Министерство образования и науки Российской федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНЕВЕРСИТЕТ
(ФГБОУВПО «АмГУ»)

С.М. Авраменко

ОСНОВЫ УЧЕНИЯ О ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

(Общие сведения о полезных ископаемых)

Методические указания к выполнению практических работ

по специальности: 130400.65 Горное дело

Благовещенск

Издательство АмГУ
2014

ББК 26.34я73
О-75

Печатается по решению редакционно-издательского совета Амурского государственного университета

Авраменко С.М. Методические указания к выполнению практических работ по дисциплине «Основы учения о полезных ископаемых». Учебно-методическое пособие / Авраменко С.М. – Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2014. – 55с.

Учебное пособие предназначено для студентов геологов дневного и заочного обучения кафедры геологии и природопользования по специальности 130101.65 «Прикладная геология».

ББК 33.4я73
©Амурский государственный университет, 2014

В пособии рассмотрены формы рудных тел полезных ископаемых и элементы их залегания, минеральный состав, текстуры и структуры руд.

За время занятий студент должен, пользуясь учебным пособием, схематически зарисовать вмещающие породы, геологические структуры, морфология и размеры рудных тел, минеральный состав руд, текстуры и структуры руд, Необходимо также просмотреть коллекции руд и вмещающих пород месторождений различного генезиса, обратив внимание на их минеральный состав, текстурные особенности.

Методические указания по выполнению практических работ составлено на основе учебного пособия: Милютин А.Г. Геология. - Учебник для вузов. - М.: Высшая школа, 2003; Григорьев В.М. Лабораторный практикум по геологии полезных ископаемых. –М.:Недра, 1992. – 132 с.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ТЕРМИНЫ

Предметом изучения данной дисциплины являются полезные ископаемые. *Полезное ископаемое* - это естественное скопление в недрах или на поверхности континентов, дне морей и океанов природного минерального образования в твердом или жидком, или газообразном состоянии. В процессе геологоразведочных и научно-исследовательских работ выявляют их пространственное положение, формы и размеры, количественные, качественные и другие технологические характеристики.

Месторождение представляет собой скопление полезного ископаемого, занимающего определенное пространственное положение в локальной геологической структуре и характеризующееся практически значимыми качественными и количественными показателями. Месторождение может быть промышленным, если оно имеет балансовые запасы, и непромышленным, если использование его запасов в настоящее время экономически нецелесообразно или технически и технологически невозможно.

Месторождения не имеющие разведанных запасов, оцениваются по прогнозным ресурсам. Разведанные запасы в процессе их разработки становятся *минеральным сырьем.*

Когда речь идет об использовании минеральных ресурсов в качестве сырья для промышленности, тогда возникает производное понятие *минерально-сырьевые ресурсы.*

По технологическим особенностям, обусловливающим области их использования, полезные ископаемые и их месторождения разделяют на *металлические, неметаллические, горючие (каустобиолиты) и гидротермальные.*

Рудой называется горная минеральная масса, содержащая один или более ценных компонентов в количестве, обеспечивающем возмещение затрат на их извлечение.

Горючие и гидроминеральные полезные ископаемые могут быть в твердой, жидкой или газообразной фазах. Твердое минеральное сырье, предназначенное для технологической переработки, является товарной рудой. Часть неметаллического минерального сырья и твердых каустобиолитов, подобно жидкому и газообразному сырью, используется без предварительной переработки.

Продуктивные части месторождений, имеющие природные геолого-структурные границы или условные контуры, устанавливаемые по результатам опробования, образуют тела или залежи. При достаточно высокой плотности участков повышенных

концентраций тело становится *рудным телом.* Близким по значению является понятие *рудная залежь.* Если понятие "рудное тело" может рассматриваться вне его формы и условий залегания, то понятие "рудная залежь" указывает на значительную изменчивость ее мощности и согласное залегание. На месторождении может быть одно-два, чаще несколько рудных тел или залежей.

Обособленными являются залежи нефти, газоконденсата и газа, представляющие собой естественные скопления этих образований в литолого-структурных ловушках. Кроме того, выделяют различные типы торфяных залежей, пластообразные залежи каменного угля или каменной соли, пластовую залежь калийной соли и залежи других полезных ископаемых.

Небольшие скопления полезных ископаемых в локальных геологических структурах называют *проявлениями,* а если такие скопления представлены рудными образованиями, то - *рудопроявлениями.* Незначительные по размерам проявления или рудопроявления определяются соответственно понятиями *минерализованной и рудной точками.*

Площадь распространения сближенных в общей локальной геологической структуре генетически связанных месторождений или рудопроявлений представляет собой *рудное поле.* Рудные поля и месторождения полезных ископаемых могут формировать более значительные по площади распространения *районы* или *узлы,* которые, в свою очередь, объединяются в *металлогенические зоны* и *пояса,* а также *области и провинции* или *бассейны* различной минерально-сырьевой специализации. Размещение рудных полей и указанных территорий более высоких природных уровней контролируется региональными структурами в совокупности с другими геологическими факторами. Изучением этих вопросов занимается специальная наука - *металлогения* или *минерагения.*

Для познания геологических условий образования и закономерностей размещения месторождений полезных ископаемых важными являются понятия о фациях, геологических формациях и комплексах, рудных формациях и комплексах. Эти понятия могут иметь различные объяснения (толкования или определения), функционально связанные с особенностями изучаемых объектов и методов их исследования. Применительно к данной дисциплине понятие *фации* указывает на общность геологических, физико-химических, ландшафтных или других обстановок (условий), в которых формируются геологические формации и комплексы и связанные с ними соответственно рудные формации и рудные

комплексы. Основным критерием выделения геологических формаций является стратификация слагающих их толщ.

Геологические формации объединяют близкие по составу и происхождению сообщества стратифицированных горных пород (осадочных, вулканогенных, вулканогенно-осадочных, метаморфических и кор выветривания), формирующих геологические тела в определенных структурных элементах земной коры. Парагенетические ассоциации интрузивных и нестратифицированных субвулканических пород образуют *геологические комплексы.*

Рудная формация объединяет близкие по происхождению и минеральному составу экономически значимые образования в рудовмещающих или рудоносных геологических формациях. *Рудные комплексы* включают парагенетические ассоциации основных и сопутствующих полезных компонентов (в минеральной или элементной форме) при соотношении их промышленной ценности от паритета до минимума, обеспечивающего техническую возможность и экономическую целесообразность их извлечения. Они могут быть пространственно связаны с интрузивными и субвулканическими сообществами пород либо размещаться в геологических формациях как эпигенетические образования. В последнем случае можно говорить о конвергентности понятий "рудная формация" и "рудный комплекс".

Геологические формации и нестратифицированные ассоциации горных пород с вмещающими их структурами образуют *структурно-формационные комплексы.* При наличии связанных с ними месторождений полезных ископаемых они определяются как *'"продуктивные"'*или *"рудопродуктивные"*и служат основой выделения промышленных типов месторождений, общие модели которых носят описательный характер.

СВЯЗЬ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ С ЛОКАЛЬНЫМИ СТРУКТУРАМИ

Рудоносные структуры формируются в земной коре в самых различных геологических условиях при определенном геостатическом давлении и действии тектонических сил, вызывающих деформацию горных пород. Деформации могут быть упругими (эластичными) и остаточными.

Упругая деформация обусловлена внутренними силами, или силами упругости, благодаря которым после снятия нагрузки телу возвращается его

первоначальная форма. Сопротивление горных пород деформации характеризует их прочность. Наибольшую прочность они проявляют при сжатии и наименьшую при растяжении.

Если внутреннее сопротивление не компенсирует внешние силы, то возникает остаточная деформация, изменяющая форму тела. Остаточная деформация, проявленная без нарушения сплошности тела, называется пластической, а с нарушением - разрывной. Скорость протекания пластической деформации зависит от вязкости (внутреннего трения) горных пород. Среди горных пород наибольшей вязкостью обладает влажная глина. Сильную пластическую деформацию претерпевают горные породы, залегающие на больших глубинах и испытывающие высокое геостатическое давление.

Разрывные деформации (разломы, зоны дробления и трещиноватости, кливаж) вызываются тектоническими напряжениями. При мгновенной деформации, например вулканическом взрыве (эксплозии), даже пластичные тела деформируются, как хрупкие.

Рудные тела или залежи полезных ископаемых могут находиться в породах с ненарушенными первичными формой и условиями залегания или в породах, подвергшихся складкообразованию. Например, к антиклинальным складкам тяготеют залежи нефти и газа (рисунок 1), в синклинальных складках (мульдах) могут формироваться пласты оолитовых железных руд. В рудопродуктивных складчатых структурах нередко проявлены тектонические разрывные нарушения типа надвигов (рисунок 2), сбросов, сдвигов. Таким образом по характеру тектонических дислокаций локальные рудоносные структуры подразделяются на складчатые и разрывные.

Складчатые структуры по механизму образования складок и характеру остаточной деформации подразделяются на четыре группы: 1) продольного изгиба со скольжением, 2) поперечного изгиба, 3)блокированные и 4)диапировые.

Деформации пластов в складках могут привести к возникновению кливажа, тектонических трещин, отслоении и брекчий, влияющих на процессы рудообразования. Особенно благоприятными для локализации оруденения служат складки изгиба со скольжением.

С дислоцированными в эти складки неоднородными по составу и физико-механическим свойствам слоистыми толщами пород Г.Ф. Яковлев связывает различные типы рудовмещающих структур. Среди них известны рудные тела: в

полостях отслаивания шарниров складок (рисунок 3), в складках волочения, межформационных срывах, зонах трещиноватости, и дробления на крыльях складок, вдоль зон чешуйчатых внутриформационных надвигов (рисунок 4). Важную роль в локализации оруденения, в особенности вулканогенного гидротермального и вулканогенно-осадочного, имеют складки поперечного изгиба (рисунок 5).

Блокированные складки формируются в условиях ограниченногоскольжения пластов относительно друг друга. Роль упоров могут играть разломы, дайки или жесткие породы. Оруденение концентрируется в расслоенных частях складки. Примером служат сурьмяное месторождение Кадамжай (см. рисунок 4) и ртутное - Хайдаркан в Киргизии складках волочения, межформационных срывах, зонах трещиноватости, и дробления на крыльях складок, вдоль зон чешуйчатых внутриформационных надвигов (рисунок 4)

Диапировые складки могут развиваться в платформенных условиях, где они представлены солянокупольными образованиями, и в складчатых областях с развитием рудных диапир, например, флюоритовое месторождение Аурахмат в Средней Азии (рисунок 6).

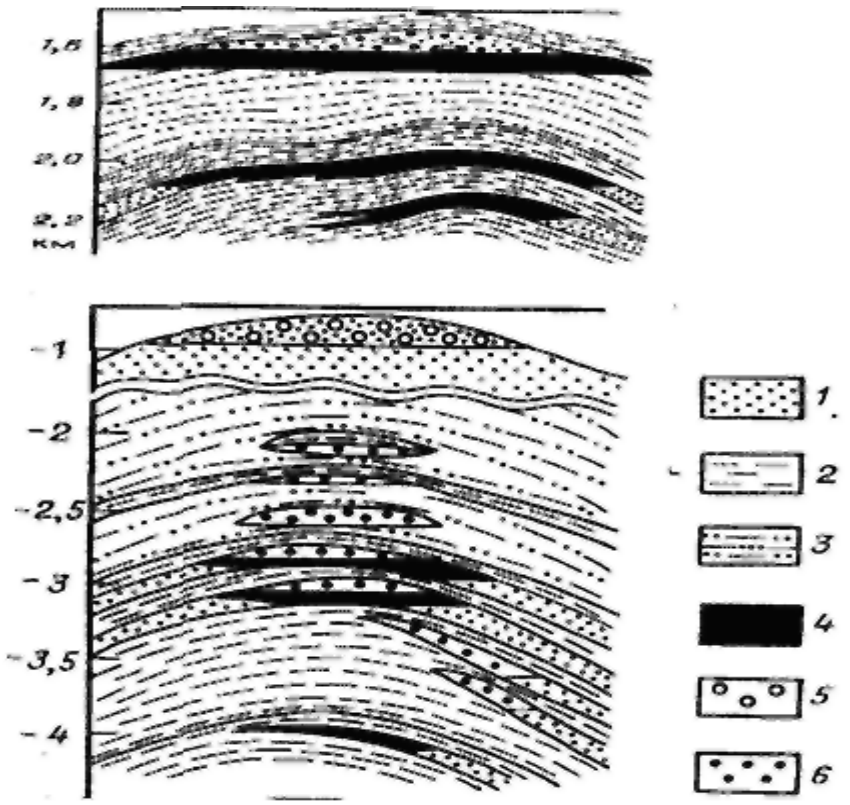

Рисунок 1- Примеры локальных антиклинальных (сводовых) структур (вертикальный разрез)* вмещающих нефтегазоносные залежи уникальных месторождений: *а - Самотлорское, б - Уренгойское. По В. И. Шпильману, И.Ф .Берсеневу, Ф.З. Хафизову и др:1* - песчаные и песчано-алевритовые породы; *2* - глины; *3* - песчано-глинистые отложения; залежи: *4* - нефти, *5* - газа, *6* - газоконденсата.

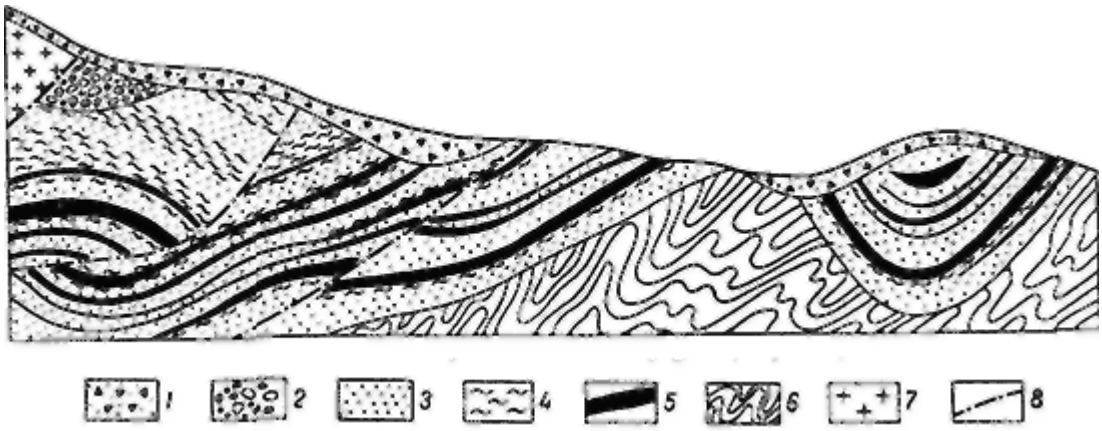

Рисунок 2 - Складчато - надвиговая структура урано-угольного месторождения(разрез). *По В.Данчеву и Н. Стрелянову:1* - делювий: 2 - конгломераты кайнозоя; *3-5* - юрские отложения: 3 - песчаники. *4* -алевролиты. *5* - угли; *6* - красноцветы палеозоя; 7 - гранитоиды протерозоя; *8* -надвиги.

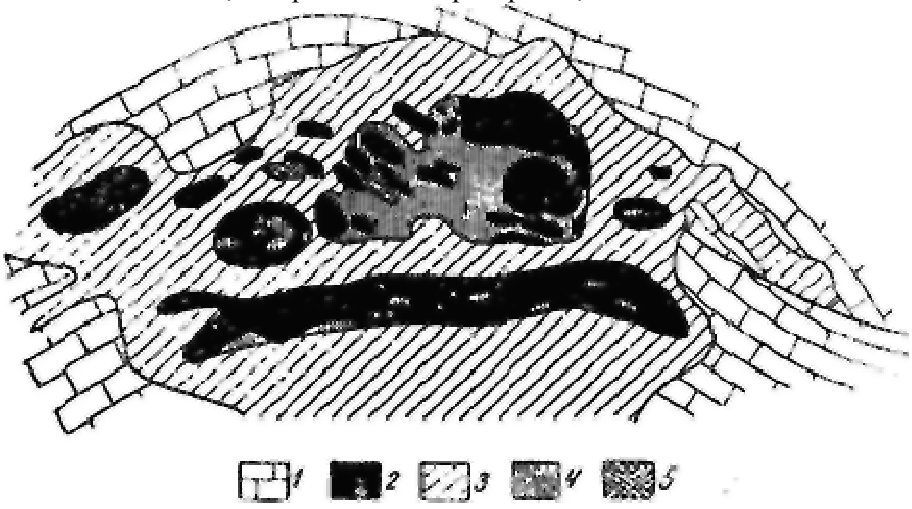

Рисунок 3 - Оруденение в антиклинальном изгибе складки (разрез). *По Г. М. Вировлянскому:1* -известняки; *2* - сульфидная руда; *3,4* - окисленные руды; *5* - метасоматический кварц.

Максимальные мощности рудных тел и концентрации полезных компонентов отмечаются чаще в шарнирах антиклинальных складок и в куполах брахиантиклиналей, а в крыльях складок и шарнирах синклиналей - небольшие, что объясняется различием условий миграции рудообразующих растворов.

