Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Сибирский государственный индустриальный университет»

Е.Д.Шпайхер, В.Р.Кривошеин

Посвящается 60-летию
Горного факультета
Сибирского государственного
индустриального университета

Вещественный состав и технологические свойства полезных ископаемых

Учебное пособие по дисциплине «Обогащение» для студентов специальности 130405 «Обогащение полезных ископаемых»

Новокузнецк 2008

УДК 622.79 + 549.1 (075)

Рецензенты:
Почетный член академии горных наук, генеральный директор ОАО «СибНИИ обогащение» доктор технических наук Антипенко Л.А., Зав. кафедрой экологии и естествознания НФИ КемГУ, доктор технических наук Сенкус В.В.

Шпайхер Е.Д., Кривошеин В.Р. Вещественный состав и технологические свойства полезных ископаемых: Учебное пособие./ СибГИУ. – Новокузнецк, 2008. - 271 с.

Предназначено для студентов обучающихся по направлению «Горное дело», специальность «Обогащение полезных ископаемых»

© Сибирский государственный индустриальный университет, 2008г

ВВЕДЕНИЕ

Современное развитие мировой практики производства кокса, чёрных, цветных, редких и благородных металлов сопровождается непрерывным увеличением их объёмов и качества в условиях постоянного повышения требований к охране окружающей среды и улучшения использования природных ресурсов. Эта тенденция носит долговременный характер, которая сопровождается вводом в эксплуатацию новых месторождений, характеризующихся сравнительно низким содержанием полезных компонентов в сырье.

Эта ситуация углубляется тем, что наряду с обеднением руд прослеживается качественное ухудшение их технологических характеристик.

Прежде всего, это относится к рудам сложного минерального состава (труднообогатимым рудам). Полезные компоненты представлены в них минералами с близкими технологическими свойствами. Отсутствие необходимой контрастности свойств снижает полноту извлечения, а порой не возможно извлечь полезные компоненты современными методами обогащения.

Изменчивость технологических свойств руды, поступающей па обогащение, приводит к резкому увеличению неоднородности

обогащаемого сырья и смешиванию технологически несовместимых типов руд. В этом случае возрастают потери металлов из-за проведения операций обогащения в неоптимальных режимах. На обогащение стала поступать не руда, а горная масса.

Текстурно-структурные характеристики сырья всё более осложняются. Если в начале двадцатого века па обогащение поступало сырьё с включениями рудных минералов размером в среднем более 1 мм, то уже к концу первой половины столетия, для всех типов руд, этот размер снизился более чем па порядок. Стандартным показателем необходимой степени измельчения для высвобождения минералов стал размер 74 мкм. В настоящее время некоторые руды можно разделить па минеральные фазы только при измельчении до 50 мкм. Такое измельчение рудной массы вызывает переизмельчение части минералов, что вызывает резкий рост удельной поверхности материала. Это создаёт качественно новые условия, влияющие на закономерности всех процессов обогащения, и служит одним из источников потерь металлов па обогатительных фабриках.

Увеличилось влияние обогащения полезных ископаемых на окружающую среду. В настоящее время мелкая порода (хвосты обогащения) накапливаются в гидроотвалах падёжных и экономичных, так как они не требуют капитальных гидротехнических сооружений. При уменьшении крупности измельчения руды до 50 мкм хвостохранилища этого чина теряют устойчивость. Появляется необходимость в сооружении хвостохранилищ с запорной плотиной из бетона или скального грунта, что увеличивает их стоимость. Пыление тонкоизмельченного материала заметно отражается на окружающей среде. Всё больше требуется земельных угодий под хвостохранилища.

Несоответствие традиционной технологии обогащения, изменившемуся состоянию минерально-сырьевой базы, поставило задачу - ускорения научно-технического прогресса в области обогащения полезных ископаемых. Это, прежде всего, интенсификация научно-исследовательских по изысканию совершенных методов прогнозной оценки месторождений с целью определения возможности вовлечения его запасов в отработку с последующим обогащением. Заслуживают внимание вопросы совершенствования технологических процессов. Новых подходов требуют вопросы рудоподготовки и создания нового оборудования. В этой обстановке значительно повысилась роль

технологической минералогии, которая является фундаментом научных исследований в области обогащения минерального сырья.

В учебном пособии расширены сведения о вещественном составе и его влиянии на обогатимость полезных ископаемых. Приведены геолого-минералогические параметры, влияющие на методы обогащения руд. Представлена систематизация минералов по составу, кристаллическому строению и единству этих свойств. Освещены вопросы технологических свойств сырья, разработки технологии обогащения.

В учебном пособии использованы известные учебные издания по гравитационным, флотационным методам обогащения, а также по магнитным, электрическим и специальным методам обогащения.

Настоящее учебное пособие написано в соответствии с основным содержанием дисциплины «Технология обогащения полезных ископаемых» для высших учебных заведений, ведущих подготовку специалистов по направлению «Горное дело» по специальности «Обогащение полезных ископаемых».

В подготовке к изданию приняли участие студенты СибГИУ: Горбунова К., Кащеев И., Пилипищина И., Попова О., Ретунская Т., Франк Е., Янак Т.

Авторы выражают искреннею признательность старшему преподавателю кафедры геологии и геодезии Шипиловой А.М., много времени затратившей на набор и компьютерную правку издания.

Особую благодарность авторы адресуют рецензентам - почетному члену академии горных наук, генеральному директору ОАО «СибНИИ обогащение» доктору технических наук Антипенко Л.А., Зав. кафедрой экологии и естествознания НФИ КемГУ, доктору технических наук Сенкусу В.В.

ГЛАВА 1 ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ НА РАЗВИТИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ СИЛ ОБЩЕСТВА

1.1 Краткая история развития учения о полезных ископаемых

Основные понятия учения о полезных ископаемых

Полезное ископаемое – природное минеральное образование, которое используется в народном хозяйстве (в сфере материального производства [ГЭ4-185]) в естественном виде или после предварительной обработки (переработки) путём дробления, сортировки, обогащения, для извлечения ценных металлов или минералов. Полезные ископаемые разделяются на твёрдые, жидкие и газообразные. Большинство полезных ископаемых относятся к твёрдым, которые применяются как химические элементы или их соединения, а также кристаллы, минералы, горные породы. Ермолов [26]

По промышленному использованию полезные ископаемые разделяются на металлические, неметаллические и горючие полезные ископаемые.

Металлические полезные ископаемые служат для извлечения из них металлов и элементов:

чёрные металлы (Fe, Mn, Cr, Ti);

легирующие, тугоплавкие металлы (Ni, Co, W, Mo);

цветные металлы (Cu, Pb, Zn, Al, Sb, As, Hg);

благородные металлы(Au, Ag, Pt, платиноиды);

радиоактивные металлы (U, Ra, Th);

редкие и рассеянные металлы (Rb, Zr, Nb, Ta, Ga, Ge, In);

редкие земли (лантан, церий, иттрий).

К неметаллическим полезным ископаемым относятся:

строительные материалы;

горнохимическое сырье (исходное сырье для химической промышленности и производства минеральных удобрений – барит, гипс, каменные соли, фосфорное сырье, флюорит);

горнорудное сырье (флюсы и огнеупоры в металлургии – кварц, кальцит, доломит), драгоценные, полудрагоценные, декоративные и поделочные камни – алмаз, рубин, гранат,

турмалин и др., абразивные минералы – алмаз, корунд; оптическое сырье – слюда; огнестойкие минералы – графит, асбест и др.

Горючие полезные ископаемые:

твердые – торф, горючие сланцы, бурый уголь, каменный уголь;

жидкие – нефть, газовый конденсат и газообразные – природные газы.

Руда – минеральный агрегат, из которого технологически возможно и экономически целесообразно извлекать металлы, соединения металлов или минералы, являющиеся объектом использования в народном хозяйстве.

