даугызтауский (Даугызтау) и Амантайтауский (Амантайтау).

Золотосодержащие руды по вещественному составу отличаются большим разнообразием. В некоторых рудах более 90% по весу составляет кварц, в других наряду с кварцем преобладающими минералами являются барит, карбонаты, оксиды железа и турмалин. Содержание сульфидов (в основном пирита, арсенопирита и пирротина) колеблется от 0 до 80%. В различном количестве в рудах присутствуют еще и многие другие минералы, а также вмещающие породы (сланцы, граниты, диориты и др.). Руды различаются и по физическому состоянию: после добычи они в основном представлены прочным кусковатым материалом, некоторые имеют вид рыхлой глинистой массы с отдельными кусками. Еще больше различаются руды свойствами золота и ассоциацией его с минералами.

Даже в пределах одного месторождения руды могут быть неоднородные по качеству и определение их технологических свойств невозможно без проведения соответствующих технологических исследований.

## **II. ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ.**

Основными задачами, стоящими перед технологическими исследованиями, являются:

- выделение на месторождениях природных типов руд, изучение закономерностей изменчивости их качества; выделение технологических типов и сортов руд;

- установление возможности их селективного извлечения и промышленного использования;

- определение технологических показателей переработки выделенных технологических типов и сортов руд;

- разработка оптимальной технологической схемы, обеспечивающей наиболее высокие технико-экономические показатели переработки руды, с учетом извлечения как основных, так и попутных полезных компонентов.

Показатели переработки руды наряду с их запасами и горнотехническими условиями добычи являются одним из основных критериев комплексной геологопромышленной оценки месторождений.

## **III. ПОРЯДОК И МЕТОДИКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ.**

Выделение природных типов и разновидностей руд производится в процессе геологической документации горных выработок и скважин. При геологической документации в первую очередь определяются минеральный состав и текстурно-структурные особенности руд, которые затем уточняются при микроскопических исследованиях. В результате химического опробования определяются содержания в руде основных и попутных полезных компонентов, а также вредных примесей. Полученная информация используется для классификации руд по природным и технологическим свойствам и её достоверность во многом зависит от полноты и качества геологической документации.

Собственно, начальной стадией технологического изучения руд месторождения с целью выделения и характеристики развитых на месторождении природных типов руд является отбор и изучение специальных минералого-технологических проб. По минералого-технологическим пробам изучается минеральный и химический состав руд, их физические свойства. Кроме того, выявляются основные природные особенности руд, определяющие способность их обогащения.

В этих целях при изучении минералого-технологических проб определяются следующие признаки:

- текстурно-структурные особенности руды и прежде всего – степень раскрытия рудных зерен при определенном измельчении руды;

- форма нахождения и распределение основных, попутных компонентов и вредных примесей по формам минеральных соединений;

-содержание в руде определенных рудных и нерудных минералов, осложняющих её обогащение;

-степень окисленности рудных минералов; физико-механические свойства руды (крепость, измельчаемость, глинистость, склонность к образованию шламов). Важное значение при изучении минералоготехнологических проб, выявлении минералогических и других особенностей руд, определяющих их технологические свойства, имеет применение современных методов исследований с использованием высокоточной аппаратуры (автоматический анализатор изображения, комплексанализатор структур твердых тел с программным обеспечением для экспрессного определения фазового состава руды, размера, морфологии и пространственного распределения минералов; рентгено-спектральный микроанализатор с электронным зондом для качественного и количественного анализа элементного состава минералов, их структуры; масс-спектрометр ICP-MS для определения содержания в руде различных элементов и др.).

Вес минералоготехнологических проб определяется необходимым количеством материала для проведения соответствующего комплекса исследований и обеспечения получения представительных данных по изучаемой пробе. Обычно вес таких проб составляет несколько килограммов. Проведенное по данным минералоготехнологических проб минералоготехнологическое картирование месторождения является основой для выделения и установления пространственного размещения естественных природных типов руд.

С учетом минералоготехнологического картирования отбираются малые технологические пробы, по которым непосредственно путем прямого опыта определяются технологические свойства и обогатимость руд, устанавливаются статистические и иные зависимости между показателями обогащения и параметрами вещественного состава руд, необходимые для выделения и оконтуривания их технологических типов и сортов.

При этом особое внимание следует уделить получению полных данных о сопутствующих полезных компонентах и вредных примесях. Изучение руд не должно ограничиваться только определением содержаний в руде элементовспутников и вредных примесей. Необходимо определить их связь с минеральными соединениями, а также возможное распределение по продуктам обогащения и металлургической переработки.