Разрывные нарушения, не выходящие за пределы рудных полей и месторождений, называют *локальными.* Они имеют различное происхождение:

магматогенное, тектоническое и экзогенное. Рудоконтролирующими служат магматогенные и тектонические разрывы.

Условно они могут выполнять роль рудоподводящих, рудораспределяющих, рудовмещающих, экранирующих и пострудных (смещающих) структур (рисунок 7).

Разрывы в горных породах без значительного перемещения частей тела называются трещинами. Они бывают тектонического или другого происхождения, например, контракционные трещины, образующиеся в процессе сокращения объема горных пород.

По направлению тектонических напряжений и характеру деформаций выделяют трещины отрыва и скола. Трещины отрыва возникают в результате растягивающих напряжений, а трещины скола - сжимающих или сдвиговых напряжений.

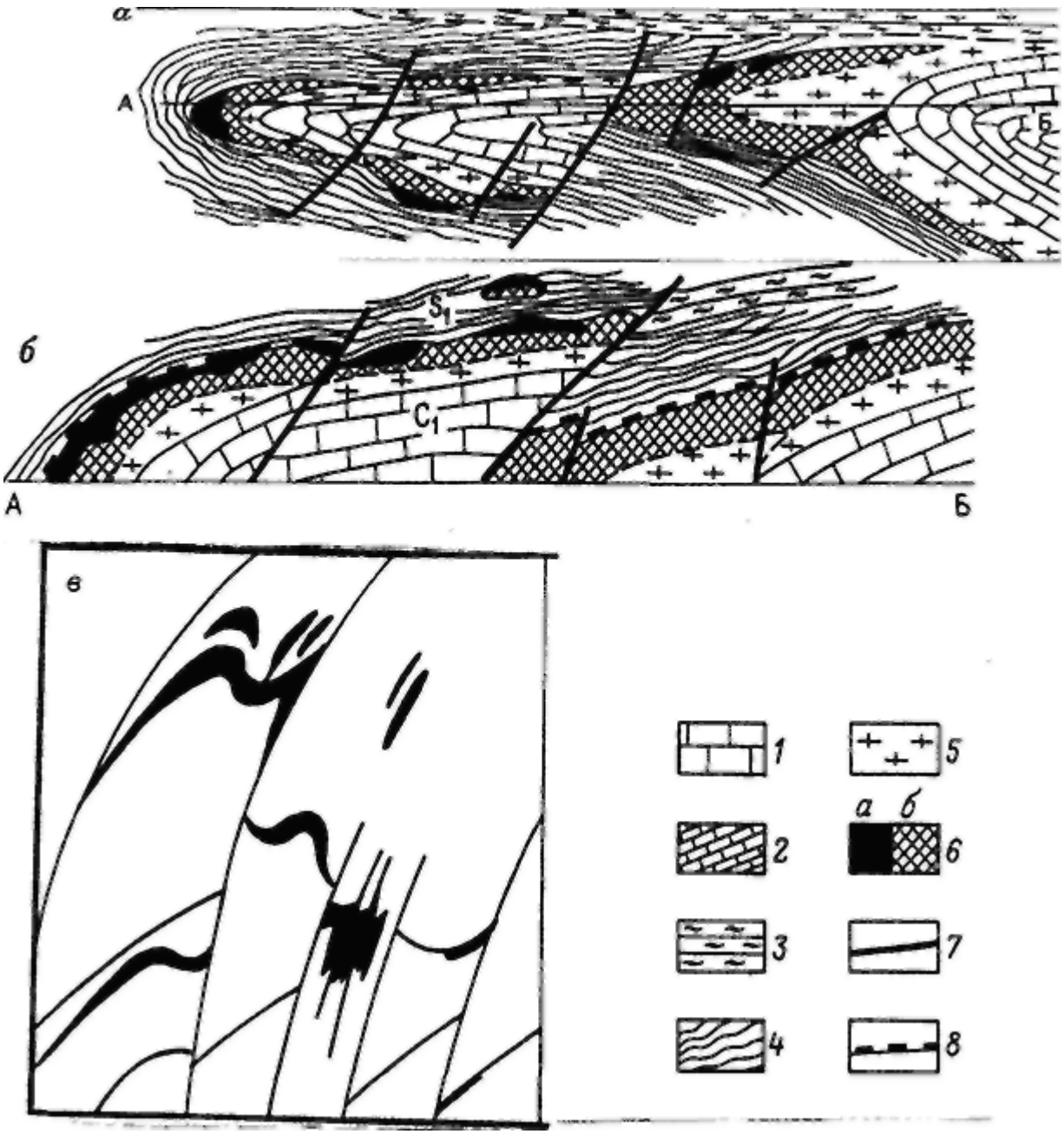

Рисунок 4 - Схема геологического строения сурьмяного месторождения Кадамжай. По В. П. Федорчуку, Н. Л. Никифорову и др.:а - план, б - разрез; в - структурная модель сурьмяного месторождения согласного джаспероидно-антимонитового типа./- известняки массивные; 2 - известняки и доломиты тонкослоистые; 3 - сланцы, песчаники, кварциты; 4 - аллохтонные песчаники и сланцы; 5 - брекчия; б - залежи рудоносных джаспероидов с высоким (а) и рядовым (6) содержанием сурьмы; 7 - разломы; 8 - надвиги.

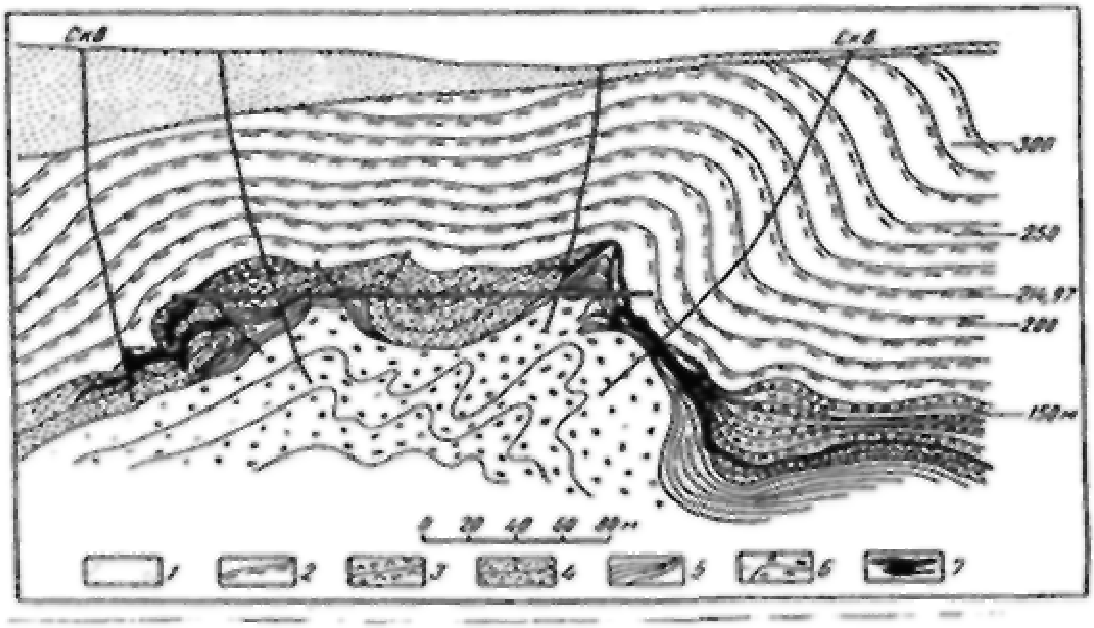

Рисунок 5 - Пластообразные свинцово-цинковые залежи в складках поперечного изгиба. Рудный Алтай. *По Н.Е. Гилдину: '* - рыхлые отложения; *2* - известково-хлоритовые сланцы; *3* - серицит-кварцевые сланцы; *4* - порфириты; 5 - углистые сланцы; *б* - кремнистые сланцы; 7 - рудные залежи.

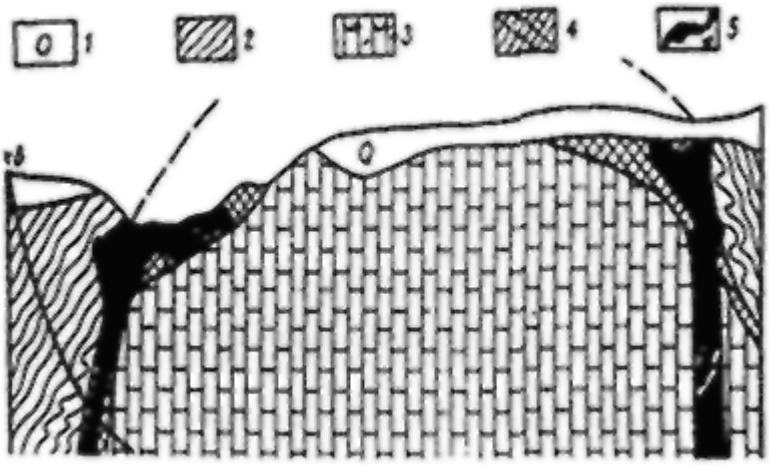

Рисунок 6 - Диапировая складка (разрез). Флюорнтовое месторождение Аурахмат. *По В. В. Архангельской: I* - аллювий, делювий; *2* - сланцы; *3* - известняки; *4* - брекчий; 5 - рулы

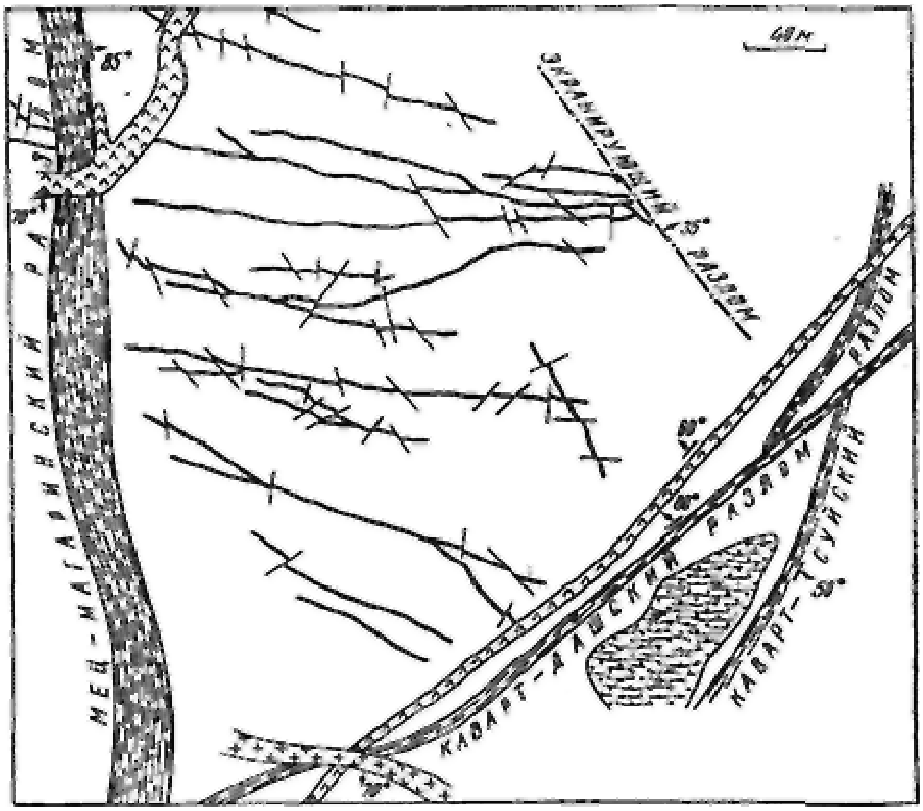

Рисунок 7- Соотношение рудоконтролирующих разломов на Кафанском жильном месторождении меди в Армении. *По В.Котляру, Ю. А Лейе:*1 - разломы (рудоподводящие и рудораспределяющие); *2* - экранирующий разлом; *3* - пострудные мелкие сдвиги; *4* - рудные жилы; *5* - зона прожилкового оруденения; 6 - дайки диабазов; 7 - дайки альбитофиров.

На рисунок 8 приводится положение трещин скола и отрыва относительно осей эллипсоида деформации в одной плоскости.

Эллипсоид деформации - трехосный эллипсоид напряжения. Он представляет собой эллипсоид, описанный вокруг трех главных взаимно перпендикулярных неравных осей напряжения, отражающих относительные значения деформации горных тел по каждой оси и ориентировку этих осей в пространстве.

Трещины отрыва - это небольшие разрывы, быстро выклинивающиеся по простиранию и падению, сложной конфигурации, зависящей от состава и строения горных пород. Растягивающие усилия вызывают приоткрывание трещин и поэтому по ним не происходит значительных подвижек. По трещинам отрыва часто развиваются дайки и минерализованные тела и среди них рудные.

Трещины скола представляют собой протяженные по простиранию и глубине прямолинейные разрывы, по которым происходит перемещение деформированных пород с образованием брекчий и глинки трения. На плоскостях

пород в зоне контакта сколовых трещин развиваются зеркала скольжения со штрихами и бороздами. Они сопровождаются оперяющими трещинами. Трещины скола значительной протяженности называют *разломами,* которые иногда представлены зонами рассланцевания бластомилонитов и бластокатаклазитов, где в процессе тектонической активизации могут возникать более поздние системы трещин и связанное с ними брекчирование и оруденение.

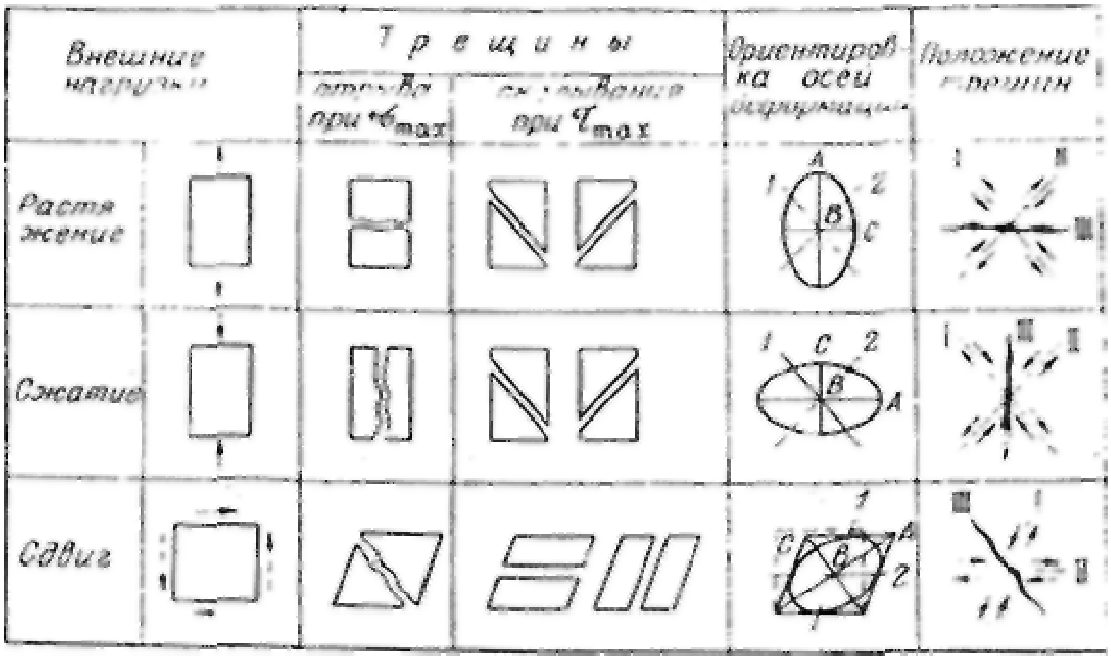

Рисунок 8 - Схемы расположения трещин отрыва и скалывания при различных видах внешней нагрузки в случае плоской деформации (в плоскости чертежа). *По Ф.И. Вольфсону, П.Д. Яковлеву:* + о тах *максимальные нормальные напряжения;* т max - *максимальные касательные напряжения. Главные оси деформации: А - максимального растяжения (удлинения), В-промежуточная (в случае плоской деформации остается неизменной). С - максимального сжатия (сокращения).* 1, 2 - *направления максимальных касательных напряжении. Системы тектонических трещин: I - II- скапывания, III -отрыва.*

Трещины отрыва и скола могут иметь в плане форму кольца или дуги, образуя цилиндрические, конические структуры, характерные для вулкано-плутонических сооружений. Цилиндрические разрывы обычно вертикального или близкого к нему падения. Конические разрывы, падающие к центру, называются *центриклинальными,* а от центра - *периклинальными.*

В пределах этих сооружений помимо кольцевых структур и их фрагментов развиваются радиальные трещины, нередко несущие различное эндогенное оруденение.

Оперяющие трещины являются высокопродуктивными в отношении оруденения. Интенсивность оруденения повышается по мере приближения к участку сопряжения оперяющей трещины с основным разрывом. Здесь часто образуются рудные столбы.