До недавнего времени рудами назывались только те минеральные агрегаты, из которых извлекались металлы. В настоящее время термин руда распространен и на неметаллические полезные ископаемые (асбестовые, апатитовые, графитовые и др.) По количеству компонентов различают монометальные (мономинеральные) и полиметальные (полиминеральные или полиметаллические).

Понятие «полезное ископаемое», «руда» являются условными и отражают состояние, уровень развития техники, технологии и экономики в определенный исторический период. Так, по данным В.И. Вернадского, человек в древние века потреблял только 18 элементов, к восемнадцатому веку их число возросло до 25, в девятнадцатом веке – до 47 и, наконец, в настоящее время более 80 элементов таблицы Д.И.Менделеева.

При наличии в рудах попутных ценных компонентов (металлов, неметаллов), извлечение которых экономически выгодно, руды считаются комплексными. По химическому составу преобладающих в руде минералов среди них различают силикатные, кремнистые, оксидные, карбонатные и смешанные. Руды, добываемые из залежей, заключенных в осадочных, магматических и метаморфических породах, называются коренными, а добываемые из речных, озерных, морских песков – россыпными.

Месторождение полезных ископаемых – это скопление минерального вещества на поверхности или в недрах Земли, по количеству, качеству и условиям залегания, пригодное для

промышленного использования. [14] Понятие «Месторождение полезного ископаемого» является геолого-экономическим. Совокупность требований к количеству и качеству полезных ископаемых в недрах и горно-геологическим условиям месторождений называют промышленными кондициями. Они не являются постоянными и могут меняться в зависимости от экономических условий, состояния техники и технологии добычи и переработки минерального сырья.

Учение о полезных ископаемых относятся к геолого-экономическим дисциплинам. К этой группе следует также относить методику поисков и разведки месторождений полезных ископаемых, экономику минерального сырья и геологоразведочных работ, а также технологию минерального сырья. Все эти дисциплины тесно связаны между собой.

Учение о полезных ископаемых развивалось одновременно с развитием горных промыслов, его возникновением и последующим совершенствованием горного дела.

С глубокой древности, в эпоху первобытнообщинного строя, человек использовал различные камни, а затем и примитивные каменные орудия. Каменный век длился от 800 тыс. лет до 6 тыс. лет до н.э. на Древнем востоке и до 4 тыс. лет до н.э. в Европе. На территории нашей страны в это время применяли щебень, гальку и валуны из кремня, из которых можно сделать плоские заостренные обломки. Различные драгоценные и цветные камни находили применение в качестве украшений. Постепенно осваивались и металлы, - вначале человек использовал железо (по-видимому, метеоритное), самородную медь и золото, а затем он научился выплавлять из руд металлы, то олово, медь. История применения золота насчитывает не менее 12 тыс. лет до н.э. Бронзовый век, во время которого научились получать легкоплавкие сплавы меди с оловом, свинцом и серебром, длился примерно от 4 тыс. лет до 1 тыс. лет до н.э.

Во втором тысячелетии до н.э. на Древнем Востоке стали выплавлять железо из руды, и начался железный век. Что касается горючих полезных ископаемых, то установлено раскопками в районе Евфрата, что нефтяные промыслы в этом районе

существовали еще 6-4 тыс. лет до н.э. Позднее (но еще до н.э.) в обиход человека вошел уголь.

Таблица 1.1 – Хронологическая последовательность освоения основных полезных ископаемых, связанная с эволюцией производительных сил в истории человечества

Век	Продолжитель-ность, тыс. лет	Полезные ископаемые
Каменный	800-4	Кремень, роговик, кварц, кварцит, соль, глина, известняк и другие виды неметаллического сырья.
Бронзовый	4-1	Медь, олово, золото, ртуть, драгоценные камни
Железный	с1-го тысячелетия до н.э.	Железо, марганец, хром, свинец, цинк, серебро, сурьма, каменный уголь, слюды
XX	0,1	Вольфрам, молибден, титан, ванадий, никель, кобальт, платина, алюминий, редкие и радиоактивные металлы, пьезооптическое сырье, бор, флюорит, нефть, газ.

На территории России в ряде мест обнаружены следы древних разработок, так называемые чудские копи. Они известны на Урале, Алтае. Добыча руд меди, олова, золота и серебра велась здесь за несколько тысячелетий до нашей эры. На Алтае имеются следы древних разработок талькового камня, используемого для изготовления посуды и других целей. Письменные источники и многочисленные мировые памятники материальной культуры показывают, что на территории древнего государства с давних пор существовал горный промысел. К числу стародавних промыслов на Руси относятся добывание соли из подземных рассолов (начиная с XI века), добыча ценных минеральных красок, разработка и плавка железных, главным образом болотных, руд. Позже начинают поиски и разработку слюды, руд цветных и драгоценных металлов

(хотя медь добывалась еще из доисторических времен), а также поиски и добыча различных «узорчатых каменьев», (т.е. самоцветов, мрамора и др.) Слюда с побережья Белого моря и Восточной Сибири, употреблявшаяся вместо стекла в XV-XVII веках, известная далеко за пределами России – «Мусковии», получила повсеместно название мусковита.

Освоению рудных богатств Сибири способствовало создание в 1637 году Сибирского приказа. Были обнаружены выходы серебряной руды на левом берегу Енисея, железных руд в Кузнецком уезде, слюды в Енисейском уезде. Предкам шорцев в далекую старину были известны способы кустарной металлургии. Они делали из железа котлы, таганы, наковальни, стремена, удила, наконечники стрел и другие предметы, которые обменивали у калмыков, киргизов и алтайцев на скот, на продукты животноводства.

Научные основы учения о полезных ископаемых зарождались в середине XVI века, основоположником считается Георгий Агрикола (1494-1555) – немецкий минералог, который посвятил себя целиком исключительно горному делу. Он дал первое систематическое обозрение полезных ископаемых в Западной Европе и по справедливости считается создателем научной минералогии.

Ставя горное дело на первое место, Агрикола в трактате «О горном деле и металлургии», напечатанном в 1556 г. обобщил огромный фактический материал по важнейшим полезным ископаемым, методам их поисков, добыче и переработке. Он в частности писал «…Ему (горняку) должно быть известно искусство испытания руды и подготовки к плавке, которое само по себе является весьма разнообразным. Ибо одних примеров требует золото, других – медь, третьих – ртуть, четвертых – серебро...». Он полагал, что рудные жилы сформированы растворами или «соками земли». Он выделил жилы, прожилки, штоки, слои и высказал, (основанное на изучении фактического и экспериментального материала), предположение о происхождении месторождений полезных ископаемых, которое он объяснял действием поверхностных вод. Он считал, что все месторождения образовывались путем отложения в трещинах земной коры

минеральных веществ из поверхностных вод. Противоположная точка зрения была высказана философом Декартом спустя сто лет, в 1644г. Он считал, что земля представляет собой остывшую звезду с горячим еще ядром, и что все рудные минералы были извлечены из глубинной металлоносной зоны путем инъекции и через посредство растворов и эксгаляций отложены в трещинах охлажденной земной коры.

По справедливому указанию историка русской науки и техники В.В.Данилевского: «Русский народ выполнил к исходу XVII века огромное дело, произведя розыски полезных ископаемых на обширной территории Европы и Азии. Русские рудознатцы сумели приступить к розыску полезных ископаемых на Алтае и в Восточной Сибири. Именно они открыли в центре страны и на далеких окраинах множество месторождений железных и медных руд, соли, минеральных красок».

К XVII веку на Руси уже существовала значительная горная промышленность. К этому времени добывались и перерабатывались железные руды. О выделке железных руд на Руси упоминается в таких исторических документах, как договор Игоря (945 г.), летопись Нестора (1096 г.), «Русская правда» Ярослава (1050 г.), духовная Дмитрия Донского, Новгородские летописи и другие. Добывались и кустарным способом перерабатывались руды меди, свинца, серебра, золота. Был развит соляной промысел, добыча серы, мусковита.