Важное значение имеет анализ концентратов, позволяющий выявить наличие ценных попутных компонентов, не улавливаемых анализом исходных руд. Малые технологические пробы состояются из остатков от сокращенных групповых проб, отбираемых на их химический анализ и характеризующих пересечение разведочными выработками определенного природного типа руд. Пробы могут компоноваться также из отквартованного материала минералоготехнологических проб.

В зависимости от природных типов руд, их пространственной изменчивости установленных при минералоготехнологическом

картировании, малые технологические пробы отбираются по всем разведочным профилям или только по опорным.

Групповые пробы и результаты их исследования малыми технологическими пробами наносятся на геологические разрезы и по набору характеристик каждая групповая проба идентифицируется с классификацией природных разновидностей руд, после чего производится оконтуривание и увязка выделенных их разновидностей по всем разрезам.

Масса малых технологических проб колеблется от 20 кг до 50 кг.

Полученная информация по минералого-технологическому картированию с учетом изучения малых технологических проб обычно достаточна для разработки единой схемы переработки руд месторождений, на которых установлено развитие одного природного и технологического типа руды. На месторождении со сложным вещественным составом руд, изменчивостью их технологических свойств проводится геолого-технологическое картирование.

Целью геолого-технологического картирования является выделение и оконтуривание в пространстве различных технологических типов и сортов руд. По результатам картирования составляются прогнозные геолого-технологические карты (планы) и разрезы месторождения. Проведение геолого-технологического картирования обеспечивает:

- обоснованный отбор представительных проб для лабораторных (укрупненно-лабораторных и полупромышленных) испытаний руд по технологическим типам и сортам;

- подсчет запасов руды по технологическим типам и сортам; сокращение количества крупнотоннажных проб;

- достоверное прогнозирование ожидаемых показателей обогащения по различным периодам разработки месторождения; управление качеством руды, поступающей на переработку.

Технологические типы руд выделяются с учетом возможности их раздельной выемки и переработки. При невозможности геометризации технологических типов руд оценка запасов производится статистически. Геометризация технологических типов руд в таких случаях производится по материалам разведки и эксплуатационной разведки.

Геолого-технологическое картирование осуществляется на минералого-технологических и малых технологических пробах, увязанных с данными геологической документации, пройденных выработок и анализами химического состава рядовых и групповых проб. Количество отбираемых минералого-технологических и малых технологических проб зависит от изменчивости основных параметров качества руды, масштаба, сложности месторождения и других факторов, но должно быть достаточным для статистической обработки полученных по ним данных.

При геолого-технологическом картировании учитываются различные технологические показатели руд. В связи с этим использование математических методов их обработки, компьютерных программных средств

обеспечивает не только более высокую достоверность составленных прогнозных геолого-технологических карт, разрезов, но и позволяет создать на их основе объёмную геолого-технологическую модель месторождения.

Выбор оптимальной технологической схемы переработки руд определяется путем проведения испытаний лабораторных, укрупненно-лабораторных и полупромышленных проб.

На лабораторных пробах устанавливается принципиальная схема переработки технологических типов руд, а также определение соответствующих технологических показателей. Отбор лабораторных проб для испытаний осуществляется отдельно по всем выделенным на месторождении технологическим типам руд, с целью определения усредненных показателей обогатимости руд по месторождению и прогнозирования вариативности технологических свойств всех установленных типов руд.

Вес лабораторных проб определяется рядом факторов. Основными из них являются:

- применяемые методы переработки и количество вариантов схем, по которым предполагается производство испытаний пробы;
- производительность имеющегося в лаборатории оборудования;
- содержание в пробе полезных компонентов и в зависимости от этого количество концентрата и других продуктов обогащения, которые необходимо получить для дальнейшего изучения.

В зависимости от этих факторов и по имеющейся практике технологического опробования и проведения технологических исследований руд благородных металлов масса лабораторных проб колеблется от 0,3 до 1 т. Пробы большой массы необходимы для проведения исследований, включающих комбинированные методы переработки руд.

Целью укрупненно-лабораторных и полупромышленных испытаний является проверка и уточнение технологических схем и показателей переработки руд, разработанных на основании изучения лабораторных проб.

Лабораторные исследования на укрупненно-лабораторных пробах проводятся в основном для установления схем переработки руд простого минерального состава. Масса проб обычно составляет 10-15 т и определяется производительностью обогатительной установки.