На рисунок 9 приведен фрагмент неоген-четвертичной структуры, в которой золотое оруденение приурочено к системе малоамплитудных сбросо-сдвигов (сколовых нарушений) и оперяющих их трещин отрыва.

Трещиноватость в складках создает благоприятные условия для рудообразования. При этом различают разрывы, секущие складки и уходящие за их пределы, и трещины, сформировавшиеся в пластах в момент их изгиба. Первым из них отводится роль рудораспределяющих, вторым рудовмещающих.

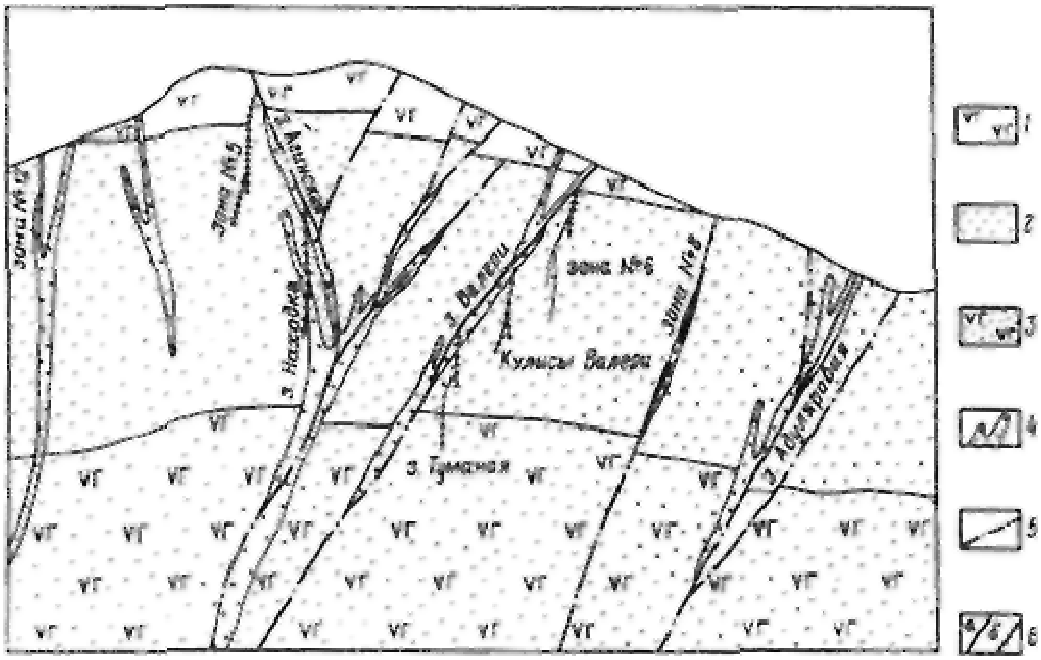

Рисунок 9 - Геологический разрез Агинского золоторудного месторождения. Центральная Камчатка. *По Б.В. Гузману: 1* - андезито-базальты; *2* - туфы и туфобрекчии; *3* - андезито-базальты и их туфы; *4* -дайки; 5 - сбросо-сдвиги; *б* - рудоносные: *а* - жилы, *б* - прожилковые тела.

В результате продольного изгиба пластов со скольжением в растягивающей части складки возникают трещины отрыва, а в сжимающей -трещины скола. Кроме того, возникают системы мелких трещин скола и отрыва по всей складке и различные виды кливажа (рисунок 10).

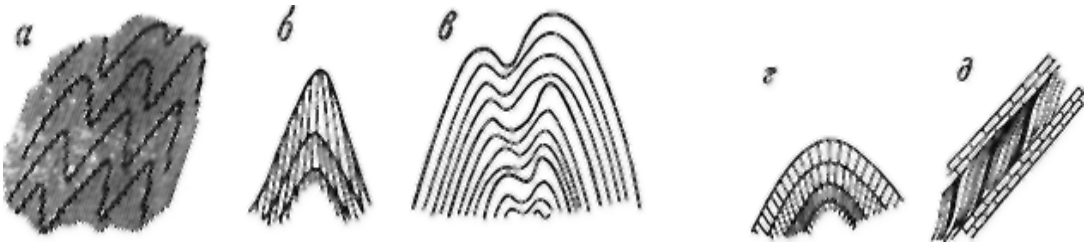

Рисунок 10 - Различные виды кливажа. *По В. И. Смирнову:а* - главный, параллельный осевой поверхности складки; *б* - обратный веерообразный; *в* -послойный; *г* - разлома; *д* - волочения.

Важную роль в рудообразовании играют структуры отслоения и продольные разломы типа надвигов, а также постскладчатые диагональные и поперечные разломы особенно при их сочетании, что можно наблюдать на структурных моделях (рисунок 11).

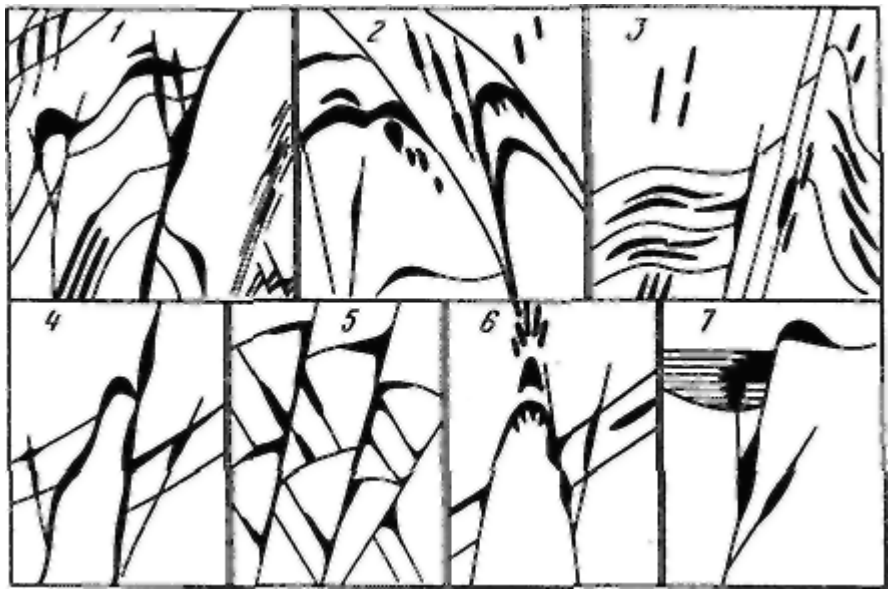

Рисунок 11- Структурные модели промышленных типов ртутных месторождений (внемасштабные разрезы). *По В.П. Федорчуку:1* - кварцево-джаспероидный (антиклинали и осложненные разломами штокверковые и жильные зоны); *2* - джаспероидный (сочетание складчатых, и разрывных структур); *3* -карбонатный (секущий); *4* - лиственитовый (контактовый); *5* - поднадвиговый; 6 -вулканогенный; 7 - травертиновый; линиями обозначены рудоконтролирующие разрывы и контуры: рудовмещающих пород; черные утолщения - рудные тела и вмещающие их метасоматиты**.**

МОРФОЛОГИЯ ТЕЛ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

В зависимости от геометрической формы тела полезных ископаемых подразделяются на изометрические, плоские, столбообразные и сложные (рисунок 12). Изометрические тела (шток, гнездо, штокообразное тело) имеют одинаковые или очень близкие измерения в различных направлениях. Плоские тела (пласт, жила, линза, пластообразное тело и др.) вытянуты в двух направлениях при очень небольшой мощности. Столбообразные тела протягиваются на значительном интервале в одном направлении, обычно по падению; в поперечном сечении они имеют округлую, линзовидную или неправильную форму. Сложные тела полезных ископаемых возникают в результате сочетания тел изометрической, плоской и столбообразной формы.

Положение в пространстве плоских тел определяется азимутом их линии простирания или падения и углом падения. Определение этих элементов залегания обычно производится без затруднений. Значительно сложнее находить элементы залегания столбообразных или линзообразных рудных тел. Для рудного столба следует, прежде всего, установить его ось, горизонтальную проекцию оси и азимут ее простирания. Затем можно определить угол падения (ныряния) рудного столба (рисунок 13).

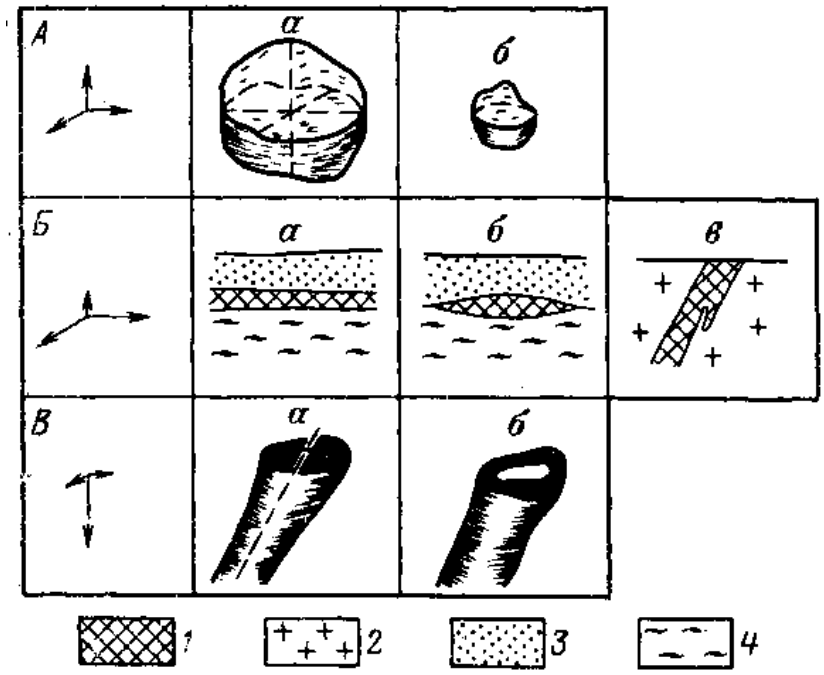

Рисунок 12 - Геометрические формы тел полезных ископаемых: *А* – изометрические *(а* – шток, *б* – гнездо); *Б* – плоские (*а* – пласт, *б* – линза, *в* – жила); *В* – столбообразные (*а* – рудный столб, *б* – трубообразное тело); *1* – рудные тела; *2* – гранит; *3* –пески; *4* – глины

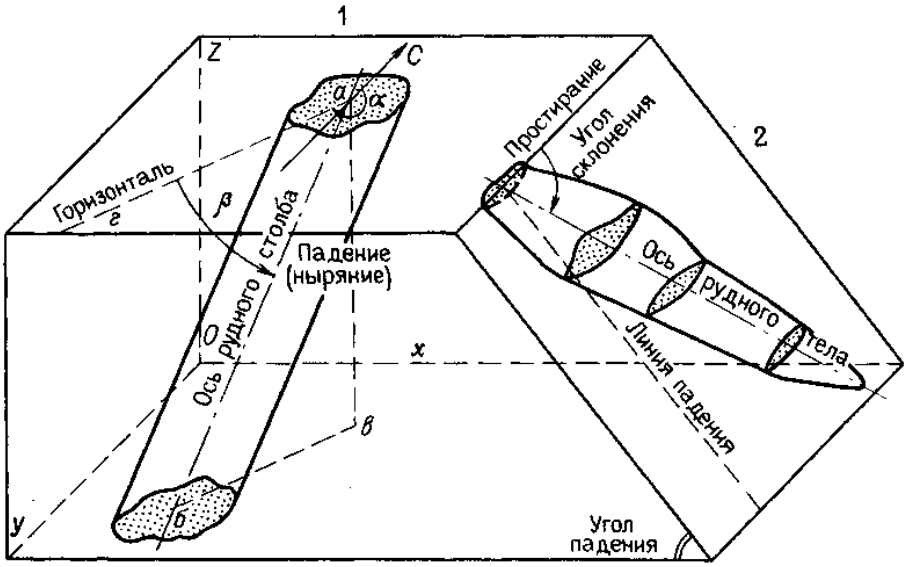

Рисунок 13 - Схема, иллюстрирующая элементы залегания рудного столба с овальным (1) и эллипсовидным (2) горизонтальным сечением: *аб* – ось рудного столба *(бв* – горизонтальная проекция; *аг* – горизонтальная проекция, вынесенная на поверхность); α – азимут простирания горизонтальной проекции оси рудного столба; β – угол падения или ныряния

Сингенетические тела полезных ископаемых образуются в процессе формирования стратифицированных осадочных и вулканогенно-осадочных толщ (пласты, линзы, чечевицы, сложные пласты), а также в ходе кристаллизации ультраосновных, основных и щелочных интрузивных массивов (гнезда, штоки и пластовые рудные тела хромитов, титаномагнетитов, сульфидных и редкометалльных руд (рисунок 14). Поперечные размеры гнездообразных тел обычно не превышают нескольких метров, параметры штокообразных тел измеряются десятками и сотнями метров.

Эпигенетические рудные тела образуются после вмещающих их пород в различной геологической обстановке. В связи с этим форма их весьма разнообразная (таблица 1). Основными структурными элементами, определяющими морфологию рудных тел, являются складки, разрывные нарушения, контакты интрузивных массивов, вулканические аппараты, трубки прорыва газа. Разрывные нарушении по отношению к рудным телам бывают рудоконтролирующими, рудоподводящими и рудовмещающими, а также дорудными и послерудными. Существенное влияние на морфологию эпигенетических рудных тел оказывают физико-механические свойства и химический состав вмещающих пород (например, благоприятные горизонты для локализации оруденения).

В складках, осложненных разрывными нарушениями, рудные тела имеют форму штоков, гнезд, жил, линз, пластов, рудных столбов, штокверков, минерализованных зон и др. В интрузивных породах к разрывным нарушениям приурочены жилы, рудные столбы, минерализованные зоны, а также штокверки. В зонах контактов интрузивных массивов, осложненных разрывными нарушениями, чаще всего возникают пластообразные и штокообразные рудные тела, рудные столбы, штокверки, минерализованные зоны. В вулканических аппаратах образуются рудные гнезда, линзы, столбы, трубообразные тела, штокверки, жилы.

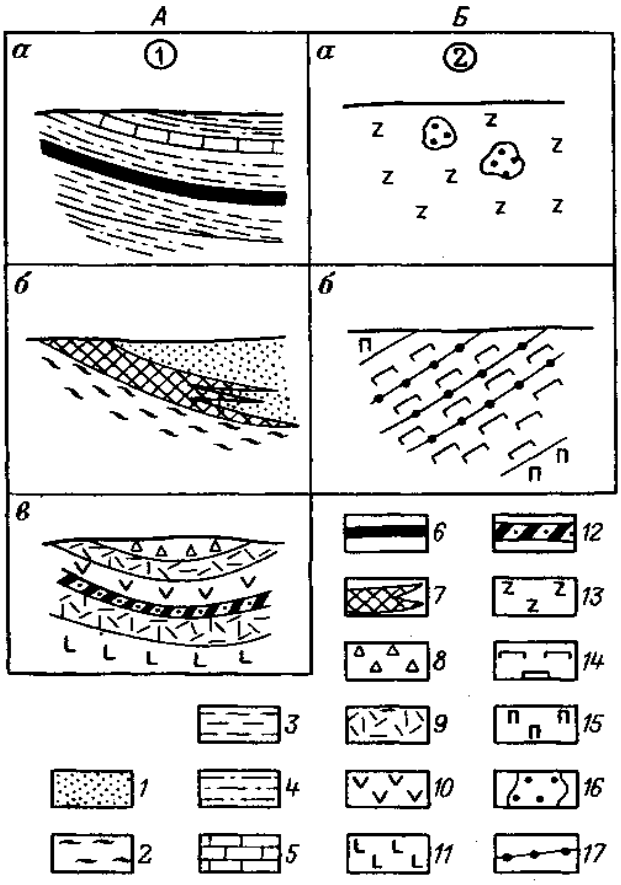

Рисунок 14 - Схематические разрезы сингенетических тел полезных ископаемых в стратифицированных толщах (1) и в интрузивных породах (2):

1 – пески; *2* – глины; *3* – алевролиты; *4* – песчаники; *5* – карбонатные породы; *6* – пласт бурого угля; 7 – сложный пласт осадочных руд марганца; *8–11* – вулканические породы *(8* – брекчии, *9* – туфы, *10* – андезитовые порфириты, *11* – базальтовые порфириты); *12* – медноколчеданная рудная залежь; *13* – дуниты; *14* – нориты; *15* – пироксениты; *16* – гнезда хромитов; *17* – пластовые хромитовые тела

Таблица 1 - **Систематика тел полезных ископаемых по форме в зависимости от их возрастного соотношения с вмещающими породами**

	Сингенетические тела		Эпигенетические тела			
Геометрическая форма тел	в стратифицированных толщах	в основных и щелочных интрузивных породах	в складках, осложненных разрывными нарушениями	в интрузивных породах, пересекаемых разрывными нарушениями	на контактах интрузивных массивов, осложненных разрывными нарушениями	в вулканических аппаратах и трубках взрыва
Изометрическая	–	Гнездо, шток	Шток, гнездо	Шток, гнездо	Штокообразное тело, гнездо	Гнездо
Плоская	Пласт, линза, чечевица	Пласт	Жила, пласт, линза, седловидная залежь	Жила	Пластообразное тело, линза	Жила, линза

Столбо-образная	–	–	Рудный столб	Рудный столб	Столбообразное тело	Рудный столб, трубообразное тело
Сложная	Сложный пласт	–	Штокверк, сложная жила, минерализованная зона	Штокверк, сложная жила, минерализованная зона	Штокверк, минерализованная зона	Штокверк,

Среди эпигенетических тел полезных ископаемых наиболее распространены жилы (простые плитообразные, сложные, четковидные, камерные, оперенные; (рисунок 15), штокверки (рисунок 16), рудные столбы (рисунок 17). Последние образуются на участках искривления тектонических трещин (*а*), в узлах сопряжения (*б*) и пересечения трещин различного направления (*в*), а также в местах пересечения разрывными нарушениями пластов пород, благоприятных для замещения рудой (*г*).