В 1584 году в Московском государстве был организован Каменный Приказ, заложивший основы государственной горной службы, призванной обеспечивать строительство дворцов, храмов, крепостей, снабжение армии ядрами и пр.

Замечательными достижениями XVII века были открытия серебряных руд в Сибири, самоцветов на Урале и Сибири, нефти и графита в Сибири. Эти успехи русских рудознатцев нашли отражение в Петровском Указе (1719): «…Наше Российское государство перед многими иными землями преизобилует и потребными металлами и минералами благословенно есть».

Укрепление русского государства, походы и строительная деятельность Петра Первого потребовали значительного

расширения добычи и переработки руд железа, меди, добычи серы и строительных материалов.

Исключительная роль в создании основ учения о полезных ископаемых принадлежит М.В.Ломоносову (1711-1765). Титанический ум этого универсального ученого вмещал яркие мысли из самых разнообразных отраслей науки, в том числе из геологии, как теоретической, так и прикладной. Его работы по проблемам геологии, полезным ископаемым, их поискам и разведкам: «О слоях земных», «Первые основания металлургии или рудных дел», «Слово о рождении металлов от трясения земли» и «Проект собирания минералов и известие о сочиняемой Российской минералогии» были шедеврами в науке, намного превосходящими другие исследования своего времени. Наш великий ученый изложил теорию рудного минералообразования, он считал, что месторождения полезных ископаемых образуются, главным образом, вследствие землетрясений и расплавления внутренних частей земной коры, но частично и под влиянием магматических и поверхностных вод. Он выделил многообразие условий образования месторождений полезных ископаемых и на важную роль вмещающих пород в процессах рудообразования. Следует подчеркнуть, что еще в середине XVIII века М.В.Ломоносов впервые высказал правильную, близкую к современной, точку зрения на процессы рудообразования. Верными оказались представления М.В.Ломоносова об органическом происхождении горючих полезных ископаемых.

Через руки М.В.Ломоносова прошло большое количество образцов и проб руд, обширные записи, сведения об испытании руд которых на содержание металла, сохранились в его материалах.

Исследователи начала XIX века вернулись к Ломоносовским идеям о многообразии процессов минералообразования. На наличие взаимосвязи минералообразующих растворов с магмами указывал в середине 19 столетия Эли-де-Бомон. Эли-де-Бомон применял экспериментальные методы при изучении минеральных месторождений и получил в 1841 г. искусственный касситерит из хлоридов олова. В 1847 г. появилась статья Эли-де-Бомона, в которой через сто лет получили развитие идеи гениального Ломоносова. Эли-де-Бомон указывает на магматическое

происхождение многих типов минеральных месторождений, считая, что некоторые из них образовались во время кристаллизации магмы, другие же – из горячих водных эманаций. Сходных взглядов придерживаются геологи и в наши дни, но в течении долгих лет идеи Эли-де-Бомона, как до него идеи М.В.Ломоносова, не привлекали должного внимания.

Одним из передовых ученых и последователей М.В.Ломоносова минералогом, химиком и знатоком полезных ископаемых был В.М.Севергин. Им была выполнена грандиозная работа по описанию минералов из месторождений России.

В то же время (1883 г.) выдающийся русский ученый А.П.Карпинский, подчеркивая многообразие условий образования месторождений полезных ископаемых, писал: «Условия отложения рудных веществ бывают весьма различны. Например, часть рудного материала может заимствоваться из соседних пород, часть привноситься извне».

В 1893 г. Пошепный в своем труде «О генезисе рудных месторождений» вновь указал на наличие тесной связи между минеральными месторождениями и изверженными породами и на главенствующую роль в рудообразовании минерализующих растворов магматического происхождения.

Очень большое значение в истории горного дела и изучении полезных ископаемых в России имела организация горного корпуса, открытого в 1773 году. Питомцы этой, одной из первых в мире высшей горной школы, сыграли крупную роль в развитии отечественной горной промышленности и научной мысли в области горного дела и геологии.

С первых же номеров Горного журнала на его страницах стали печататься не только статьи по геологии рудных месторождений, но и работы, касающиеся методики поисков и разведок, переработки минерального сырья. К такого рода статьям надо отнести очерк И.Г.Гавеловского (1825 г.) «О разведке гор и о средствах отыскания частных месторождений», В.Ю. Соймонова (1829 г.) «Инструкции горным партиям для геогностического описания хребта Уральского и для приискания руд и золотосодержащих россыпей», содержательную работу М.М.Карпинского «О золотоносных россыпях » (1840 г.), в

которой приводится обстоятельное описание разведок и опробования россыпных месторождений и другие статьи.

В русской научной печати появляются монографические описания месторождений крупных рудных провинций России, как например, книга Г.Е. Щуровского с подробным описанием геологии и рудных месторождений Урала, характеристикой месторождений Алтая, Кузнецкого Алатау и Салаира, содержащая методические указания по поискам руд и оценки рудных месторождений. Наряду с открытием месторождений полезных ископаемых, во второй половине XIX века и начале XX века, горная промышленность и связанные с ней геологоразведочные работы получили свое дальнейшее развитие. В это же время проводились значительные исследования, связанные с освоением (добыча и переработка) руд черных, цветных и благородных металлов на Урале, свинцовых и серебряных руд на Алтае, золотых рудных и россыпных месторождений Сибири. Именно к этому периоду относятся известные работы Обручева В.А. по золоту Сибири, А.П.Карпинского по рудным месторождениям Урала и других выдающихся исследований русских геологов. Были опубликованы сводные руководства по поисково-разведочному делу. В.С.Реутовского (1899 г.) «Поиски и разведка на золото», И.А.Корзухина (1898 г.) «Горно-разведочное дело», Б.И.Бокия (1914 г.) «Практический курс горного искусства».

Общее состояние и уровень учения о полезных ископаемых, геологоразведочных работ на металлы в России в конце XIX века и в начале XX века были охарактеризованы в ряде докладов на первом и втором Всероссийских съездах по практической геологии и разведочному делу, состоявшихся в феврале 1903 года и в декабре 1911-январе 1912года. Выступавшие на съездах А.П.Карпинский, Л.И.Лутугин и другие осветили, в частности, результаты геологических исследований и разведочных работ в Криворожском бассейне, на Южном Урале, на Новой Земле, на Тиманском кряже, в золотоносных областях Западной, Средней и Восточной Сибири, в Забайкалье, на Алдане, в Приморье, на Алтае. На втором съезде, кроме того, был заслушан специальный доклад К.И.Богдановича о запасах железных руд России и принципах их учета в связи с подготовкой материалов к 11 Международному геологическому конгрессу.

В 1902 г. К.И.Богдановичем впервые была основана кафедра рудных месторождений в Петербургском горном институте. Им был в 1912 году выпущен первый учебник по месторождениям, где он дал классификацию месторождений, построенную преимущественно по морфологическим признакам, привел исчерпывающие описания всех отечественных и многих зарубежных месторождений.

В XX веке большой вклад в развитие учения о полезных ископаемых внесли В.А.Обручев, А.П.Заварицкий, В.И.Вернадский, А.Е.Ферсман, И.М.Губкин, Л.И.Лутугин, Ю.А.Билибин, А.Г.Бетехтин, С.С.Смирнов, П.М.Татаринов.

В середине тридцатых годов XX века были развернуты геологоразведочные работы, обеспечившие сырьевыми ресурсами мощный рост нашей индустрии. В частности, были расширены и выявлены новые базы руд железа на юге Европейской части страны, на Урале и в Сибири. Была решена проблема минерально-сырьевой базы для производства сурьмы, вольфрама, молибдена, олова и других, новых для нашей промышленности металлов.