Руды сложные по составу и представленные несколькими промышленными технологическими типами исследуются в полупромышленных условиях.

Отбор полупромышленных проб и их исследования осуществляются как отдельно по технологическим типам руд, а также по смеси (шихте) различных сортов с учетом принятой схемы отработки месторождения. Масса полупромышленных технологических проб колеблется в широких пределах от нескольких тонн до несколько сотен и даже первых тысяч тонн и зависит от количества технологических операций, производительности опытной установки.

Как укрупненно-лабораторные, так и полупромышленные испытания должны проводиться на представительных пробах, отвечающих по химическому и минеральному составу, структурно-текстурным особенностям, физическим и другим свойствам средним показателям качества планируемых к отработке руд. Для правильного отбора проб используется геологическая документация, а также данные, полученные при исследовании минералогических, малых технологических проб и испытаний лабораторных проб.

При отборе технологических проб на лабораторные, укрупненные и полупромышленные испытания должны быть определены целевые назначения пробы (исследование технологического типа, сорта руд, рудной залежи или всего месторождения), а также задачи исследований (выяснение принципиальной возможности обогащения руды, разработка или совершенствование технологической схемы и др.).

В условиях отбора представительных технологических проб учитываются следующие основные показатели:

- минимальная масса пробы, достаточная для исследований; гранулометрический состав руды в пробе;

- количество природных типов или технологических сортов руд, включаемых в пробу и их соотношение;

- минералогический и химический состав (средний, пределы отклонений) каждого природного типа и технологического сорта руды;

- расчетные содержания и форма нахождения основных и попутных полезных компонентов, и вредных примесей. Расчетные содержания основных и попутных полезных компонентов, и вредных примесей в пробе определяются путем укрупненного подсчета среднего содержания этих компонентов в характеризующей пробой запасах данного типа, сорта руды, рудного тела, части месторождения или всего месторождения с учетом принятого разубоживания;

- количественная оценка нерудных минералов, осложняющих получение кондиционных концентратов;

- структурно-текстурные особенности руды (с особым вниманием к крупности главных рудных минералов и характеру сростаний их с нерудными); разубоживание, принимаемое при отборе проб;

- количество разубоживающих пород в пробе, их минеральный и химический состав, содержание полезных и вредных компонентов; средний минеральный и химический состав технологической пробы с учетом разубоживания;

- физико-механические свойства руды и разубоживающих пород (твердость, крепость, объёмная масса, влажность, измельчение, контрастность и др.).

Отбор представительных технологических проб различного назначения производится в соответствии с «Методическим руководством по опробованию горных выработок и буровых скважин» (Госкомгеологии РУз, 2001).



#### **IV. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА РАЗНЫХ СТАДИЯХ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ.**

Технологические исследования проводятся на всех стадиях геологоразведочных работ, начиная от открытия месторождения до ввода его в эксплуатацию, а также в процессе отработки.

Методика технологических исследований на каждой стадии геологоразведочных работ должна обеспечивать получение необходимых технологических данных в соответствии с задачами этой стадии.

Технологические исследования проводятся в соответствии с предусмотренными в проектах геологоразведочных работ программами или, при необходимости, по дополнительным заданиям.

На стадии поисков месторождений при первом пересечении руды буровыми скважинами или горными выработками с учетом геолого-структурной обстановки наряду с определением геолого-промышленного типа месторождения производится оценка качества руды по результатам опробования. При этом важно определить не только содержание в руде полезных компонентов, но и её минеральный состав путем отбора и микроскопического изучения образцов. Устанавливается также по данным геологической документации текстурно-структурные особенности руды.

Технологические свойства руды и возможность их переработки оцениваются по аналогии с известными однотипными месторождениями с учетом особенностей параметров качества исследованных проб.

Предварительная оценка технологических свойств полезного ископаемого является одним из важных условий для оценки прогнозных ресурсов объекта по категории  $P_1$  с применением оценочных (браковочных) кондиций.

Основными задачами технологических исследований на стадии оценки промышленного значения месторождения являются:

- выяснение возможности обогащения руд применяемыми способами или необходимости разработки новых способов и схем;

- выбор принципиальных схем и режимов переработки выделенных технологических типов руд;

- предварительная проверка возможностей совместной переработки близких по своим технологическим свойствам типов руд;

- разработка моделирующих стандартных схем для геолого-технологического картирования.

В этих целях производится изучение на минералого-технологических, малых технологических пробах минерального и химического состава руд, их структурно-текстурных особенностей, физико-механических свойств. Особое внимание следует уделить фазовому составу руд с применением современных методов исследований.