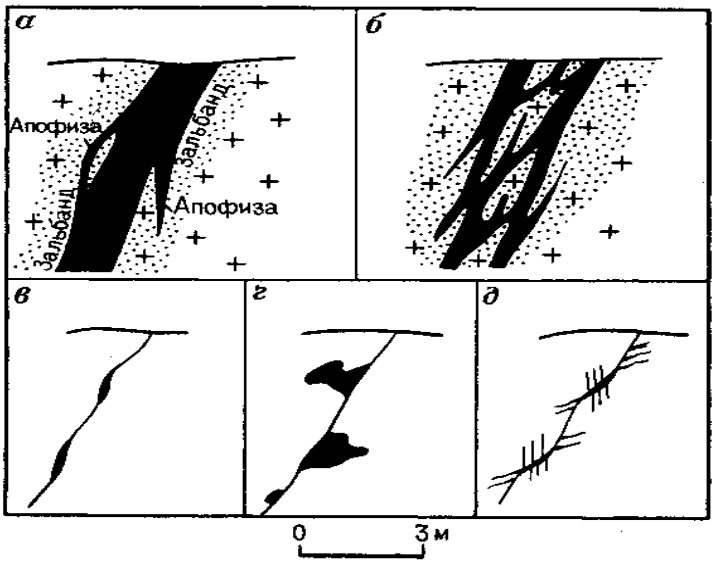

Рисунок 15 - Схематические разрезы рудных жил: *а* – простая; *б* – сложная; *в* – четковидная; *г* – камерная; *д* – с многочисленными апофизами, приуроченными к оперяющим трещинам скалывания и отрыва

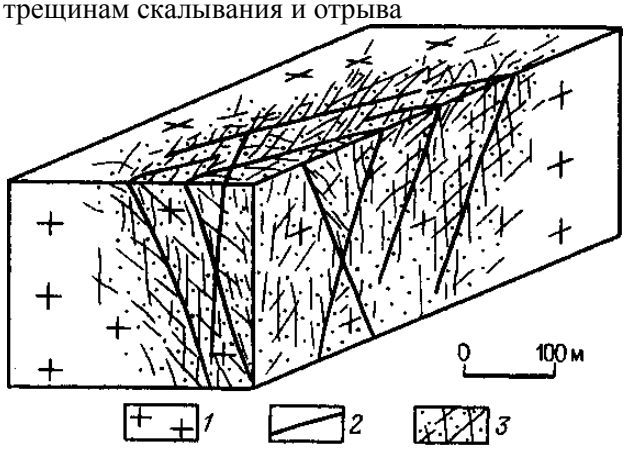

Рисунок 16 - Схематическая блок-диаграмма штокверкового месторождения: *1* – гранит, *2* – крупные разрывные нарушения, *3* – прожилково-вкрапленная минерализация

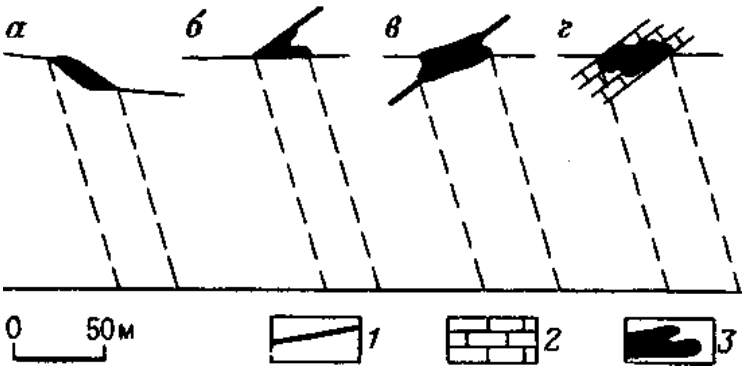

Рисунок 17 - Схема, иллюстрирующая различные типы рудных столбов: *1* – тектонические трещины, *2* – известняк, *3* – рудные столбы

Вблизи разрывных нарушений форма рудных тел, а также элементы их залегания часто изменяются. На рисунке 18 показано соотношение рудных жил с более ранним по времени возникновения (дорудным) и с более поздним (послерудным) нарушениями. В первом случае образовался раздув жилы (обогащенный участок), внутри нарушения появились лишь мелкие рудные прожилки; произошло выклинивание жилы. Во втором случае жила лишь смещена. Направление этого смещения можно определить по наличию рудных обломков.

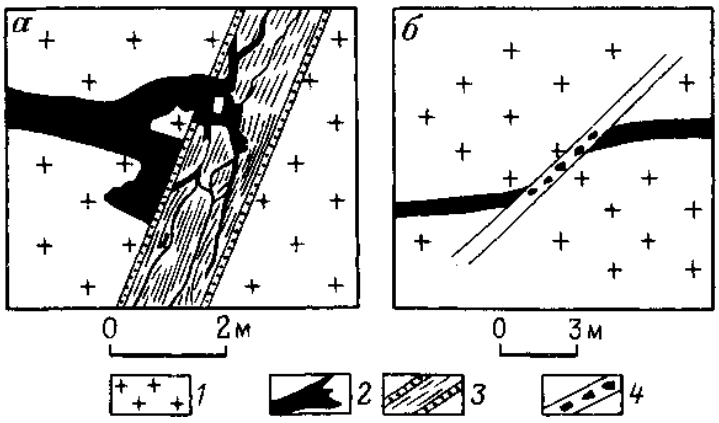

Рисунок 18 - Схемы, иллюстрирующие соотношение рудных жил с дорудным *(а)* и послерудным *(б)* разрывными нарушениями: *1* – граниты, *2* – рудные жилы, *3* – дорудное разрывное нарушение с тектонической глиной вдоль контактов, *4* – послерудное разрывное нарушение с обломками рудной жилы

Контрольные вопросы

1. Каковы морфологические типы рудных тел.
2. Как образуются и какова форма сингенетических тел полезных ископаемых.
3. Как образуются и какова форма эпигенетических тел полезных ископаемых.
4. Как образуются рудные столбы и каким образом определяются их элементы залегания.
5. Какие рудные тела называют штокверками и как они образуются.
6. Каким образом разрывные нарушения оказывают влияние на морфологию рудных тел.

МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ, ТЕКСТУРЫ И СТРУКТУРЫ РУД

Минеральный состав металлических и неметаллических полезных ископаемых включает рудные и нерудные минералы.

К категории рудных обычно относят оксиды и сульфиды тяжелых металлов, самородные металлы и интерметаллические соединения; к категории нерудных – силикаты, карбонаты, галоиды, сульфаты, фосфаты, бораты и самородные элементы, не обладающие металлическими свойствами. Из минералов извлекаются как основные компоненты, так и попутные, заключенные в них химические или механические примеси. Например, в комплексных титаномагнетитовых рудах магматического происхождения главными ценными минералами являются ильменит и магнетит, используемые для извлечения из них титана, железа и ванадия. Последний заключен в магнетите в виде изоморфной примеси. Минералы, входящие в состав руд, но не имеющие промышленной ценности, называют сопутствующими. Количественные соотношения минералов в рудах оценивают по трем категориям: главные (> 10%), второстепенные (1–10%) и редкие (< 1%).

Важнейшие элементы внутреннего строения рудных тел – их текстурные и структурные особенности, характеризующие пространственное распределение минералов, условия их образования, этапность и стадийность рудообразующего процесса. Важное значение имеют текстурно-структурные особенности при качественной оценке руд и технологии их переработки.

Текстура руды определяется пространственным взаиморасположением минеральных агрегатов, отличающихся друг от друга по составу, форме, размерам и структуре.

Структура руды определяется формой, размером и способом сочетания отдельных минеральных зерен или их обломков в пространственно обособленных минеральных агрегатах.

Текстуры и структуры руд месторождений эндогенной, эндогенно-экзогенной и экзогенной серий отличаются по морфологическим особенностям и условиям образования. Для каждой серии выделены характерные группы и подгруппы текстур, возникающие в рудах определенного типа в связи с проявлениями различных геологических процессов (таблица 2, таблица. 3).

Таблица 2 - **Генетическая классификация текстур эндогенных руд**

	Текстуры магматического образования		Текстуры постмагматического образования		Текстуры метаморфического образования	
Генетические группы текстур	ликвационной и кристаллизационной дифференциации расплава	отжимания расплава по тектоническим нарушениям	отложения из гидротермальных растворов в открытых полостях	метасоматического замещения	метаморфического преобразования	метаморфического новообразования
Морфологические виды текстур	Вкрапленная, нодулярная, гнездовая, шлировая, псевдослоистая, массивная	Жильная, прожил-ковая, сетчатая, брекчиево-цемент-ная, брекчиевидно-цементная, поточная	Жильная, прожилковая, пересечения прожилков, сетчатая, брекчиево-цементная, брекчиевидно-цементная, кокардовая, полосчатая, крустификационная, друзовая, колломорфная, массивная, гнездовая, вкрапленная	Прожилковидная, каемчатая, унаследованно-массивная, унаследованно-полосчатая, вкрапленная замещения, реликтовая	Полосчатая, плойчатая, сланцеватая, развальцевания, брекчирования, будинажа, просечковая	Прожилковая, жильная, массивная, полосчатая, вкрапленная, гнездовая
Генетические группы месторождений	Магматическая, отчасти карбонатитовая и пегматитовая		Гидротермальная, отчасти скарновая	Скарновая, отчасти гидротермальная, альбититовая, грейзеновая, пегматитовая, карбонатитовая	Метаморфизованная	Метаморфическая

Таблица 3 - **Генетическая классификация текстур эндогенно-экзогенных и экзогенных руд**

Генетические группы текстур	Эндогенно-экзогенные руды			Экзогенные руды			
	Текстуры поствулканического образования			Текстуры выветривания			Текстуры осадочного образования
	метасоматического замещения	гидротермально-осадочного отложения	конденсации из газовой фазы	химического и механического изменения	метасоматического замещения	заполнения полостей	химического, биохимического и механического образования
Морфологические виды текстур	Вкрапленная замещения, гнездовая замещения, прожилковидная, унаследованно-полосчатая, массивная	Слоистая, линзовидно-слоистая, послойно-вкрапленная, послойно-гнездовая, конкреционная, обломочная, массивная, колломорфная	Корковая, друзовая, порошковатая, прожилковая, гнездовая	Трещиноватая, пористая, кавернозная, каркасная, обломочная, порошковатая, реликтовая	Прожилковидная, каемчатая, сетчатая, вкрапленная замещения, массивная замещения, колломорфная	Прожилковая, сетчатая, цементная, корковая, друзовая, колломорфная	Слоистая, линзовидно-слоистая, оолитовая, конкреционная, обломочная, органогенная
Генетические группы месторождений	Вулканическая, вулканогенно-осадочная			Коры выветривания, зоны окисления			Осадочная

ТЕКСТУРЫ ЭНДОГЕННЫХ РУД

Текстуры магматического образования

Текстуры ликвационной и кристаллизационной дифференциации рудоносного расплава (рисунок 19).

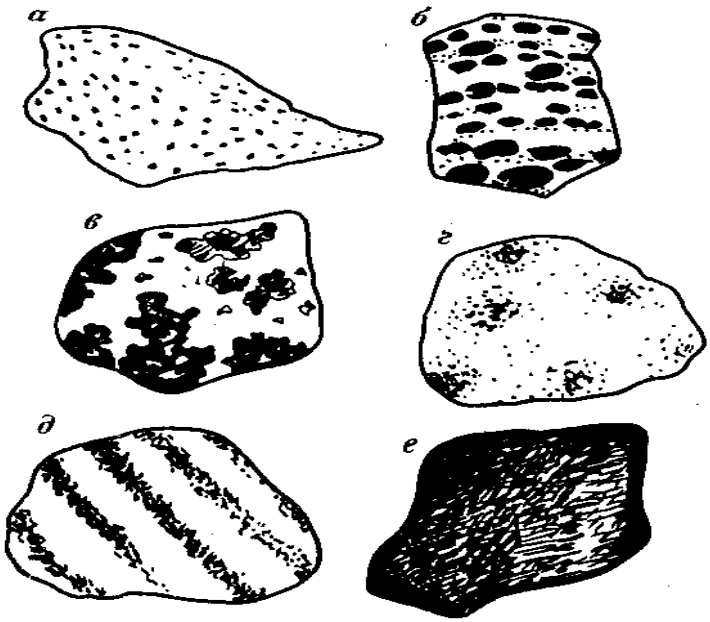

Рисунок 19 - Текстуры ликвационной и кристаллизационной дифференциации рудоносного расплава: *а* – вкрапленная; *б* – нодулярная; *в* – гнездовая; *г* – шлировая; *д* – псевдослоистая; *е* – массивная

Вкрапленная текстура характеризует распределение единичных минеральных обособлений – кристаллов и их сростков – в виде включений во вмещающей интрузивной породе. Размеры вкрапленников в рудах магматического происхождения обычно не более нескольких миллиметров (см. рисунок 19, *а*).

В зависимости от густоты вкрапленности и ее ориентировки выделяют густо-, рассеянно-, неравномерно- и ориентированно-вкрапленную текстуры.

В зависимости от величины вкрапленников различают крупно- (>3 мм), средне- (1–3 мм), мелко- (0,2–1 мм), тонко- (0,05–0,2 мм) и дисперсновкрапленную (< 0,05 мм) текстуры. Вкрапленные текстуры возникают как при кристаллизационной, так и при ликвационной дифференциации рудоносного расплава.

Нодулярная текстура характеризует распределение рудных обособлений округлой, овальной или уплощенной формы в виде включений в породах основного или ультраосновного состава (см. рисунок 19 *б*); Размеры нодулей колеблются в широких пределах и достигают иногда в поперечнике 15 мм. Известны нодулярные обособления, состоящие из сульфидов меди, железа и никеля, нодули хромитового состава и др. Для

сульфидных нодулей характерно расслоенное строение: донная часть обогащена более тяжелым пирротином, верхняя – халькопиритом. Происхождение нодулей объясняется ликвацией рудоносного расплава, то есть разделением его на несмешивающиеся жидкости – сульфидную и силикатную – до начала кристаллизации. Разновидности нодулярных текстур – ориентированно-нодулярная, нодулярно-полосчатая, густонодулярная, переходящая в массивную и др.

Гнездовая текстура характеризует распределение крупных, агрегатных обособлений рудного вещества во вмещающих интрузивных породах. Размеры гнезд достигают в поперечнике нескольких сантиметров (см. рисунок 19, *в*). Для руд магматического происхождения весьма характерно пространственное сочетание вкрапленных и гнездовых обособлений. Текстура таких руд получила название гнездово-вкрапленной.

Шлировая текстура возникает в результате сгущения рудных обособлений в определенных участках интрузивных пород (см. рисунок 19, *г*). Обособления представляют собой тесно соприкасающиеся или рассеянные вкрапленники или небольшие гнезда, иногда сопровождающиеся выклинивающимися маломощными прожилками.

Псевдослоистая текстура образована чередованием зон в интрузивной породе, обогащенных и обедненных рудным веществом. Подобные зоны ориентированы параллельно друг другу и часто имеют выдержанный по мощности и протяженности характер. Возникновение псевдослоистых текстур объясняется кристаллизационной и гравитационной дифференциацией рудоносного расплава (см. рисунок 19, *д*).

Массивная текстура характеризует строение руды, почти нацело состоящей из рудных минералов (рисунок 19, *е*); количество сопутствующих минералов не превышает 10% общего объема. Руды с массивной текстурой слагаются одним, двумя или целой группой рудных минералов. Распределение их может быть равномерным и неравномерным. В связи с этим различают разновидности массивных текстур – однородно-массивную, массивную с элементами полосчатой, массивную с элементами пятнистой ит. д.