Из научно-исследовательских работ в области геологии и учения о полезных ископаемых особенно большое значение имеют следующие направления:

1. развитие теории образования рудных месторождений, в первую очередь, исследования В.А. Обручева по генезису полезных ископаемых, А.Е.Ферсмана – по геохимии, А.И.Заварицкого – по магматическим образованиям, А.Д. Архангельского – по бокситам;
2. выявление закономерностей распределения месторождений полезных ископаемых на территории страны (С.С.Смирнов);
3. совершенствование методов разведки, опробования и переработки, освещенные в работах А.П.Арсентьева, Н.В.Барышева, Н.И.Трушкова, В.М.Крейтера, М.Н.Альбова и др.

В послевоенные годы качественные преобразования затронули все отрасли народного хозяйства: изменялась структура энергообеспечения, связанная с открытием уникальных нефтегазоносных районов в Тюменской области и новых угольных бассейнов; резко возросла потребность в легирующих, редких и радиоактивных металлах, используемых в радиоэлектронике и ядерно-космической технике,

агрономическом, химическом и индустриальном сырье. В экономике еще более повысилась роль алмазов и драгоценных металлов в связи с открытием месторождений в Сибири, на Дальнем Востоке и в Средней Азии. Возросшие масштабы добычи полезных ископаемых обусловили интенсификацию геологоразведочных работ, процессов получения и обработки научной информации.

Обобщение обширного фактического материала по многочисленным рудным месторождениям дало толчок развитию металлогении. В работах В.А.Обручева, А.Е.Ферсмана, Ю.А.Билибина, С.С.Смирнова, Н.С.Шатского, Е.Т.Шаталова, В.И.Смирнова, А.Д.Щеглова, В.А.Кузнецова, И.Г.Магакьяна, Е.А.Радкевич, Г.А.Твалчелидзе, Н.П.Лаверова, В.Н.Козеренко и других исследователей были разработаны теоретические основы, общие принципы и методики металлогенического анализа, составления металлогенических и прогнозных карт, отражающих закономерности размещения и локализации месторождений.

Большие успехи достигнуты в изучении вещественного состава руд и в экспериментальном моделировании физико-химических процессов рудообра-зования. Наиболее важные работы принадлежат А.Г.Бетехтину, С.С.Смирнову, Ю.А.Билибину, В.М.Крейтеру, Ф.И.Вольфсону, Н.М.Страхову и другим.

В последние годы возросла потребность новых отраслей техники в рассеянных металлах (германий, галлий, рений, индий и др.). Разработка технологии разделения редкоземельных элементов привела к интенсивному использованию их в металлургии специальных высококачественных сталей и сплавов.

Увеличение потребности в полезных ископаемых обусловило значительный рост объемов их добычи. Огромные масштабы добычи полезных ископаемых вызывают необходимость наиболее полного извлечения при добыче и переработке, комплексности использования и уменьшения потерь.

С каждым годом роль полезных ископаемых в жизни человечества возрастает. За последние 100 лет добыча железа увеличилась в 100 раз, угля в 75 раз, меди в 60 раз. Добыча нефти только за 60 лет увеличилась в 70 раз. Из подсчетов геологов-экономистов следует, что за последние 40лет добыто минерального сырья больше, чем за всю историю

человечества. По данным С.С.Смирнова с 1932 по 1947 г.г. было добыто золота больше, чем за 4,5 столетия с 1493г.

Учение о месторождениях полезных ископаемых должно разрешить две основных проблемы. Первая проблема – установление условий образования тех или иных типов месторождений полезных ископаемых, или, как говорят, выяснения их генезиса. Вторая проблема – установление закономерностей распространения в земной коре месторождений полезных ископаемых с целью выяснения, в каких геологических условиях можно рассчитывать найти то или иное полезное ископаемое.

Эти проблемы следует рассматривать и решать путем обобщения опыта и достижений геологической науки, опираясь на достоверные геологические факты и на достижения смежных наук. Успешное решение этих проблем должно помочь геологоразведочной практике разработать надежные признаки для поисков месторождений полезных ископаемых и наиболее рациональные методы разведки последних, а также дать прогноз для поисков новых месторождений полезных ископаемых.

Кроме этих основных проблем приходится попутно решать целый ряд вопросов: о пространственном расположении и морфологии тел полезных ископаемых, или, как говорят, вопрос о структуре рудных полей месторождений полезных ископаемых; о сообществах и возрастных соотношениях минеральных компонентов, слагающих месторождения, или о так называемом минеральном парагенезисе; о пострудной тектонике; о метаморфизме руд и т.д. Большое значение имеет изучение вещественного состава и технологических свойств полезных ископаемых как неметаллических, так и металлических, особенно при вовлечении в промышленное использование комплексных руд, из которых извлекается несколько ценных компонентов.

В конечном счете, учение о полезных ископаемых, являясь геолого-экономической дисциплиной, тесно связано с практическими вопросами горного дела, а история его развития в нашей стране и за рубежом является частью истории развития горной науки. На знании геологии месторождений основывается их рациональная разработка.

1.2 Влияние минерально-сырьевой базы на экономическое и социальное развитие Российской Федерации

Завершился XX век, век почти глобальной индустриализации, невиданного ранее объема потребления минеральных ресурсов, а вместе с тем и век удивительного расцвета геологии и горного дела.

Минеральные ресурсы – совокупность полезных ископаемых, выявленных в недрах отдельных регионов, стран, континентов, дна океанов или Земли в целом, доступных и пригодных для промышленного использования и, как правило, количественно оцененных геологическими исследованиями и геологической разведкой. Минеральные ресурсы являются невозобновляемыми природными ресурсами.

В XX веке из недр извлечено и использовано почти 100% многих видов полезных ископаемых, добытых за всю историю человечества – нефти, газа, урана, редких металлов, минеральных удобрений; до 85-90% - угля, черных и цветных металлов. В последние десятилетия установилась устойчивая зависимость увеличения потребления минерально-сырьевых ресурсов от роста населения в мире, ежегодно прирастающего на 1-1,5%. При этом, во времени постоянно менялись – структура потребляемых ресурсов, география их массовой добычи и переработки. Это объясняется влиянием разных факторов – природно-климатических, транспортных, сырьевых, топливных, технологических и т.д. Изменились структура и объем добываемого сырья, связанные не только с истощением запасов, но и с воздействием других факторов и, прежде всего, экономических, технологических и экологических. За последние 15 лет мировые запасы и добыча увеличились практически по большинству видов полезных ископаемых, в том числе (в %): по нефти – на 30, по природному газу – на 35, по ископаемым углям – на 10, по железным рудам – на 14, по золоту – на 59, по меди – на 45, по алюминиевым рудам – на 40, по платине – на 40 и по алмазам на 74.

В последние десятилетия, особенно после энергетического кризиса 70-х годов, рост мировых разведанных запасов по всем полезным ископаемым опережал рост их добычи. Расширены перспективы многих горнорудных районов мира, выявлены новые, в том числе уникальные и крупные месторождения нефти, газа, урана, железных руд, редких металлов и других полезных ископаемых. Значительно укреплена

минерально-сырьевая база многих стран, что благотворно воздействовало на их устойчивое экономическое развитие.

Являясь базисом развития экономики, минеральные ресурсы во многом определяют экономический потенциал любой страны, размещение и развитие производительных сил. В развитых странах в горнопромышленном комплексе сосредоточено от 20 до 40% капитальных вложений и занято до 20 % трудовых ресурсов. Общий ежегодный объем продукции мирового горнопромышленного производства по экспертным оценкам составляет 0,8 – 1,0 трлн. долл. США, из них на топливно-энергетическое сырье приходится свыше 70%. Доля России в общемировом горнопромышленном комплексе в 2000 году составила свыше 16%.