Одновременно с изучением основных компонентов необходимо получить представления о содержании и формах нахождения попутных полезных компонентов и вредных примесей.

На основании изучения минерального и химического состава, а также структур и текстур руд выделяются природные типы руд, определяются их пространственное положение и количественные соотношения, изучается изменчивость качественных параметров в пределах каждого типа руд.

С использованием геологической документации, результатов исследования минералого-технологических и малых технологических проб производится предварительное геолого-технологическое картирование с выделением технологических типов руд, составляются прогнозные геолого-технологические карты, планы и разрезы месторождения.

Обогатимость выделенных технологических типов руд изучается в основном на лабораторных пробах, по данным испытаний которых разрабатываются принципиальные схемы и режимы обогащения этих типов руд, а также методы извлечения из продуктов обогащения полезных компонентов. Важное значение имеет установление возможности переработки труднообогатимых руд. Наиболее полные показатели технологических свойств руд должны быть изучены на участках детализации.

Результаты технологических исследований используются в ТЭО временных разведочных кондиций, где по данным проведенных исследований уточняется подразделение руд на промышленные (технологические) типы, обосновываются параметры на их выделение и производится оценка предполагаемых запасов руд по этим типам.

На стадии разведки должны быть получены все исходные технологические данные, необходимые и достаточные для определения наиболее рациональной технологической схемы переработки полезного ископаемого.

Для обеспечения выполнения требований полноты и достоверности изучения технологических свойств руд и проведения необходимых дополнительных технологических исследований на представительных пробах работы целесообразно проводить в следующей последовательности.

1. Используя методику технологического картирования, уточняются контуры технологических типов и сортов руд на месторождении, а также их вещественный состав и физико-механические свойства. Уточняются при получении новых данных прогнозные геолого-технологические карты и разрезы.

2. Производится отбор и исследование представительных лабораторных проб для уточнения технологических свойств и схем переработки ранее выделенных и новых выявленных технологических типов и сортов руд.

Представительность таких проб обеспечивается компоновкой их пропорционально запасам сортов руд, составляющих данный технологический тип, с учетом последовательности отработки.

3. Технологическое изучение руд завершается отбором и исследованием укрупненно-лабораторных и при необходимости полупромышленных проб. Технологическое опробование проводится с учетом всего комплекса работ по геологическому и технологическому изучению руд, а также намеченной схемы разработки месторождения.

По результатам технологических исследований обосновываются следующие основные показатели переработки полезного ископаемого по принятой технологической схеме:

- качество получаемой товарной продукции и её соответствие действующим нормативным документам или другим требованиям промышленности;

- оптимальный выход товарной продукции от исходного сырья в натуральных показателях и процентах;

- извлечение основных и попутных полезных компонентов в товарную продукцию в процентах.

Полученные показатели учитываются при разработке ТЭО постоянных кондиций для подсчета запасов месторождения и обоснования подготовленности его к промышленному освоению.

При доразведке месторождения технологические исследования направлены на установление соответствия разработанной технологической схемы технологическим свойствам приращенных запасов руд и запасов, переведенных в высшие категории. Для этого производится сопоставление их показателей (химический, минералогический состав, содержание и форма нахождения полезных компонентов, физические свойства) показателям руд в ранее разведанной части месторождения. В случае выявления новых участков оруденения с новыми технологическими типами руд задачи технологических исследований соответствуют задачам разведки.

Технологические исследования при разработке месторождений проводятся в процессе опережающей эксплуатационной разведки. Основной задачей технологических исследований на этой стадии является детальное оконтуривание на основе геолого-технологического картирования всех технологических сортов руд и определение технологических показателей их переработки.

В период эксплуатации месторождения иногда возникает необходимость совершенствования действующих или разработки принципиально новых схем для улучшения показателей переработки руды. В этих случаях с учетом результатов исследований минералого-технологических проб проводятся дополнительные испытания проб руды в лабораторных и полупромышленных условиях.

Технологические исследования при проведении поисковых, оценочных и разведочных работ выполняются соответствующими подразделениями Госкомгеологии РУз, АО «Алмалыкский ГМК» и АО «Навоийский ГМК» с привлечением при необходимости других организаций.

## **V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Настоящие Методическое руководство вступают в силу после утверждения Государственной комиссией по запасам полезных ископаемых при Госкомгеологии Республики Узбекистан с 1.01.2023 г.