Текстуры отжимания рудоносного расплава по тектоническим нарушениям (рисунок 20)

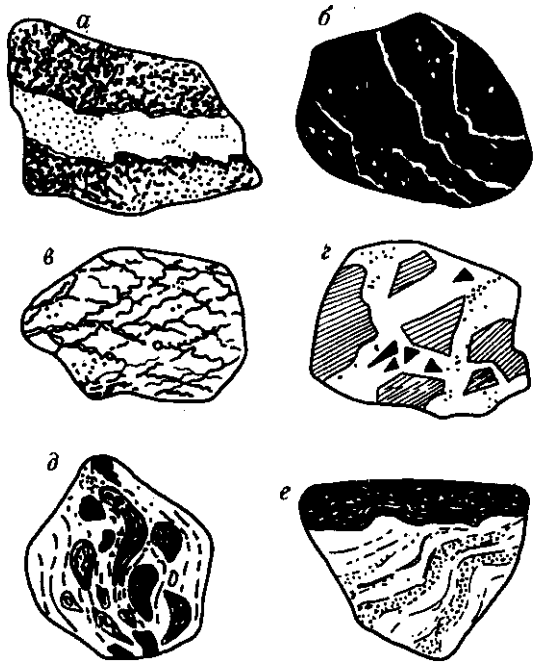

Рисунок 20 - Текстуры отжимания рудоносного расплава по тектоническим нарушениям: *а* – жильная; *б* – прожилковая; *в* – сетчатая; *г* – брекчиево-цементная; *д* – брекчиевидно-цементная; *е* – поточная

Жильная текстура возникает в результате выполнения рудоносным расплавом крупных единичных трещин в интрузивных породах (см. рисунок 20, а).

Прожилковая текстура образуется в результате проникновения рудоносного расплава в маломощные трещины, разбивающие вмещающие породы (см. рисунок 20, *б*).

Сетчатая текстура характеризует положение рудного вещества в системе трещин, разбивающих вмещающие породы (см. рисунок 20, *в*).

Брекчиево-цементная текстура образуется в результате тектонического дробления вмещающих интрузивных пород с последующей цементацией угловатых обломков веществом рудоносного расплава (см. рисунок 20,*г*).

Брекчиевидно-цементная текстура возникает в том случае, когда тектоническому дроблению подвергаются достаточно хрупкие породы. Одновременно происходящая цементация обломков рудным веществом приводит к их округлению и развальцеванию (см. рисунок 20, *д*).

Поточная или флюктуационная текстура образуется в результате вязкого пластичного перемещения кристаллизующегося рудоносного расплава. Отдельные минеральные агрегаты в этом случае удлинены, разлинзованы или округлены (см. рисунок 20,*е*).

Текстуры постмагматического образования

Текстуры отложения минерального вещества из гидротермальных растворов в открытых полостях (рисунок 21)

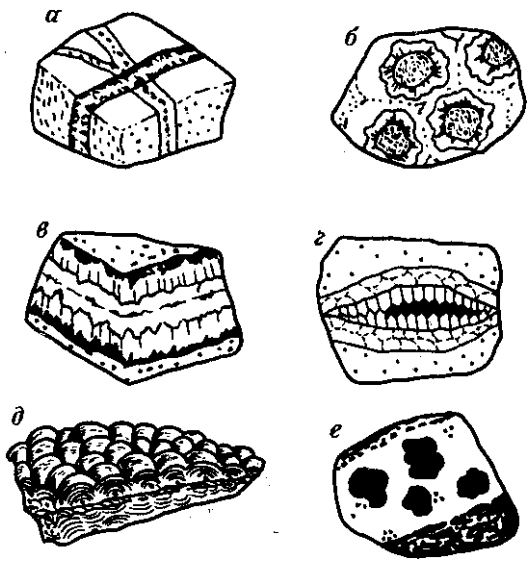

Рисунок 21 - Текстуры отложения из гидротермальных растворов в открытых полостях: *а* – пересечения прожилков; *б* – кокардовая; *в* – рустификационная; *г* – друзовая; *д* – колломорфная; *е* – гнездовая

Жильная текстура возникает в результате выполнения рудным и часто жильным веществом крупных трещин во вмещающих горных породах различного состава.

Прожилковая текстура образуется в результате отложения рудного и жильного вещества в маломощных трещинах, разбивающих вмещающие породы. Для месторождений гидротермального типа весьма характерно пространственное сочетание двух видов текстур – прожилковых текстур выполнения пустот с вкрапленными текстурами метасоматического замещения. Руды, имеющие подобное строение, получили название штокверковых. Разновидности прожилковых текстур: ориёнтированно-прожилковая, параллельно-прожилковая, текстура пересечения прожилков и др.

Текстура пересечения прожилков широко распространена в рудах гидротермального генезиса. Ее происхождение объясняется неоднократным возобновлением тектонических подвижек, сопровождаемых отложением гидротермальной минерализации. Пересечение прожилков, имеющих различный минеральный состав, нередко свидетельствует о стадийном характере рудообразующего процесса (см. рисунок 21, *а*). Сетчатая текстура является результатом отложения рудного и жильного вещества в системе соединяющихся трещин.

Брекчиево-цементная текстура образована сочетанием обломков минерального вещества угловатой формы с цементом иного состава и строения. В качестве обломков в рудном или жильном веществе часто наблюдаются гидротермально измененные вмещающие породы. В зонах долгоживущих тектонических нарушений при многократном приоткрывании трещин обломки могут содержать ранние ассоциации рудных и жильных минералов, в то время как в цементе могут присутствовать поздние продукты гидротермальной деятельности. В этом случае брекчиево-цементные текстуры, так же как и текстуры пересечения прожилков, могут свидетельствовать о стадийном характере рудообразующего процесса.

Брекчиевидно-цементная текстура отличается от брекчиево-цементной лишь сглаженным, округленным характером обломков минерального вещества. Изменение их формы может происходить в результате частичного замещения веществом цемента краевых зон обломков. Часто форма обломков зависит и от физико-механических свойств разрушаемых пород.

Кокардовая текстура – разновидность брекчиево-цементной или брекчиевидно-цементной. Вокруг обломков разнообразных размеров и форм цементирующее вещество располагается в виде кайм различной конфигурации и мощности (см. рисунок 21, *б*). Иногда развиваются несколько зон различного состава и строения, облекающие не только единичные обломки, но и их группы. Смена состава зон от границ обломка к периферии свидетельствует об изменении состава рудоносного раствора по мере развития рудообразующего процесса.

Полосчатая текстура характеризует строение руды, образованной сочетанием последовательно отложенных агрегатов различного минерального состава или структуры. Ранние агрегаты обычно отлагаются непосредственно на стенках трещин, тогда как поздние нарастают на поверхности ранее отложенных. Разновидности полосчатых текстур: неяснополосчатая, тонкополосчатая, ритмично-полосчатая, симметрично-полосчатая, крустификационная.

Крустификационная текстура – разновидность полосчатой и характеризует хорошо заметную закономерность в образовании минеральных агрегатов различного состава или строения, начиная от обеих стенок трещин к ее центральному замыканию (см. рисунок 21, *в*). Наблюдаются симметрично и асимметрично крустификационные текстуры, обусловленные примерно равной или резко различной мощностью зон, отложенных на обеих стенках трещин.

Друзовая текстура обусловлена нарастанием щеток кристаллов на стенках жеод-пустот, остающихся свободными от минерального вещества по мере заполнения им

зияющих трещин. Друзы кристаллов часто расположены симметрично относительно друг друга в центральных частях раздувов мощных гидротермальных тел. Наличие таких друзовых замыканий в теле жилы наглядно свидетельствует о способе образования минеральных агрегатов путем выполнения открытых полостей (см. рисунок 21, *г*).

Колломорфная текстура наблюдается в рудах, образованных в результате коагуляции коллоидных растворов. Рудные обособления имеют, как правило, сферическое строение (глобули, почки, сферолиты). Располагаясь в открытых полостях на стенках трещин или на поверхности ранее отложенных агрегатов, рудные обособления часто принимают форму полусфер-фестонов (см. рисунок 21, *д*). Текстуры, характеризующие строение подобных колломорфных агрегатов, получили различные наименования: почковидные, фестончатые, глобулярные, колломорфно-полосчатые и др.

Массивная текстура возникает в результате заполнения открытой полости минеральным веществом, имеющим преимущественно рудный или преимущественно жильный состав. Массивная текстура может быть характерна для всего рудного тела на всем его протяжении, но может быть проявлена и на отдельных участках.

Гнездовая текстура характеризует положение отдельных рудных обособлений изометричной или неправильной формы и значительных размеров, находящихся в виде включений в жильной массе, выполняющей открытую полость (см. рисунок 21, *е*).

Вкрапленная текстура характеризует положение единичных минеральных обособлений небольших размеров в жильной массе, выполняющей открытую полость.

Текстуры метасоматического замещения (рисунок 22).

Для текстур этой подгруппы характерны следующие особенности:

1. Границы новообразованных и замещаемых агрегатов носят неровный, извилистый характер;

2. В массе новообразованных агрегатов наблюдаются реликты – участки вмещающих пород, не подвергшиеся замещению;

3. Морфологический облик текстур часто является унаследованным от первичных текстур замещаемого субстрата.

Прожилковидная текстура образуется в отличие от прожилковой путем избирательного метасоматического замещения минеральным веществом околотрещинного пространства. Рудные и жильные минералы, представляя собой метакристаллы, часто имеют хорошо образованные ограничения и располагаются в виде цепочковидных обособлений вдоль тончайших волосовидных трещин, служащих

каналами для проникновения рудоносных растворов (см. рисуно 22, *а*). Разновидностью прожилковидной текстуры является цепочковидная.

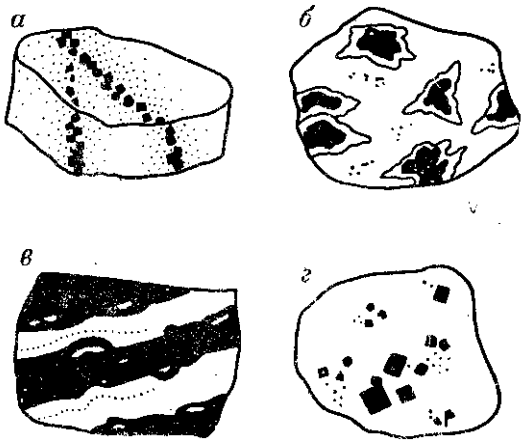

Рисунок 22 - Текстуры метасоматического замещения: *а* – прожилковидная; *б* – каемочная; *в* – унаследованно-полосчатая; *г* – вкрапленная замещения

Каемчатая текстура возникает в результате избирательного замещения рудным или жильным веществом периферических зон отдельных агрегатов, их обломков или зерен (см. рисунок 22, *б*).

Унаследованно-массивная текстура возникает в результате полного замещения породы или руды новообразованным агрегатом. С помощью микроскопических исследований, иногда и макроскопических, в рудах с унаследованно-массивной текстурой можно иногда увидеть реликты незамещенных минералов.

Унаследованно-полосчатая текстура образуется в результате процесса избирательного замещения. Метасоматические преобразования проходят лишь в отдельных слойках первичных пород, обладающих оптимальной пористостью и благоприятным химическим составом (см. рисунок 22, *в*). Наиболее активно процессы замещения проходят в карбонатных слойках и в прослоях песчаника, наименее интенсивно – в глинистых сланцах.

Вкрапленная текстура замещения широко развита в рудах скарнового типа и в ореолах гидротермального изменения вмещающих пород. Она характеризует положение отдельных мелких и крупных метакристаллов или их сростков, находящихся в виде рассеянных включений в замещаемой среде (см. рисунок 22, *г*).

Реликтовая текстура обусловлена наличием единичных, неправильной формы, часто мелких остатков замещаемого субстрата среди минералов-новообразований. Особенно хорошо реликты видны при микроскопических исследованиях.

Текстуры метаморфического образования

Текстуры метаморфического преобразования (рисунок 23)

Полосчатая текстура возникает в процессе пластичной деформации неоднородных по составу, часто первично слоистых руд. Метаморфические преобразования приводят в этом случае к изменению первоначальной мощности слойков, перемещению минерального вещества отдельных слойков относительно друг друга, утрате тонких деталей первичного строения в самих слойках. Руды, претерпевшие активные метаморфические преобразования и обладающие полосчатой текстурой, при внимательном изучении обнаруживают иногда признаки изоклинально-складчатого строения. В этих случаях заметно уменьшение мощности слойков на крыльях складок и увеличение мощности в замковой части, отрыв замковой части складки от ее крыльев, переход от полосчатой текстуры к линзовидно-полосчатой. Текстура руды, претерпевшей столь значительные метаморфические преобразования, может быть названа вторично-полосчатой (см. рисунок 23 *а*).

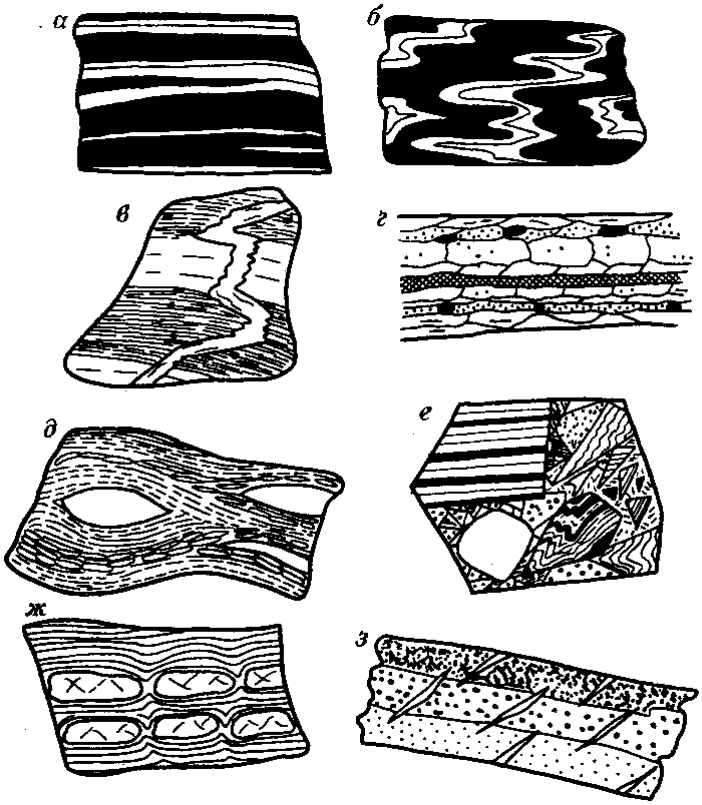

Рисунок 23 - Текстуры метаморфического преобразования: *а* – вторично-полосчатая; *б* – плойчатая; *в* – птигматитовая; *г* – сланцеватая; *д* – развальцевания; *е* – брекчирования; *ж* – будинажа; *з* – просечковая

Плойчатая текстура возникает как результат пластичной деформации руд, сминаемых в мелкие складки различной амплитуды, интенсивности и ориентировки (см. рисунок 23, *б*). Разновидность плойчатой текстуры – складчатая, проявляющаяся в крупном масштабе и хорошо заметная лишь в обнажениях или забоях горных выработок. Плойчатая и складчатая текстуры наблюдаются чаще всего в рудах с неоднороднослоистым первичным сложением. Интересной разновидностью складчатой текстуры является птигматитовая. Последняя характеризует строение минеральных прожилков, рассекавших ранее горную породу и смятых вместе с ней в складки под влиянием метаморфических преобразований (см. рисунок 23, *в*).

Сланцеватая текстура характеризует строение метаморфически преобразованной руды, минеральные индивиды которой приобрели ориентированное положение, согласное с общей ориентировкой минеральных агрегатов (см. рисунок 23, *г*). При раскалывании подобной руды она хорошо выявляет взаимно-параллельные поверхности, называемые плоскостями сланцеватости. Сланцеватость может совпадать или не совпадать с ориентировкой первичной слоистости руды или породы.

Текстура развальцевания возникает в результате уплощения, изгибания и раздавливания отдельных хрупких минеральных агрегатов, находящихся в массе более пластичных. Разновидность текстуры развальцевания – очковая текстура (см. рисунок 23, *д*). Последняя характеризует положение наиболее хрупких составляющих рудного вещества в виде округлых или чечевицеобразных обособлений в пластичной минеральной массе.

Текстура брекчирования возникает в рудах, подвергшихся интенсивной хрупкой деформации. Она характеризует строение руды, состоящей из обломков различных размеров, формы и состава. Наряду с угловатыми обломками в брекчированных рудах могут присутствовать обломки неправильной формы и даже округлые, что обусловлено явлениями их развальцевания. Крупные обломки нередко цементируются более тонко измельченным минеральным веществом того же состава (см. рисунок 23, *е*).

Текстура будинажа возникает в рудах, имеющих неоднороднослоистое строение и подвергшихся интенсивному дислокационному метаморфизму. В результате складкообразования или сильного одностороннего сжатия в таких рудах происходит нарушение сплошности хрупких слойков, их разрыв с последующим облеканием образовавшихся обломков веществом соседних слойков, состоящих из более пластичного материала (см. рисунок 23, *ж*).