По наиболее проработанным экспертным оценкам валовая ценность разведанных и оцененных запасов полезных ископаемых в ценах мирового рынка составляет порядка 30 трлн. долл. США (в том числе извлекаемой ценности разведанных и оцененных запасов основных групп полезных ископаемых - более 19 трлн. долл. США). Из них около трех четвертей приходится на нефть, газ, уголь. К активным запасам полезных ископаемых, промышленная разработка которых в современных экономических условиях целесообразна, относятся запасы: железных руд -85% (в том числе 56% в сфере деятельности действующих горнорудных предприятий), меди - 70 (47), свинца - 73 (62), никеля 61 (61), бокситов -52 (33), титана - 68 (2), олова - 38 (37), вольфрама - 16 (16), молибдена -50 (23), ниобия - 32(17), тантала - 41 (20), фосфоритов - 21 (16), апатитов - 53 (52), угля - 70 (42, включая резервные участки).

Для мировой экономики характерна дифференциация добычи и потребления минерального сырья. Развитые страны рыночной ориентации, в которых проживает 16% населения земного шара, добывают около 35% от мирового объема, а потребляют более 50% добытого сырья. В то же время в развивающихся странах добывается около 35% объема сырья, а потребляется менее 21% (при численности населения 52% от общемировой). Во всех остальных странах, включая страны с бывшей плановой экономикой, при населении 32 % от мирового, добывается и потребляется около 30% минерального сырья. Таким образом, на долю 1% населения в развитых странах приходится 2,18 % мировой добычи и более 3% мирового потребления минерального

сырья в развивающихся странах соответственно около 0,7 и 0,4%, а для остальных стран – 0,9 % по добыче, и 0,8% по потреблению. Следовательно, в развитых странах удельное потребление минерального сырья (в расчете на 1% населения Земли) почти в 8 раз превышает уровень потребления развивающихся стран и в 3,8 раза других стран (таблица-1.2).

Таблица 1.2 – Добыча и потребление минерального сырья в различных группах стран, % от мирового объема

Страны	*Население, %*	*Добыча, всего*	*Добыча на 1% населения*	*Потребление, всего*	*Потребление на 1% населения*
Развитые	16	35	2,18	52	3,24
Развивающиеся	52	35	0,68	21	0,40
Остальные (в том числе с бывшей плановой экономикой)	*32*	*30*	*0,94*	*27*	*0,85*
В том числе Россия	*3*	*16*	*4,75*	*10*	*3,37*

Объем добычи и потребления в России составляет соответственно 16 и 10 от общемирового и в расчете на 1% населения является наиболее высоким в мире. Это связано с тем, что в структуре добычи и потребления основная доля приходится на углеводородное сырье: газ – 48%, нефть – 33% и лишь 19 % на остальные полезные ископаемые. Высокий уровень потребления топливно-энергетических ресурсов в России обусловлен крупными теплоэнергетическими затратами, энергоемкостью производства, значительными потерями при переработке и транспортировке сырья.

Несмотря на продолжающееся во все больших количествах извлечение из недр полезных ископаемых, их разведанные запасы продолжают нарастать, благодаря опережающим геологоразведочным работам. Рекордно высокие темпы ежегодного прироста запасов в

зарубежных странах за последние годы характерны для золота (6-7%). По нефти, газу, каменному углю они составляют 1,5 – 2%. Это связано с большой ролью топливно-энергетического комплекса (ТЭКа), определяющего в настоящее время экономику большинства стран. Тенденции роста запасов сохранятся вплоть до 2015 г. (т.е. за весь период, доступный для прогноза), но с некоторым замедлением ежегодных темпов.

Замедление прироста запасов, связано с истощением минеральных ресурсов, так как они относятся к не возобновляемым, а также с ухудшением горно-геологических условий их разработки. Особенно актуальна проблема истощения месторождений углеводородного сырья. По мнению многих специалистов запасы нефти и газа (при существующих масштабах их использования) могут быть использованы в ближайшие 50-100 лет. Использование атомной энергии имеет известные серьезные побочные эффекты и последствия. Открытие новых, более экономичных и безопасных видов энергии, их промышленное использовании остается пока неразрешимой задачей. Поэтому важной задачей остается разведка месторождений ископаемых углей (доступные для освоения запасы угля могут использоваться мировым сообществом в течение 700 лет), увеличение их доли в топливно-энергетическом комплексе, разработка рациональных схем разработки месторождений и комплексного использования углей и попутных компонентов. По другим видам минеральных ресурсов также актуальны задачи рациональной отработки и комплексного использования сырья, а в перспективе задачи замены традиционных источников сырья на нетрадиционные.

В экономике для характеристики состояния минеральных ресурсов используется понятие минерально-сырьевая база (МСБ), как геолого-экономическая категория, строго структурированная по видам сырья, отраслям промышленности, рентабельности разработки полезных ископаемых, уровням их потребления и по другим признакам. По мере развития экономики меняются содержания понятия промышленных типов руд и прочих составляющих геолого-экономической категории. Среди развитых стран наиболее богаты минеральными ресурсами – Австралия, ЮАР, Канада, США, причем все эти государства обладают резервными производственными мощностями и при необходимости способны быстро нарастить объемы добычи. Из развивающихся стран,

кроме государств Ближнего и Среднего Востока, имеющих огромные запасы нефти и газа, значительными минеральными ресурсами располагают – Бразилия, Мексика, Чили, Перу, Марокко, Гвинея, Заир. Громадным минерально-сырьевым потенциалом обладает Китай. Значительные запасы минеральных ресурсов имеются в Монголии, а также в ряде стран СНГ – Казахстане, Украине, Узбекистане.

Минерально-сырьевая база России – одна из крупнейших в мире, это важнейшее звено ресурсного потенциала нашей страны. Открыто и разведано более 20 тысяч месторождений, из которых более трети введены в промышленное освоение. Крупные и уникальные месторождения (около 5%) содержат почти 70% запасов и обеспечивают 50% добычи минерального сырья.

По обеспеченности России разведанными запасами минерально-сырьевых ресурсов можно выделить следующие четыре группы полезных ископаемых:

- длительного обеспечения - газ, уголь, алмазы, никель, платина, бериллий, калийные соли, хризотил-асбест;

- обеспеченность запасами на 10 лет при интенсивном уровне добычи - нефть, свинец, цинк, сурьма, олово, вольфрам, молибден, ниобий;

- недостаточный уровень обеспеченности - марганец, титан, рудное золото, бокситы, каолиновые и бентонитовые глины, плавиковый шпат, рений;

- разведанные запасы ограничены, (но есть возможность их увеличения в течение 5-10 лет) - уран, цирконий, стронций.

По запасам ряда полезных ископаемых Российская Федерация занимает доминирующее положение в мире, и российская минерально-сырьевая база уже в ближайшие годы может войти в резерв мирового минерально-сырьевого обеспечения.

Россия сегодня обладает 16% всех природных минерально-сырьевых ресурсов мира, в том числе свыше 40% газа (первое место в мире), 13% нефти, 12% угля (28% с учетом прогнозных ресурсов), по запасам золота у нас третье место в мире. Доля России в мировых запасах железа свыше 27%, никеля - 36, меди -11. кобальта - 20, олова - 12, цинка - 16, металлов платиновой группы - 40%. Стоимость сырья, ежегодно извлекаемого из недр России, по ценам мирового рынка составляет от 95 до 105 млрд долларов. Доля России в общемировой

добыче нефти составляет 13%, природного газа и никеля - 25%, алмазов - 30 %, платины - 17%, палладия - 50%, золота - 8%. От их экспорта формируется более 80% валютных доходов России: 76,8% - углеводородное сырье, 10,4% - цветные металлы, 4,5% -благородные металлы и алмазы, 8,3% - прочие. [2].

Во многих окраинных регионах России добывающая промышленность является градообразующей и, включая обслуживающие отрасли, обеспечивает до 75% рабочих мест. Нефть, природный газ, уголь, черные, цветные и благородные металлы, алмазы, агрохимическое сырье обеспечивают стабильную социально-экономическую обстановку в регионах Севера европейской части России, Урала, Западной Сибири, Кузбасса, Норильского горнопромышленного района, Восточной Сибири и Дальнего Востока. Большое значение, прежде всего для экономик субъектов Российской Федерации, имеют общераспространенные виды полезных ископаемых, главным образом, строительные материалы. Уникальным полезным ископаемым являются подземные воды, используемые для питьевого и технического водоснабжения; их жизнеобеспечивающая роль, безусловно, будет увеличиваться по мере роста городов и увеличения техногенной нагрузки на природную среду.

Представляется совершенно очевидным, что развитие экономики и социальной сферы России на протяжении еще минимум 20 – 30 лет будет напрямую зависеть от успехов сырьевых отраслей промышленности, а следовательно, и от состояния их минерально-сырьевой базы. Сегодня можно с уверенностью прогнозировать, что в ближайшие 10-15 лет природные ресурсы будут главным ускорителем роста нашего народного хозяйства. И именно этот мощный геополитический и экономический рычаг будет формировать финансовую базу подъема наукоемких отраслей, способствовать значительному сокращению импорта высокотехнологичной продукции и товаров широкого потребления.

Из добытых за последние 100 лет более 185 млрд т. угля и 45-50 млрд т. железной руды более половины приходится на период 1960-2000 гг. Потребление других металлов увеличилось за этот период в 3-5 раз, а сырья для производства удобрений в 3-3,5 раза.

Каждая страна, в том числе и России, вырабатывает определенную политику минерально-сырьевых ресурсов и масштабов потребности в

них. Объективная оценка минерально-сырьевой базы нашей страны необходима для определения (по критериям национальной безопасности) уровня добычи полезных ископаемых с учетом их внутреннего потребления и экспорта.

Особо важным является состояние топливно-энергетического комплекса страны (ТЭКа). Освоение угольных сырьевых ресурсов производится недостаточными темпами. Развитие добычи и рост потребления должно происходить в рациональном сочетании с производством других энергоносителей, распределению их на территории страны, стоимостных затрат на добычу и транспортировку к потребителю и так далее.

На развитие минерально-сырьевой базы влияет ряд факторов геолого-технологического и экономического характера - проблемы отработки и обогащения руд. Недостаточная изученность месторождений и их геолого-технологических особенностей в условиях слабой сырьевой обеспеченности и низких экономических показателей отработки вынуждают горнодобывающие предприятия переходить к селективной отработке богатых руд, что еще более усугубляет ситуацию – сокращаются сроки действия добывающих производств и происходят крупные потери средних и бедных по качеству запасов. Для повышения эффективности месторождений и рационального использования минеральных ресурсов необходимо добиться существенного роста извлечения разведанных запасов из недр, обеспечить их комплексное использование и сокращение крупномасштабных потерь выявленных запасов. Комплексное использование минерального сырья - эта проблема продолжает оставаться в числа важнейших геолого-технологических и экономических задач. В настоящее время недостаточная комплексность добычи и переработки извлекаемых полезных ископаемых приводит к потерям до 20-30% учтенных в недрах запасов.

Так продукция отраслей ТЭКа обеспечивает в настоящее время до 80% валютной выручки государства. По количеству учтенных запасов и разнообразию полезных ископаемых Россия занимает ведущее положение в минерально-сырьевой базе мира, но уступает основным мировым производителям продукции минерального сырья по качеству и технико-экономическим показателям разработки разведанных месторождений руд некоторых черных и цветных металлов, отдельных

видов неметаллического сырья. Особенно значима роль России в мировой минерально-сырьевой базе топливно-энергетических ресурсов, никеля, платины и некоторых других полезных ископаемых. Минерально-сырьевой потенциал является главным экономическим достоянием России. По объему разведанных запасов минерального сырья страна занимает ведущее положение в мире. В недрах России, территория которой составляет 10% суши Земли, сосредоточено 13% разведанных мировых запасов нефти, 35% природного газа, 12% угля, значительная часть запасов золота, алмазов, цветных и редких металлов.

Валовая потенциальная ценность выявленных и разведанных запасов полезных ископаемых России многократно превышает суммарную ценность всех остальных природных ресурсов и основных фондов страны и составляет 28,6 трлн. долл. (таблица-1.3).

Таблица1.3 – Распределение валовой потенциальной ценности разведанных запасов (категории $A+B+C_1$) и предварительно оцененных запасов (категория C_2) основных видов полезных ископаемых России

Основные виды и группы минерального сырья	Валовая потенциальная ценность млрд.долл./%
Нефть и конденсат	4481/15,7
Газ	9300/32,2
Уголь и горючие сланцы	6651/23,3
Черные металлы	1962/6,8
Цветные и редкие металлы	1807/6,3
Драгоценные металлы и алмазы	272/1,0
Уран	4/0,01
Нерудное сырьё	4193/147
Итого:	28560/100

Несмотря на то, что доля России в мировой добыче минерального сырья остается высокой по уровню интенсивности МСБ (отношение добычи к подготовленным запасам), Россия отстает от среднемировых показателей. Например, интенсивность освоения МСБ меди в России составляет 0,83% (в мире – 1,24%), никеля – 1,1% (1,25%), свинца – 0,16% (2%), цинка – 0,33% (2,2%), железных руд – 0,14% (0,51%). Крайне

низок уровень разведки запасов таких стратегических видов сырья, как хром, марганец, титан, цирконий.

Напряженная ситуация с минерально-сырьевой базой обозначилась прежде всего в важнейших традиционных нефтегазо- и горнодобывающих регионах страны: в Западной Сибири, в регионе Урало-Поволжья, Республике Коми, регионе Северного Кавказа. Недостаточна обеспеченность активными запасами апатитовых руд на Кольском полуострове, богатых медно-никелевых руд в Норильском районе, россыпного золота в Якутии, Магаданской области, Сибири и на Урале, сурьмы в Якутии, железных руд на Урале и в Западной Сибири, бокситов на Урале и др. Без достаточной сырьевой базы, на оперативных, практически ежегодно приращиваемых запасах, работают свинцово-цинковые рудники в Читинской области, Приморье и на Северном Кавказе; оловянные - в Хабаровском и Приморском краях; вольфрамовые - в Республике Бурятия и Приморском крае, не обеспечен собственной сырьевой базой ряд медеплавильных заводов Урала.

В условиях слабой сырьевой обеспеченности и низких экономических показателей разработки оставшихся и оперативно наращиваемых запасов предприятия переходят к селективной отработке богатых руд, что еще более ухудшает ситуацию, сокращая сроки действия добывающих производств и приводя к крупным потерям средних и бедных по качеству руд. В то же время в стране длительное время не осваиваются уже разведанные крупные месторождения минерального сырья.

Важнейшим элементом устойчивости минерально-сырьевой базы и функционирования минерально-сырьевого комплекса России в целом является сбалансированное соотношение между уровнями добычи и приростом запасов полезных ископаемых, обеспеченностью запасами определенных категорий и прогнозными ресурсами. Начиная с 1991 г., добыча абсолютного большинства видов минерального сырья в стране обеспечивается в основном созданным ранее заделом запасов. За счет использования поискового задела прошлых лет в этот же период получены практически все приросты запасов, которые, однако, не полностью компенсируют погашение запасов при добыче. Это привело к тому, что в общей структуре запасов по большинству полезных ископаемых существенно возросла доля разведанных и подготовленных

к отработке запасов, тогда как доля оцененных запасов и прогнозных ресурсов снизилась. Если учесть, что предварительно оцененные запасы и прогнозные ресурсы определяют поисково-разведочный задел и, следовательно, реальные возможности развития минерально-сырьевой базы, то создавшееся положение является весьма тревожным фактором. При наличии таких серьезных проблем с минерально-сырьевой базой России недопустимо расточительное некомплексное ее использование. В настоящее время недостаточная комплексность добычи и переработки полезных ископаемых приводит к потерям до 30-50% учтенных в недрах запасов. Наиболее значимы потери попутного газа и серы при добыче нефти, что, кроме прямых экономических потерь, оказывает отрицательное влияние на окружающую среду. Крупные потери имеют место на стадии добычи и переработки руд. При этом в отвалах предприятий разубоживаются и безвозвратно теряются многие ценные компоненты, содержащиеся в добываемых рудах.