Просечковая текстура характеризует строение слоистой или неоднородно-полосчатой руды, рассеченной короткими, быстро выклинивающимися трещинками, ориентированными вкрест или под углом к направлению полосчатости (см. рисунок 23, *з*). Часто подобные трещинки, рассекая один из слойков, быстро затухают и выклиниваются при переходе в соседние. Подобные трещинки обычно минерализованы веществом, заимствованным из метаморфизованных руд или горных пород.

Текстуры метаморфического новообразования

Прожилковая текстура характеризует положение в пространстве минерального вещества, мобилизованного метаморфическими растворами и отложенного в тонких трещинках руды или горных пород. Часто местом отложения такого вещества являются тонкие волосовидные трещинки-просечки, идущие вкрест или под углом к первичной полосчатости руды или породы.

Жильная текстура характеризует строение минерального вещества, образованного также с участием метаморфических растворов, но отложенного в открытых, зияющих трещинах значительных размеров. Особенностью таких рудных тел является то, что слагающее их вещество заимствовано метаморфическими растворами из вмещающих пород и имеет регенерированный характер. Подобный генезис имеет, например, вещество жильных хрусталеносных тел в горных породах, обогащенных кремнистой составляющей.

Массивная текстура характеризует строение руд, имеющих однородное, сплошное, часто мономинеральное сложение. Такие руды возникают при глубокой метаморфической перестройке вещества с изменением первичного минерального состава и текстурно-структурных признаков, а также в результате новообразования руд в контактовой зоне интрузий. Например, известны графитовые руды с массивной текстурой, возникшие за счет контактово-метаморфических преобразований каменного угля.

Полосчатая текстура характеризует строение руд, возникших в процессе глубоких метаморфических преобразований и обладающих неоднородным, полосчатым строением. Подобная текстура характерна для рудных масс, возникших в условиях регионального метаморфизма высоких ступеней, когда практически все минеральное вещество оказывается переотложенным, регенерированным. Такими текстурами обладают, например, железные руды архейского и протерозойского возраста, претерпевшие метаморфизм высоких ступеней.

Вкрапленная текстура характеризует строение руд, образованных с участием метаморфических растворов. Такие руды имеют спорадический, рассеянный характер распределения рудного вещества.

Гнездовая текстура – разновидность вкрапленной текстуры руд, в которых минеральные агрегаты достигают значительных размеров (несколько сантиметров и более). Подобным строением характеризуются некоторые метаморфические месторождения золота, редких и радиоактивных металлов, графита, меди, никеля.

ТЕКСТУРЫ ЭНДОГЕННО-ЭКЗОГЕННЫХ РУД

Текстуры поствулканического образования

Текстуры метасоматического замещения. Текстуры метасоматического замещения руд поствулканического генезиса по морфологическим особенностям мало чем отличаются от текстур руд постмагматического генезиса. Широко распространены следующие их виды: вкрапленная и гнездовая замещения, прожилковидная, в отдельных участках – унаследованно-полосчатая и унаследованно-массивная. Отличительная особенность руд этого типа – приуроченность к метасоматически измененным вулканогенным или вулканогенно-осадочным породам. Характерны перечисленные виды срастаний минеральных агрегатов для многих колчеданных месторождений: серноколчеданных, медноколчеданных и колчеданно-полиметаллических. Характерные для руд этого типа вкрапленные текстуры имеют обычно метасоматическое происхождение. Вкрапленные метасоматические руды всегда располагаются в лежачем боку массивных руд и приурочены к проницаемым зонам в вулканогенных породах, подвергшихся хлоритизации, серицитизации, окварцеванию и активной пиритизации.

Текстуры гидротермально-осадочного отложения (рисунок 24). Текстуры данной подгруппы характеризуют строение поствулканических руд, возникающих из гидротермальных растворов и рассолов, вулканических эксгаляций и эманаций, поступающих из земных глубин. Отложение рудных масс происходит на дне водоемов, часто в совокупности с собственно осадочным хемогенным и терригенным материалом. Рудные агрегаты приобретают вид уплощенных линз, слоев, гнезд, вкрапленников, разнообразных по величине конкреций.

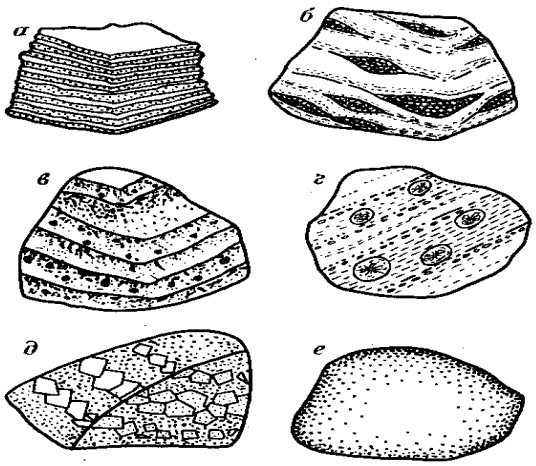

Рисунок 24 - Текстуры гидротермально-осадочного отложения: а – слоистая; *б* – линзовидно-слоистая; *в* – послойно-вкрапленная; *г* – конкреционная; *д* – обломочная; *е* – массивная

Своеобразие текстур данной подгруппы обусловлено морфологическими особенностями минеральных агрегатов и характером их образования.

Слоистая текстура характеризует строение руды, образованной сочетанием чередующихся уплощенных минеральных агрегатов., отличающихся друг от друга составом, строением, мощностью, протяженностью, ориентировкой (см. рисунок 24, *а*). Разновидности слоистых текстур: грубослоистая, тонкослоистая, неравномерно-слоистая, ритмично-слоистая, неясно-слоистая, линзовидно-слоистая и др. (см. рисунок 24, *б*). Подобные виды текстур характерны, например, для вулканогенно-осадочных, отчасти метаморфизированных железных руд – железистых кварцитов, наблюдаются в рудах колчеданного, телетермального (стратиформного) типа.

Послойно-вкрапленная текстура характеризует строение слоистой руды, неравномерно (послойно) обогащенной небольшими по величине рудными включениями (см. рисунок 24, *в*). Внутреннее строение обогащенных слойков может быть густовкрапленным, рассеянно-вкрапленным, спорадически-вкрапленным и т. д. Наряду с небольшими включениями в послойно-обогащенных рудах иногда наблюдаются более крупные гнездовые обособления. Текстура руды в таком случае называется послойно-гнездовой. В рудах вулканогенно-осадочного типа часто наблюдаются сочетания крупных и мелких послойных обособлений рудного вещества. Текстура таких руд называется послойно-гнездововкрапленной. Вышеописанные разновидности текстур распространены, например, в свинцово-цинковых и медных рудах стратиформных месторождений.

Конкреционная текстура характеризует строение осадков, состоящих из оксидов кремнезема, алюминия, карбонатов. Образуются скопления агрегатов сферической, иногда блинчатой формы, имеющих концентрически-зональное, реже однородное внутреннее строение. Размеры конкреций колеблются в широких пределах (см. рисунок 24, *г*). Наиболее крупные, достигающие в поперечнике десятков сантиметров, получили название конкреционных линз. В зависимости от величины конкреций и их морфологии выделяют следующие разновидности конкреционных текстур: маковая или пороховидная (0,3–0,5 мм); дробовая (0,5–1 мм); гороховая (2–5 мм); бобовая (0,5–1 см); ореховая (1–3 см); монетная (1,5–2 см); блинчатая (2–15 см). Разновидностью конкреционной текстуры является также конкреционно-цементная, характеризующая строение осадочных и вулканогенно-осадочных пород, содержащих конкреционные включения. Различают конкреции ископаемые и современные. Последние нередко покрывают огромные пространства дна океанов, образуя рудные скопления. Такие конкреции слагаются в основном оксидами железа и марганца. Известны

конкреции, состоящие из оксидов кремнезема, алюминия, карбонатов кальция, магния, железа, сульфатов кальция, бария, сульфидов железа.

Обломочная текстура характеризует строение руды, в образовании которой принимали участие вулканические взрывы – эксплозии. Обломки представляют собой механические осколки рудного вещества, раздробленного в результате взрывной деятельности вулкана (см. рисунок 24, *д*). Форма обломков – неправильная, угловатая, иногда округлая. Размеры колеблются в широких пределах, достигая в поперечнике десятков сантиметров. Наиболее хорошо изучены рудокласты медноколчеданных месторождений. Находятся они здесь обычно в виде включений в пирокластических породах кровли массивных сульфидных залежей.

Массивная текстура широко распространена в рудах вулканогенно-осадочного происхождения. Наиболее распространенной ее разновидностью является массивная с элементами слоистой и массивная с элементами вкрапленной и пятнистой (см. рисунок 24, *е*). Возникают подобные текстуры в результате последовательного отложения мало отличающихся по составу, существенно рудных слойков, почти лишенных примеси сопутствующих жильных минералов. Наиболее часто встречаются такие текстуры в рудах колчеданных месторождений.

Колломорфная текстура характерна для руд гидротермально-осадочного происхождения. Она свидетельствует о том, что отложение минерального вещества происходило в виде геля (часто сложного состава) из коллоидных растворов. Колломорфное строение минерального вещества иногда трудно распознается макроскопически и требует детального изучения руды под микроскопом.

Текстуры конденсации минерального вещества из газовой фазы. В результате выхода горячего вулканического газа в относительно холодные приповерхностные зоны вулкана происходит кристаллизация минерального вещества в виде корок, друз, порошковатых, гнездовых и прожилковых скоплений в трещинах, вокруг обломков и просто на поверхности вулканических пород. Процесс отложения твердого вещества из газовой фазы путем кристаллизации называется конденсацией. Переход твердого вещества в газовую фазу, минуя жидкое состояние, называется сублимацией. Названные процессы имеют место при образовании месторождений самородной серы. Известны скопления порошковатых, корковых и прожилковых масс – конденсатов нашатыря, реальгара, аурипигмента, киновари, гематита, висмутина и других минералов. Промышленного значения такие скопления обычно не имеют.

ТЕКСТУРЫ ЭКЗОГЕННЫХ РУД

Текстуры выветривания

Текстуры химического и механического изменения (рисунок 25). Поверхностные преобразования, связанные с выветриванием различных по составу горных пород и руд, приводят к возникновению в них новых, ранее несвойственных черт строения. Плотные горные породы и руды могут приобрести пористое, кавернозное, обломочное или даже порошковатое сложение. Под влиянием поверхностных агентов выветривания в них появляется густая сеть трещин.

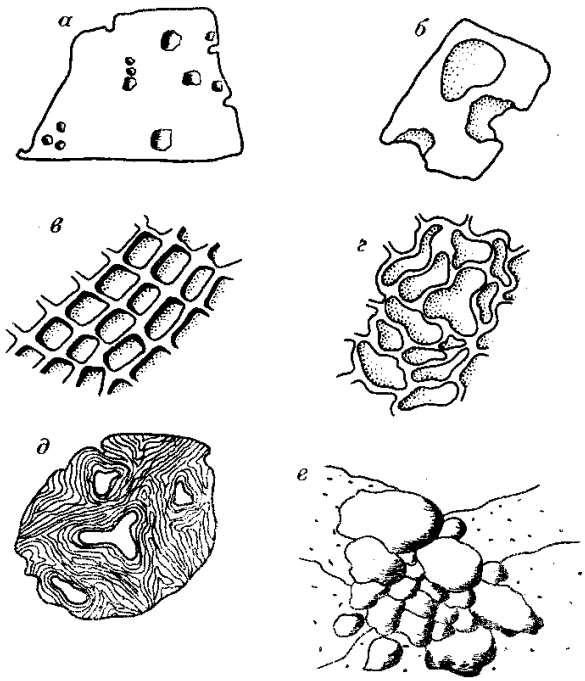

Рисунок 25 - Текстуры химического и механического преобразования: *а* – пористая; *б* – кавернозная; *в* – каркасная ящичная; *г* – каркасная губчатая; *д* – реликтовая; *е* – обломочная

Текстуры горных пород и руд, претерпевших поверхностные изменения, имеют обычно весьма сложный характер. С одной стороны, в них отчасти сохраняются так называемые реликтовые текстуры, или первичные, существовавшие до начала процессов выветривания. Вместе с тем, появляются текстуры вторичные, возникшие под влиянием поверхностных изменений. К их числу относятся, прежде всего, текстуры химического и механического преобразования: трещиноватая, пористая, кавернозная, каркасная, обломочная, порошковатая, реликтовая.

Трещиноватая текстура возникает в результате физического изменения первичных руд и горных пород путем их механического растрескивания. Появление мелких трещинок, объединяющихся в целую систему трещиноватости, способствует активному не только физическому, но и химическому преобразованию исходного вещества как в близповерхностных условиях, так и в более глубоко залегающих зонах.

Пористая текстура характеризует строение пород и руд, подвергшихся выщелачивающему воздействию грунтовых вод. Растворение и вынос минерального вещества происходят обычно избирательно, в связи с чем возникают отдельные разрозненные небольшие пустоты, называемые порами (см. рисунок 25, *а*). Пористые текстуры образуются обычно в верхних зонах кор выветривания или зон окисления, в обстановке активного движения и просачивания вод. Внутренние поверхности таких пор выстилаются иногда минералами-новообразованиями – гидроксидами железа или марганца в сочетании с опалом или халцедоном.

Кавернозная текстура является разновидностью пористой текстуры. Она характеризует строение руды или породы, пронизанной крупными (до нескольких десятков сантиметров в поперечнике) полостями, возникшими в результате выщелачивающего воздействия поверхностных вод (см. рисунок 25, *б*).

Каркасная текстура получила свое наименование благодаря своеобразному, похожему на каркас, строению кремнисто-гидроксидных агрегатов, остающихся на месте выщелачивания ранее сплошных сульфидных руд. Форма кремнисто-гидроксидного каркаса определяется характером первичной трещиноватости сульфидов и особенно характером трещинок спайности отдельных минералов. Поверхностные растворы, циркулируя по таким трещинкам, отлагают в них кремнистое вещество, насыщенное включениями гидроксидов железа. Вместе с тем, последующий активный вынос самого сульфидного вещества приводит к образованию открытых полостей. В итоге создаются минеральные агрегаты с каркасно-пористым строением, резко различным по морфологическим признакам. Так, цементация прямолинейных, пересекающихся под прямым углом трещинок приводит к возникновению каркаса с прямыми ровными перегородками. Возникающие в этом случае текстуры получили наименование ящичных (см. рисунок 25, *в*). Цементация криволинейных трещинок ведет к возникновению соответствующего каркаса губчатой формы. Текстуры образований такого типа получили наименование губчатых (см. рисунок 25, *г*). По форме каркаса, размеру ячеек, положению их в пространстве опытный геолог может решить вопрос о составе ранее существовавших минеральных масс. Так, по галениту и сфалериту образуются обычно каркасы ящичной формы, по пириту, не обладающему спайностью, – каркасы губчатого строения.

Обломочная текстура характеризует строение руд, претерпевших значительные физические и химические изменения. Обломочное строение часто имеют те минеральные агрегаты, которые оказались устойчивыми к химическому разложению. Накапливаясь в определенных зонах коры выветривания или зоны окисления, они образуют так называемое сыпучие агрегаты, состоящие из большого числа мельчайших зерен и обломков первичных руд – кварца, барита, пирита и т.д. (см. рисунок 25, *е*).

Порошковая текстура характеризует строение весьма тонко измельченного несцементированного минерального вещества, состоящего из обломков различной формы и состава. Разновидностью порошковатой текстуры является землистая, комковатая.

Реликтовая текстура относится к числу микротекстур. Она характеризует сочетание различных минеральных агрегатов, один из которых сохраняется в массе другого в виде небольших остатков от замещения (см. рисунок 25, *д*).

Текстуры метасоматического замещения (рисунок 26). В процессе выветривания горных пород и руд наряду с физическим и химическим разрушением первичного минерального вещества происходит образование новых минеральных агрегатов, устойчивых в поверхностных условиях. Такое минеральное вещество отлагается как путем выполнения пор, каверн, трещин, так и путем метасоматического замещения первичных пород или руд. К числу главнейших разновидностей текстур, образованных метасоматическим путем, относятся следующие: прожилковидная, каемчатая, сетчатая, массивная, вкрапленная, колломорфная.

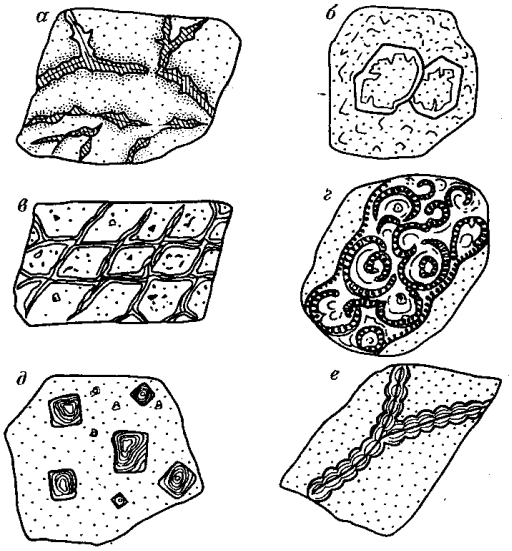

Рисунок 26 - Текстуры метасоматического замещения: *а* – прожилковидная; *б* – каемочная; *в* – сетчатая; *г* – петельчатая; *д* – вкрапленная замещения; *е* – колломорфно-прожилковая

Прожилковидная текстура возникает в тех случаях, когда вновь образованное минеральное вещество располагается вдоль тонких трещинок, имеющих невыдержанный, прерывистый характер (см. рисунок 26, *а*). Подобная текстура является результатом метасоматического замещения первичных руд и характерна для многих новообразований коры выветривания и зоны окисления. Широко распространены, в рудах прожилковидные агрегаты гидроксидов железа и марганца, карбонатов магния, меди, цинка, железа, сульфатов свинца, цинка и т. д.