Реализация минерально-сырьевого потенциала России зависит от ряда проблем, связанных как с состоянием минерально-сырьевой базы, так и с положением в минерально-сырьевом комплексе страны в целом. Основными проблемами минерально-сырьевого комплекса России являются:

— острый дефицит в России отдельных видов минерального сырья (марганцевые и хромовые руды, титан, цирконий, уран, высококачественные бокситы, самородная сера, каолин и бентониты, барит и некоторые другие);

— нерентабельность освоения значительного числа разведанных месторождений при их переоценке по критериям рыночной экономики и неизбежное в связи с этим уменьшение балансовых запасов полезных ископаемых, учитываемых Государственным балансом;

— неконкурентоспособность по целому ряду причин значительного количества отечественных месторождений минерального сырья, особенно руд черных, цветных и редких металлов в сравнении с зарубежными аналогами; низкая обеспеченность разведанными запасами отдельных добывающих предприятий, особенно в старых, давно освоенных горнорудных районах;

— неблагоприятное географическое размещение разведанных месторождений отдельных видов минерального сырья, что требует

для их освоения крупных капитальных вложений и ухудшает экономические показатели разработки;
— низкие темпы подготовки к разработке новых месторождений, взамен отрабатываемых, и ввода новых мощностей;
— низкие темпы подготовки экологически защищенных подземных вод для питьевого водоснабжения;
— недостаточная комплексность в использовании минерального сырья при его добыче и переработке;
— снижение доли предварительно оцененных запасов в общем балансе разведанных и прогнозных запасов;
— полученные темпы прироста по нефти, газу, железным рудам, бокситам, меди, никелю, золоту, редким металлам, свинцу, цинку, молибдену не обеспечивают простого воспроизводства;
— отсутствие дифференцированного подхода государства к регулированию производства минеральных ресурсов заведомо разной ликвидности и разобщение предприятий, ранее входивших в единые отраслевые системы, способствовало отнесению значительной части разведанных запасов к разряду нерентабельных, доля которых достигла 30% от всего количества разведанных запасов;
— резкое снижение объемов инвестиций в геологическое изучение и промышленное освоение ресурсов недр;
— резкое сокращение финансируемых государством геологоразведочных работ и ликвидация целевого источника финансирования выполнения работ по воспроизводству минерально-сырьевой базы (ставок ВМСБ);
— отсутствуют долгосрочные (2025, 2050 гг.) прогнозы потребления минеральных ресурсов, являющихся основой развития национальной экономики. Темпы роста экспорта минерального сырья опережают темпы внутреннего потребления.

Высокий удельный вес России в мировых запасах и добыче минерального сырья предопределяет долговременную минерально-сырьевую ориентацию экономики страны, а также необходимость развития отраслей, связанных с добычей и переработкой полезных ископаемых.

Россия – крупнейшая составная часть мира и ее ресурсный потенциал по мере интеграции страны в глобальную экономику будет

все более значимым. Отработка традиционных видов минеральных ресурсов, – их истощение и усложнение горно-геологических условий отработки ставят перед специалистами проблемы научно-технического переоснащения отраслей геологоразведки и горного дела, проблемы комплексного и рационального использования имеющихся источников минерального сырья, проблемы экологии и охраны окружающей среды.

В экстремальных условиях Арктики эффектно действуют Норильский горно-металлургический комбинат и Норильская горная компания, в распоряжении которых находятся 35,8% мировых запасов никеля, 14,5% кобальта, 9,7% меди, 40% металлов платиновой группы. При этом богатые руды Норильска характеризуются самым высоким в мире содержанием никеля, меди и платиноидов. Комплексное использование этих руд (Ni, Cu, Co, МПГ, Au, Ag, а также Se и Te) еще больше повышает их ценность, обеспечивая устойчивую окупаемость производства, несмотря на более высокий уровень затрат по сравнению с мировыми конкурентами.

К разряду уникальных по качеству руд относятся также выявленные в последнее время месторождения редких элементов – Томтор в Якутии и Чуктоконское в Красноярском крае, полиметаллических руд на архипелаге Новая Земля, в которых содержание основных компонентов выше, чем в других известных месторождениях мира.

Железорудная промышленность обладает уникальным ресурсным потенциалом КМА, масштабное освоение которого с использованием современных технологий обеспечило бы полное удовлетворение и внутренних нужд в железорудной продукции, и потребностей экспорта.

Разведанные здесь запасы (66,3 млрд т) достаточны для экономически эффективного расширения добычи, строительства новых горнорудных предприятий, особенно по разработке богатых железных руд. Запасы последних только в Белгородском районе составляют по категориям $A+B+C_1$ 5,9 млрд т с содержанием железа 61,1%, по категории C_2 – 22,2 млрд т и прогнозные ресурсы – 19,6 млрд т. В сумме это больше, чем в любой другой стране мира.

На базе месторождений хромитов Карело-Кольского региона и Полярного Урала с определившимся в последние годы запасами и прогнозными ресурсами возможно создание горнорудных предприятий с суммарной годовой мощностью по добычи 750 – 800 тыс.т. Это в

полтора раза выше существующего уровня потребления в стране хромоворудного сырья. Кроме того, активно изучаются и осваиваются местными металлургическими заводами многочисленные мелкие месторождения хромитов в Свердловской области, на Южном Урале, небольшие по запасам месторождении известны в Кемеровской области.

Получены обнадеживающие результаты по обогащению карбонатных и фосфористых оксидов марганцевых руд и по опытным плавкам их концентратов. Эти результаты позволяют прогнозировать возможность использования запасов наиболее крупных в стране месторождений – Усинского в Кемеровской области и Порожинского в Красноярском крае – для обеспечения потребностей в марганцевых концентратах металлургических заводов Урала и юга Сибири. Особого внимания заслуживают промышленные разработки Западно-Сибирского металлургического комбината по прямому легированию марганцем стали и чугуна при использовании рядовых концентратов (III-IV сортов), получаемых из местного сырья.

Осуществляются активные меры по подготовке к промышленному освоению месторождений бокситов или их участков в Республике Коми – на Среднем Тимане и в Свердловской области. Планируемое здесь наращивание добычи обеспечивает возможность значительного – в 2 раза – сокращения существующего в стране дефицита глинозема. Намечается увеличение добычи алюминиевых руд (уртитов) на Кия-Шалтырском месторождении.

Россия располагает крупной, но пока еще слабо освоенной минерально-сырьевой базой свинца и цинка, титана и циркония, тантала и ниобия, ванадия и германия, ряда других металлов. Эти ресурсы могут полностью удовлетворить потребности внутреннего рынка и значительное расширение экспорта.

В районах, тяготеющих к Байкало-Амурской железнодорожной магистрали, подготовлен крупный ресурсный потенциал железных руд (Чинейское месторождение и Южно-Якутский железорудный район), меди (Удоканское месторождение), свинца и цинка (Озерное и Холоднинское месторождения), молибдена (Орекитканское месторождение), олова (Правоур-мийское месторождение), редких металлов (Катугинское месторождение), золота (месторождения Сухой Лог и Куранахская группа), комплексное освоение которых с использованием уже созданной инфраструктуры обеспечивает

металлургию надежной минерально-сырьевой базой и создает гарантии экономической безопасности страны.

На территории России учтен крупный потенциал прогнозных ресурсов большинства других стратегически важных полезных ископаемых, что обеспечивает перспективы дальнейшего развития их минерально-сырьевой базы.