Каемчатая текстура возникает в результате избирательного замещения первичных минералов веществом-новообразованием. Последнее располагается по границам рудных выделений, следуя контурам таких обособлений (см. рисунок 26, *б*). Известны каемчатые микротекстуры, образованные вторичными минералами меди (ковеллином, халькозином, борнитом) вокруг выделений халькопирита. Весьма характерна каемчатая микротекстура замещения гаденита церусситом и англезитом. Каемчатые выделения гидроксидов железа часто располагаются по периферии зерен пирита и т. д.

Сетчатая текстура характеризует строение первичных руд и горных пород, густо пронизанных прожилками вторичных минералов. При микроскопических исследованиях хорошо заметны неровные, извилистые границы между реликтовыми и замещающими минералами, а также неоднородное, часто зональное строение самих прожилков (см. рисунок 26, *в*). Разновидностью сетчатой текстуры является петельчатая. Отличается она от ранее описанной текстуры извилистыми, плавно изогнутыми очертаниями минеральных агрегатов, имеющих вторичный характер (см. рисунок 26, *г*). Сетчатая и петельчатая текстуры характерны как для верхних, так и для глубоких зон коры выветривания и зоны окисления.

Массивная текстура замещения возникает в результате полного изменения первичного состава руд. Возникающие в поверхностных условиях минеральные агрегаты приобретают массивное строение $_t$ в значительном объеме рудного вещества. Образуются они в результате метасоматического преобразования первичных агрегатов. Массивной текстурой в отдельных участках зоны цементации обладают, например, руды, нацело сложенные вторичными сульфидами меди. Массивной текстурой могут обладать залежи вторичных смитсонитовых руд, массивное сложение имеют в отдельных участках гарниерит-нонтронитовые залежи, возникающие в результате выветривания ультраосновных пород, и т. п.

Вкрапленная текстура замещения отличается от вышеописанной разновидности только морфологически. Она характеризует строение и положение в

пространстве вторичных минеральных агрегатов, рассеянных в виде отдельных включений в массе первичных пород или руд (см. рисунок 26, *д*). Вкрапленный характер имеют, например, вторичные сульфиды меди в зоне цементации. Там они наложены на первичные сульфидные руды. Такой процесс имеет место в глубоких частях зоны окисления, располагающихся ниже уровня грунтовых вод.

Колломорфная текстура замещения – своеобразный вид текстуры, характеризующий строение и формы выделения минеральных агрегатов, образованных метасоматическим путем и вместе с тем обладающих колломорфным строением. Наиболее широко распространенным морфологическим видом является колломорфно-прожилковая текстура (см, рисунок 26, *е*). Минеральные обособления, имеющие такое строение, чаще всего представлены совокупностью различных по составу гидроксидов железа, иногда в сочетании с коллоидным кремнистым веществом.

Текстуры заполнения полостей (рисунок 27). К числу наиболее широко распространенных текстур настоящей подгруппы относятся следующие: прожилковая, сетчатая, брекчиевидно-цементная, корковая, друзовая, колломорфная или натечная.

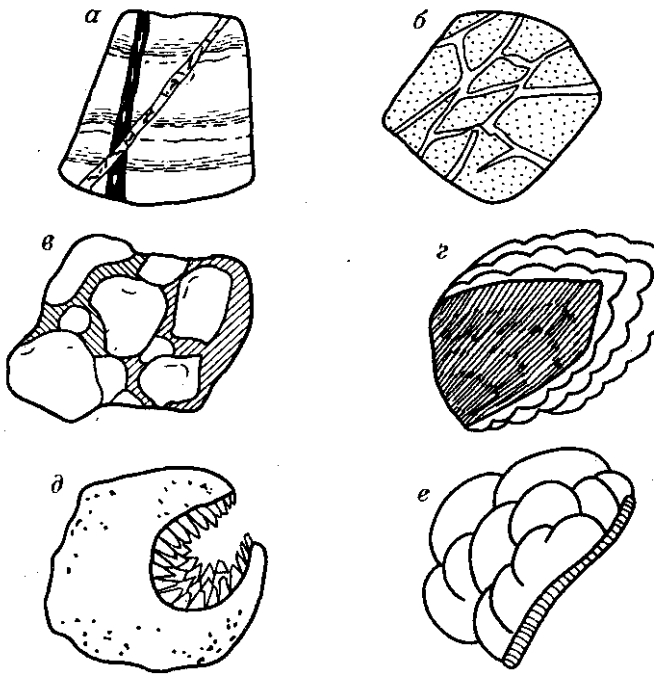

Рисунок 27 - Текстуры заполнения открытых полостей: *а* – прожилковая; *б* – сетчатая; *в* – обломочно-цементная; *г* – корковая; *д* – друзовая; *е* – колломорфно-почковидная

Прожилковая текстура возникает при цементации открытых единичных трещин в первичном рудном субстрате минеральным веществом вторичного происхождения. Границы образованных таким образом прожилков имеют обычно довольно четкий и даже резкий характер в отличие от границ прожилковидных образований, возникших метасоматическим путем (см. рисунок 27, *а*).

Сетчатая текстура отличается от вышеописанной прожилковой лишь морфологически. Она возникает при наличии густой сети трещин в замещаемом первичном минеральном веществе, заполненных минералами-новообразованиями (см. рисунок 27, *б*).

Обломочно-цементная текстура возникает как результат цементации частично замещенных обломков первичных руд или горных пород минеральным веществом поверхностного происхождения (см. рисунок 27, *в*). Например, обломки интенсивно метасоматически измененных пород основного состава (серпентинитов) могут быть сцементированы минеральными агрегатами гарниерит-нонтронит-асболанового состава. Мелкие обломки полуразрушенного кварца могут быть сцементированы сложно построенной массой гидроксидов железа и т. д.

Корковая текстура характеризует положение в пространстве и форму выделения минеральных агрегатов, отложенных на поверхности обломков первичных руд или горных пород, а также положение и форму минеральных агрегатов, выстилающих стенки крупных пустот выщелачивания – каверн. Такие минеральные агрегаты часто имеют небольшую мощность, зональное или полосчатое внутреннее строение и часто коллоидальное происхождение. Наружная поверхность корочек часто имеет бугристую почковидную форму, внутренняя поверхность, то есть поверхность соприкосновения с субстратом, повторяет форму обломка или полости, в которой отлагается минеральное вещество (см. рисунок 27, *г*).

Друзовая текстура характеризует строение и характер расположения минеральных агрегатов, состоящих из хорошо образованных, тесно сросшихся кристаллических индивидов, называемых друзами или щетками. Такие минеральные агрегаты, подобно вышеописанным корковым образованиям, выстилают стенки каверн, трещин или нарастают на обломках первичных руд и горных пород (см. рисунок 27, *д*). Основания кристаллов располагаются на поверхности минерального субстрата, вершины их находятся в открытом пространстве, благодаря чему такие кристаллы могут приобретать совершенные кристаллографические ограничения.

Колломорфная, или натечная, текстура возникает в поверхностных условиях в результате отложения минеральных масс путем коагуляции коллоидных

растворов. Разновидности натечных текстур: почковидная, колломорфно-полосчатая, колломорфно-корковая, сталактитовая, сталагмитовая, фестончатая, глобулярная и др. Для минеральных агрегатов подобного типа характерна сферическая, полусферическая, цилиндрическая, конусовидная форма. Образуются такие агрегаты путем отложения в открытых полостях. Их образование обычно идет постепенно, путем послойного или зонального отложения минерального вещества, в связи с чем внутреннее строение таких агрегатов бывает неоднородным полосчатым или концентрически-зональным (см. рисунок 27, *е*).

Текстуры осадочного образования

Своеобразие текстур данной группы (рисунок 28) обусловлено морфологическими особенностями минеральных агрегатов, образованных хемогенным, терригенным или биогенным путем на дне водоемов, представляющих собой океаны, моря, озера, русла, долины и дельты рек, болота. Такие агрегаты имеют обычно уплощенную, реже округленную или неправильную форму, а также форму органических остатков живых организмов, населявших некогда водоемы, где имел место седиментогенез.

Слоистая текстура относится к числу наиболее распространенных. Она характеризует строение руды, образованной сочетанием последовательно отложенных уплощенных минеральных агрегатов, отличающихся друг от друга составом или строением, а иногда и составом, и строением, часто мощностью и ориентировкой слоиков. Такие минеральные агрегаты имеют выдержанный характер по простиранию и мало меняют особенности строения на значительном расстоянии (см. рис. 28, *а*). К числу разновидностей слоистых текстур можно отнести грубослоистую, тонкослоистую, неравномерно-слоистую, ритмично-слоистую, неяснослоистую, косослоистую, волнистослоистую и др. Подобные виды текстур характерны для осадочных руд железа, марганца, алюминия, для минеральных солей, многих месторождений строительных материалов – глин, песков, известняков, доломитов и т. д.

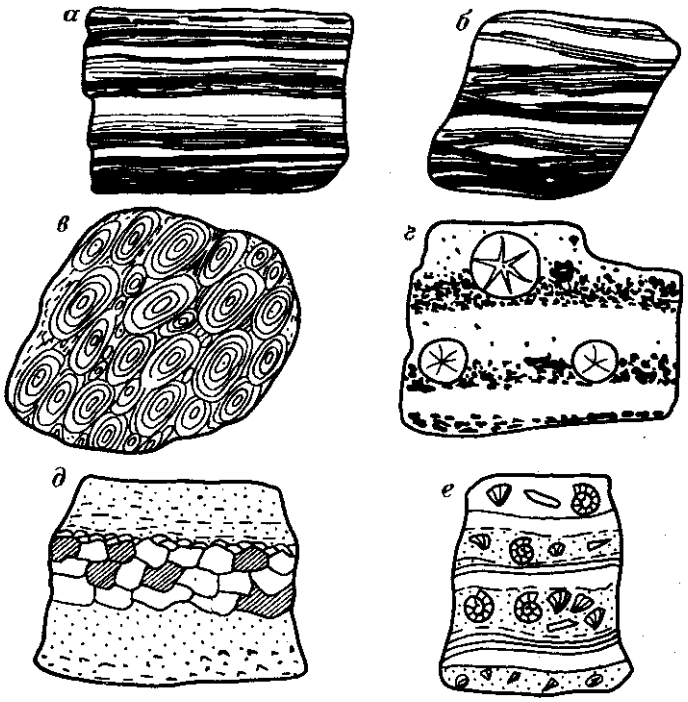

Рисунок 28 - Текстуры осадочного образования: *а* – слоистая; *б* – линзовидно-слоистая; *в* – оолитовая; *г* – конкреционно-цементная; *д* – обломочная; *е* – органогенно-обломочная

Линзовидно-слоистая текстура в отличие от слоистой характеризует строение руды, сложенной невыдержанными быстро выклинивающимися, резко меняющими мощность уплощенными минеральными агрегатами (см. рисунок 28, *б*).

Оолитовая текстура является разновидностью колломорфной текстуры, т. е. текстуры, образованной в результате отложения минерального вещества из коллоидных растворов путем их коагуляции. Отдельный оолит представляет собой округлое концентрически-зональное, небольшое по размеру образование, в центральной части которого часто находится небольшой обломок кварца, полевого шпата, магнетита или другого минерала. Подобный обломок служит центром, вокруг которого происходит послойное отложение коллоидного вещества. Минеральный состав отдельных зон оолита может быть неодинаков (см. рисунок 28, *в*). Руды, образованные большим скоплением тесно привыкающих друг к другу оолитов, сцементированы часто песчано-глинистым или глинисто-карбонатным веществом. Руды с оолитовой текстурой образуются обычно в движущейся водной среде, например в прибрежно-морских условиях, где существует поступательное и возвратное движение мельчайших частиц обломочного вещества. Оолитовая текстура наиболее характерна для осадочных руд железа, марганца, алюминия.

Конкреционная текстура возникает в рудах в тех случаях, когда минеральное вещество обособляется в виде довольно крупных, достигающих в поперечнике десятков сантиметров, шаровидных стяжений (см. рисунок 28, *г*). Известны

конкреции, состоящие из оксидов алюминия, кремнезема, сульфидов железа, карбонатов железа, кальция, магния. Разновидностью конкреционной текстуры является конкреционно-цементная, характеризующая строение осадочных руд, содержащих единичные рассеянные конкреционные включения. Руды с конкреционной текстурой развиты в фосфоритовых месторождениях, отчасти марганцевых, железорудных, иногда бокситовых.

Обломочная текстура характеризует строение отдельных слойков в осадочных рудах или целых горизонтов, сложенных сцементированными, часто разновеликими, различно ориентированными обломками разнообразного состава, формы и строения. Происхождение таких обломков связывается с процессами подводного оползания и разрушения вещества, а также с процессами его наземного разрушения с последующим переносом и отложением в водных бассейнах (см. рисунок 28, *д*). Обломочная текстура часто наблюдается в сочетании со слоистой, линзовидно-слоистой. Разновидностью обломочной текстуры является конгломератовая. Последняя характеризует строение руды, состоящей из обломков, претерпевших значительное окатывание.

Органогенная текстура характеризует строение руды, содержащей окаменелые остатки организмов, чаще всего раковины или их обломки. Обилие таких остатков в рудах при их плохой сохранности приводит к образованию органогенно-обломочного материала. В этом случае текстура руды может быть названа органогенно-обломочной (см. рисунок 28, *е*).

СТРУКТУРЫ РУД

Детальное изучение структур руд проводится обычно в процессе изучения полированных шлифов, что обусловлено мелко- и тонкозернистым строением большинства рудных образований. Макроскопически отдельные кристаллы могут быть установлены лишь в сравнительно крупнозернистых агрегатах. В связи с этим при макроскопическом описании структур руд можно ограничиться лишь характеристикой типа зернистости, подразделив структуры на явнозернистые (крупно-, средне- и мелкозернистые) и руды с неясновыраженной или совершенно не выраженной зернистостью. Последние характеризуются, таким образом, скрытокристаллической или афанитовой структурой.

Крупно- и даже гигантокристаллическое строение может быть присуще пегматитам, крупнокристаллическое строение характерно для карбонатитов.

Среднезернистое строение характерно для многих постмагматических руд – грейзеновых, альбититовых, гидротермальных, скарновых. Мелкозернистое строение присуще большинству магматических образований: Микрозернистое, скрытокристаллическое и афанитовое строение устанавливается часто в рудах экзогенного происхождения: в продуктах кор выветривания, в осадочных рудах.

В метаморфизованных рудах величина кристаллов рудных минералов обычно возрастает пропорционально усилению метаморфических преобразований руд и вмещающих их пород. В слабометаморфизованных рудах структуры тонкозернистые, в интенсивнометаморфизованных – крупнозернистые.

Кроме зернистых или кристаллических структур в рудах могут присутствовать и обломочные структуры. Характерны они для руд россыпных месторождений и отчасти для руд осадочного происхождения.

Кроме определения структур по размеру минеральных индивидов, существует подразделение структур по способу сочетания отдельных зерен, степени их идиоморфизма, типу минеральных индивидов.

Детальные микроскопические исследования структур руд в сочетании с изучением их минерального состава позволяют сделать заключение о генетической принадлежности минеральных образований, о способе отложения минерального вещества, а иногда и о температурных условиях отложения минеральных индивидов.

Существует большое количество морфогенетических разновидностей структур руд. Из всего разнообразия их ниже охарактеризованы только некоторые, характерные, постоянно присутствующие в рудах определенного типа.

Для руд магматического происхождения весьма характерны структуры распада твердого раствора. Присутствуют они в титаномагнетитовых и медно-никелевых рудах. Экспериментально установлены температуры, при которых происходит разделение гомогенного твердого раствора на две самостоятельные минеральные фазы. Для руд магматического происхождения температуры распада обычно высокие. Например, магнетит и ильменит образуются за счет распада твердого раствора – титаномагнетита – при температуре 700° С (рисунок 29, *а*). Пламеневидная , структура распада пентландита в пирротине возникает при температуре 450° С (см. рисунок 29, *б*).

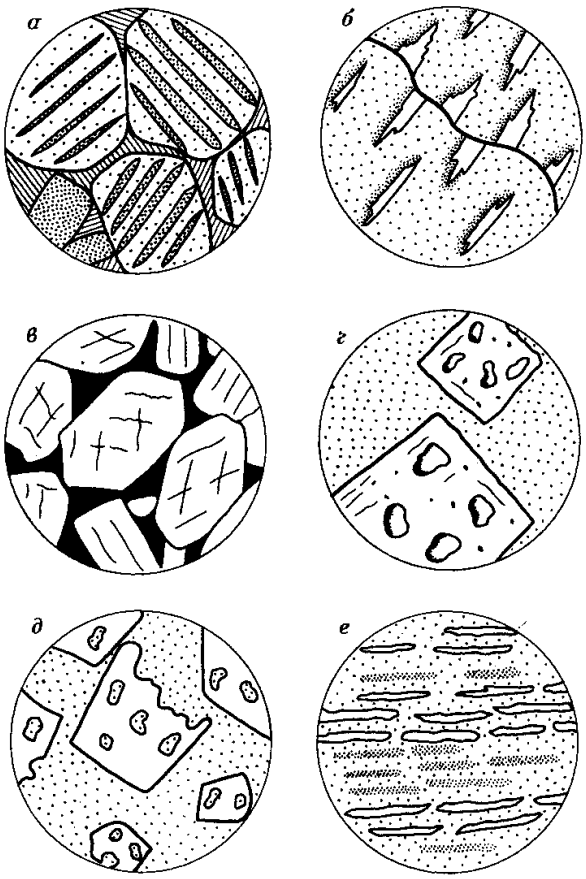

Рисунок 29 - Характерные структуры эндогенных руд: *а* – пластинчатая структура распада твердого раствора (ильменит в магнетите, 700°); б – пламеневидная структура распада твердого раствора (пентландит в пирротине, 450°); *в* – сидеронитовая (гипидиоморфнозернистая) структура (черное — титаномагнетит, светлое – породообразующие минералы); *г* – пойкилитовая структура (включения самородного золота в кристаллах пирита); *д* – метакристаллы кобальтина с реликтами в них минералов скарна; *е* – ориентированно-бластическая структура железнослюдкового кварцита

В любом случае температура кристаллизации твердого раствора из рудоносного расплава должна быть выше температуры распада твердых фаз. Температуры распада твердого раствора получили название геологических термометров.

В титаномагнетитовых рудах часто наблюдается так называемая сидеронитовая структура (см. рисунок 29, *в*) – разновидность гипидиоморфнозернистой структуры. В рудах этого типа идиоморфны, то есть обладают собственными кристаллографическими формами породообразующие минералы – пироксены, основной плагиоклаз. В интерстициях и межзерновых промежутках этих минералов располагаются рудные минералы – магнетит, ильменит. Сидеронитовая структура говорит о порядке кристаллизации минералов из рудоносного расплава, характерна она для руд позднемагматического генезиса.

В рудах постмагматического происхождения – гидротермальных, скарновых – структуры распада также присутствуют. Характерны они для совершенно других минералов и сами температуры распада здесь значительно ниже (350–150° С). В качестве примера можно назвать пары минералов, образующие структуры распада: сфалерит-халькопирит, сфалерит-пирротин, борнит-халькопирит и другие.

В рудах постмагматического происхождения часто наблюдаются пойкилитовые структуры-вростки тончайших включений одного рудного минерала в другом (см. рисунок 29, *г*). В качестве примера можно привести включения самородного золота в кристаллах пирита из гидротермальных золоторудных месторождений. Размеры золотин иногда так малы, что их присутствие устанавливается только под электронным микроскопом при увеличении в несколько тысяч раз. Для постмагматических руд характерны два способа отложения минерального вещества – в открытых полостях путем свободной кристаллизации из растворов и путем метасоматического замещения породы. В первом случае структуры руд называют кристаллическими или зернистыми, во втором – метазернистыми. Надежная диагностика метазерен возможна лишь при наличии в них реликтов – мельчайших остатков тех минералов или того минерала, который был замещен (см. рисунок 29, *д*).

Размеры реликтов обычно малы, для их определения требуется тщательный микроскопический анализ минерального вещества. Для руд метаморфического происхождения характерны так называемые бластические структуры (см. рисунок 29, *е*). Минеральные индивиды в таких рудах часто очищены от примесей в результате прошедшей перекристаллизации в твердом состоянии. При интенсивном метаморфизме индивиды могут быть ориентированы в руде в одном направлении, при глубоких метаморфических преобразованиях происходит укрупнение отдельных зерен, растут порфиробласты тех минералов, для которых характерна большая сила кристаллизационного роста (магнетит, гранат и др.).

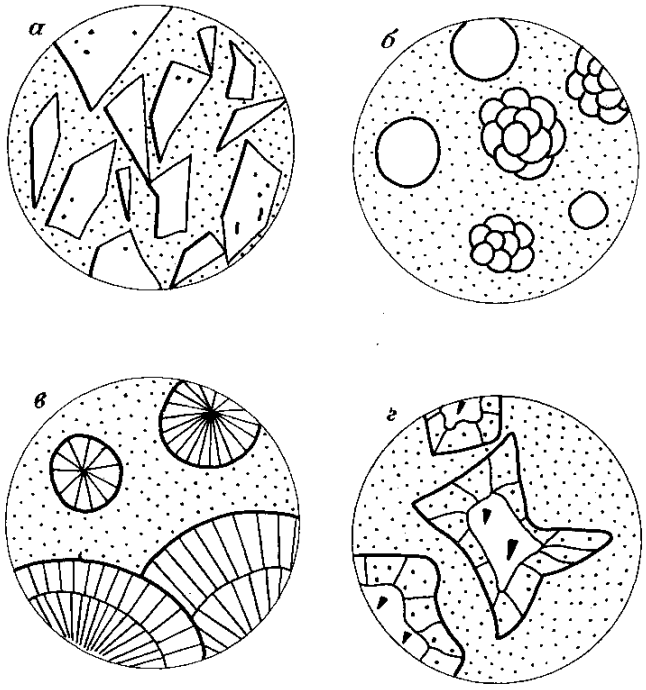

Рисунок 30 - Характерные структуры руд: *а* – катакластическая (результат хрупкой тектонической деформации минерала); *б* –глобулярная и фрамбоидальная (результат отложения из коллоидных растворов); *в* – метаколлоидная радиально-лучистая (результат раскристаллизации коллоидного вещества); *г* – аллотриоморфнометазернистая (результат замещения галенита церусситом)

В эндогенных рудах часто наблюдаются структуры, происхождение которых связано с хрупкой или пластичной деформацией минерального вещества. Их называют в первом случае катакластическими, во втором – структурами смятия. Хрупкие минералы (пирит, арсенопирит и др.) разрушаются с образованием осколков, обломков, часто имеющих остроугольную форму (рисунок 30, *а*). Их называют кластами. Пластичные минералы (например, галенит, пирротин, халькопирит) будут деформированы, отчасти перекристаллизованы, и их агрегаты могут цементировать обломки хрупких минералов. Устанавливая последовательность отложения минерального вещества в рудах постмагматического происхождения, надо иметь в виду возможность такого механизма образования прожилковых и брекчиево-цементных текстур.

Весьма интересные структуры наблюдаются в рудах, происхождение которых связано с коллоидными растворами. Минеральные обособления, например, пирита наблюдаются в виде мельчайших глобулей или сростков-фрамбойдов (см. рис. 30, *б*). Характерны такие структуры для колчеданных руд, стратиформных и низкотемпературных гидротермальных образований.

Структуры руд экзогенного происхождения весьма своеобразны. Они трудны для изучения под микроскопом. Размеры индивидов иногда столь малы, что кристаллическое

строение руды можно уставить только с использованием рентгеноструктурного анализа. Такие структуры называют скрытокристаллическими или криптокристаллическими. Иногда минеральное вещество экзогенного происхождения обладает афанитовой структурой, т. е. не имеет кристаллического строения. Подобный характер структур обусловлен широким участием в процессе экзогенного рудообразования коллоидных растворов. Рудное вещество, отлагаясь в виде геля, приобретает первоначально некристаллическое коллоидное строение. Последующая раскристаллизаця коллоидов приводит к образованию метаколлоидных агрегатов, имеющих скрытокристаллическую, микро- или тонкозернистую структуру (см. рисунок 30, *в*). Минеральные новообразования в зонах окисления или корах выветривания часто образуются метасоматическим путем (например, каемки англезита и церуссита по галениту). Структуры таких новообразований называются метазернистыми (см. рисунок 30, *г*).

Детальное изучение структур руд с использованием полированных шлифов и специальной учебной литературы проводится в процессе изучения курса «Лабораторные методы исследования полезных ископаемых»).

МЕТОДИКА РАБОТЫ С КАМЕННЫМ МАТЕРИАЛОМ

Начиная работу с каменным материалом (образцами руд из месторождений различных типов), следует придерживаться следующего плана. Рассмотрев внимательно образец, надо прочитать этикетку, расположенную в коробке, и обязательно уяснить полностью минеральный состав руды, пользуясь необходимыми справочниками и консультациями преподавателя. Иногда мелкие и рассеянные включения минерала могут оказаться главными промышленно ценными составляющими изучаемой руды. Например, включения лопарита (размером 1–2 мм) в щелочной породе можно просто не заметить, а этот минерал определяет ценность и комплексность руд, из которых извлекаются ниобий, тантал, титан и редкие земли.

После определения минерального состава следует обратить внимание на характер расположения минералов в руде, выделить и назвать присутствующие в ней минеральные агрегаты: вкрапленники, гнезда, нодули, обломки, цемент, прожилки, основную массу, полоски, каемки, оолиты, линзы, слойки, корки и т. д.

Соотношения минеральных агрегатов в руде определяются понятием «текстура»: вкрапленная, гнездовая или пятнистая, нодулярная, брекчиевая, брекчиево-цементная, прожилковая, массивная, полосчатая, каемчатая, оолитовая, линзовидная, слоистая, корковая и т. д. Определив морфологический вид текстуры и зная минеральный состав

руды, необходимо определить морфогенетический тип текстуры, воспользовавшись генетической классификацией текстур эндогенных, эндогенно-экзогенных и экзогенных руд. Например, брекчиево-цементная текстура может быть встречена как в рудах магматического, так и в рудах постмагматического происхождения. Однако, определив, что руда содержит обломки породы основного состава, а цемент сложен сульфидами (пирротином, пентландитом, халькопиритом), можно уверенно говорить, что наблюдаемый тип срастаний относится к группе текстур отжимания расплава по тектоническим нарушениям, а руды относятся к формации халькопирит-пирротин-пентландитовой в основных породах.

Определив морфогенетический тип текстуры, можно затем охарактеризовать структурные особенности минерального вещества в каждом отдельно взятом минеральном агрегате. Например, структура породы, представленной в руде обломками, мелкозернистая, а структура рудного сульфидного цемента – средне- или даже крупнозернистая. Прочитав раздел «Структуры руд» и рассмотрев рисунки в пособии, можно получить представление и о других характерных особенностях сульфидного агрегата, например, о присутствии в нем структур распада твердого раствора и т. д. Изучение минерального состава и строения руд полезно сопровождать зарисовками штуфных образцов.

Кроме констатации минеральных соотношений в рудах можно проводить и анализ последовательности образования минеральных агрегатов, что позволяет воссоздать стадийность, а иногда и этапность рудообразующего процесса, восстановить обстановку накопления минерального вещества (рисунок 31).

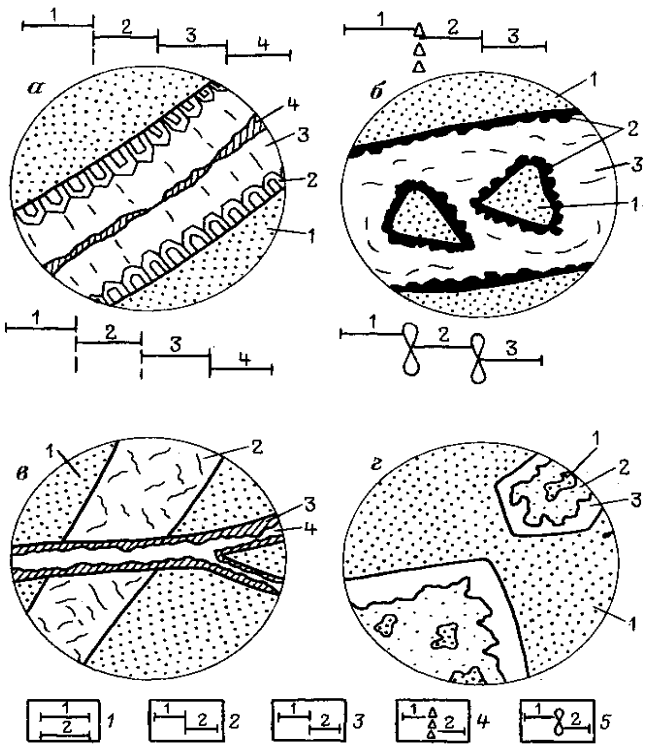

Рисунок 31 - Примеры графического анализа последовательности образования минералов в рудах с различным минеральным составом и текстурными особенностями: *а – г* – текстуры *(а* – жильная и крустификационная; *б* – брекчиевая, кокардовая, цементная; *в* – пересечения прожилков; *г* – каемчатая метасоматического замещения и реликтовая): *1–5* – взаимоотношения минералов (*1* – минералы 1 и 2 образуются одновременно; *2* – минералы 1 и 2 образуются последовательно; *3* – минерал 1 пересекается прожилками минерала 2; *4* – обломки минерала 1 цементируются минералом 2; *5* – минерал 2 замещает минерал 1)

Анализируя в дальнейшем соотношения минералов и минеральных агрегатов в рудах одного типа, можно составить общую схему последовательности образования минералов, выделив парагенетические ассоциации минералов и стадии их образования. Подробные схемы с использованием данных микроскопических исследований студенты составят во время написания курсовых работ по предмету «Лабораторные методы исследования полезных ископаемых».

Контрольные задания

1. Зарисуйте образец медно-никелевой руды с нодулярной текстурой. Обратите внимание на характер расположения рудных минералов внутри отдельных модулей (хорошо видны розовый пирротин и желтый халькопирит). Объясните, почему произошло расслоение вещества в модулях. Сориентируйте образец относительно дна бывшей магматической камеры.

2. Объясните происхождение «слоистости» хромитовых руд. Почему текстуру называют псевдослоистой.

3. В сульфидной медно-никелевой руде заключены остроугольные обломки ультраосновной породы в одном случае и слегка изогнутые, округленные обломки метаморфической породы – в другом.

Объясните механизм образования срастаний такого типа и назовите текстуры ж для первого и второго образца.

4. Обратите внимание на ориентировку и плавные изгибы минеральных агрегатов в апатит-нефелиновой руде. Объясните происхождение поточных текстур.

5. В руде гидротермального происхождения наблюдаются пересечения прожилков, отличающихся по минеральному составу. Может ли такая текстура свидетельствовать о стадийности рудообразующего процесса?

6. В рудах метасоматического происхождения найдите реликты-участки горной породы, сохранившиеся при активном ее замещении эпигенетическим минеральным веществом. Найдите другие признаки метасоматического происхождения руд (неровные границы агрегатов, унаследованные формы минеральных образований, невыдержанный характер минеральных обособлений).

7. Объясните происхождение колломорфных текстур. О каком характере рудообразующих растворов они свидетельствуют? Сделайте зарисовки почковидной, фестончатой, колломорфно-полосчатой текстуры.

8. Рассмотрите внимательно прожилки руды во вмещающей породе с четкими ровными границами и прожилки с неровными, извилистыми границами. Обратите внимание на ориентировку кристаллов в прожилках первого и второго типа. В каком случае имел место процесс выполнения пустот минеральным веществом и в каком шел процесс метасоматического замещения.

9. Сделайте зарисовки образцов руды с крустификационной и кокардовой текстурами. Объясните, почему эти две разновидности текстур встречаются в одном и том же участке руды. Объясните механизм образования минеральных агрегатов и последовательность отложения минерального вещества. Составьте схему последовательности, используя вышеприведенные условные обозначения.

10. Зарисуйте образцы массивных руд медно-колчеданного или колчеданно-полиметаллического типа. Обратите внимание на элементы слоистости или полосчатости в этих рудах.

Объясните происхождение подобных текстур: а) в колчеданных рудах, не подвергшихся метаморфическим преобразованиям; б) в рудах, испытавших дислокационный метаморфизм.

11. Объясните происхождение каркасных текстур. Рассмотрите форму каркаса в различных образцах руд. Чем отличается ящичная текстура от губчатой, почему меняется форма каркаса?

12. В каких условиях и в какой среде образуются оолиты? Каково их внутреннее строение? С участием каких растворов образуются оолитовые руды железа, марганца, алюминия?

13. Зарисуйте образцы с полосчатой текстурой. Объясните процесс ее происхождения.

14. Сделайте зарисовки образцов руды с плойчатой текстурой. Объясните ее происхождение.

Авраменко Светлана Михайловна,
старший преподаватель кафедры ГиП АмГУ

Основы учения о полезных ископаемых. Методические указания к выполнению практических работ

Изд-во АмГУ. Подписано к печати _____. Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 3,5. Тираж 100. Заказ _____.

Отпечатано в типоргафии АмГУ.