Формально в целом по России обеспеченность черной металлургии запасами железных руд промышленных категорий при современном уровне добычи очень высокая – более 200 лет, но по существу положения с сырьевым обеспечением черной металлургии страны далеко от оптимального. Если сравнить различные регионы страны, то состояние их обеспеченности запасами железных руд неравнозначное. При этом в каждом регионе существуют факторы, серьезно затрудняющие промышленное освоение балансовых запасов железных руд.

По марганцу до 85% потребности отечественной промышленности покрывается импортом из Украины и Казахстана товарной марганцевой руды (32 – 36 % Mn) и ферросплавов на общую сумму около 200 млн долл, а по хромитам доля импорта из Казахстана почти равна 100%.

Таким образом, по всем видам минерального сырья для черной металлургии сырьевая база России существенно уступает ведущим горнодобывающим странам (Бразилии, Канаде, Австралии и т.д.), формирующим мировые цены на товарные руды черных металлов. Основные причины такого положения – низкое содержание металла в рудах и сложные горно-геологические условия разработки (большая мощность вскрыши, обводненность месторождений и т.п.).

По марганцу и хрому вообще нет балансовых запасов руд промышленных категорий, готовых к освоению. Последнее обстоятельство особенно тревожно, так как речь идет о легирующих металлах, а известно, что главным условием относительного уменьшения потребления железа является расширение производства специальных легировальных сталей, сокращающих металлоемкость изделий при одновременном повышении их прочности, антикоррозийнности и сроков эксплуатации.

Кстати, по другим основным легирующим металлам, исключая ванадий, ситуация примерно такая же. Учтенные Государственным балансом руды этих металлов (титана, молибдена, вольфрама, ниобия и

тантала) по качеству сильно уступают мировому уровню, а их перспективные месторождения расположены в практически неосвоенных районах страны.

Несмотря на огромный в целом по России минерально-сырьевой потенциал, ряд крупных металлургических центров, прежде всего на Урале и Кузбассе, испытывают дефицит в конкурентоспособном железорудном сырье.

Без достаточной сырьевой базы, на оперативных, практически ежегодно приращиваемых запасах работают предприятия цветной металлургии на Северном Кавказе, в Забайкалье, Хабаровском крае и в Приморье. Металлургия и огнеупорное производство испытывают острый дефицит циркониевой продукции. Не обеспечены собственной сырьевой базой медеплавильные заводы Урала – в Красноуральске, Кировограде, Ревде, Карабаше, Медногорске.

Сохраняет остроту проблема полного и комплексного использования минерального сырья. Величина потерь при добыче и переработке достигает в настоящее время 30 – 50 % от запасов, учтенных в недрах. Решение этой проблемы связано с созданием и применением более совершенных технологий обогащения и переработки рудной массы. В частности, это касается более широкого использования методов радиометрической сортировки и сепарации, более совершенных приемов и технических средств дробления и измельчения минерального сырья для повышения извлечения полезных ископаемых компонентов из тонкодисперсных руд. Сочетание современных методов предварительного и глубокого обогащения с приемами гидро- и пирометаллургического передела должно быть направлено на переработку комплексных руд, получение из них высококачественных селективных и сверхчистых продуктов. Применение новых технологий обеспечивает вовлечение в сферу промышленного использования нетрадиционных источников сырья, например, карбонатных марганцевых руд.

Отсутствие или недостаточное использование мощностей собственного производства по переделам комплексных руд и концентратов, в частности свинцовых и цинковых, направляемых на переработку в зарубежные страны, приводит к значительным потерям содержащихся в них попутных компонентов – золота, серебра, висмута, кадмия и других металлов – и существенным образом снижает

экономическую эффективность разработки месторождений. В неоправданно ограниченных масштабах используется техногенное минеральное сырье, включая производство цветных металлов на основе утилизации их промышленных отходов.

Рассмотрим кратко факторы, влияющие на ценность минеральных ресурсов. В условиях возрастающей потребности в минеральных ресурсах и ограниченности существующей сырьевой базы значительные резервы повышения эффективности горнодобывающей промышленности заключены в выборе рациональных вариантов использования минерального сырья, выделяются социально-экономические факторы.

Социально-экономические факторы отражают значение полезного ископаемого и потребность в получаемой из него продукции, а также степень обеспеченности и необходимость разработки новых месторождений данных полезных ископаемых.

Потребность в минеральном сырье определенного вида характеризует значение месторождения. Она устанавливается на основе перспектив развития соответствующей отрасли промышленности и обеспеченности его запасами минерального сырья. В этих целях при оценке месторождения полезного ископаемого рассматривают балансы запасов данного сырья, а также балансы производства и потребления получаемой из него готовой продукции.

В результате определяют конкурирующие месторождения или группы месторождений, из которых в процессе оценки отбирают первоочередные объекты для освоения. При этом необходимо учитывать возможность использования новых видов минерального сырья и внедрения искусственных заменителей сырья, перспективы совершенствования технологии разработки месторождения, переработки и использования полезного ископаемого.

К горно-геологическим факторам относятся важнейшие данные о месторождении полезного ископаемого, характеризующие балансовые запасы, содержание полезных и вредных компонентов, морфологию, технологические свойства минерального сырья, горно-геологические условия эксплуатации месторождения. Горно-геологические факторы предопределяют производственную мощность горнодобывающего предприятия и сроки отработки месторождения, горнотехнические

условия разработки, технологическую схему переработки полезного ископаемого и получения из него готового продукта.

При общей положительной ситуации с состоянием минерально-сырьевой базы страны существенные коррективы в общую оценку обеспеченности России минеральными ресурсами вносит переоценка месторождений с использованием критериев рыночной экономики. В прошедшие годы, наряду с месторождениями высококачественных руд, было детально разведано и включено в Государственный баланс значительное число месторождений с низкокачественными рудами, или расположенных в удаленных районах, или со сложными горнотехническими условиями, из-за чего их разработка в рыночных условиях становится нерентабельной.

В то же время состояние сырьевых баз многих горнодобывающих регионов России и действующих предприятий – недропользователей заметно ухудшилось в связи с истощением запасов, снижением их качественных и экономических характеристик, усложнением условий отработки в результате длительной и интенсивной эксплуатации. Качество руд ряда месторождений не обеспечивает их рентабельную отработку из-за низкого уровня применяемых технологий.

С учетом мировой конъюнктуры минерального сырья, резкого возрастания стоимости энергоносителей, материалов и транспортировки, такие месторождения полезных ископаемых выпадают из перечня объектов, подлежащих промышленному освоению, что фактически приводит к сокращению балансовых запасов полезных ископаемых (иногда до 30% от учтенных Государственным балансом).

Одной из причин недостаточной конкурентоспособности отечественной металлургии является сложное состояние минерально-сырьевой базы металлургии. Это обусловлено более низким качеством добываемого минерального сырья по большинству металлов, а также более сложными горно-геологическими и экономико-географическими условиями разработки месторождений. По отдельным стратегическим металлам – марганец, хром, титан, цирконий – рудная база в России практически отсутствует, а осваивать большинство имеющихся месторождений в современных экономических условиях нецелесообразно. Не имеется достаточной рудной базы по бокситам, олову, вольфраму, редкоземельному сырью иттриевой группы, недостаточно обеспечены сырьем предприятия черной металлургии

Урала и Западной Сибири. Важным фактором развития металлургии с позиции ее ресурсного обеспечения является расширение использования вторичного сырья – лома. Использование лома при производстве металлов приводит к экономии энергоресурсов, сырья, материалов, повышает эффективность использования технологических агрегатов, снижает вредное воздействие на окружающую среду.

Одна из главных задач – внедрение новых технологий разработки месторождений, обогащения руд и подготовки металлургического сырья. МСБ (минерально-сырьевая база) как геолого-экономическая категория неразрывно связана с добычей и переработкой минерального сырья. Так, например, подавляющая часть балансовых запасов марганца неактивна из-за отсутствия экономически приемлемых технологий их добычи и особенно переработки. Но вполне реальной может случиться такая ситуация, когда в силу металлогенических особенностей территории России вообще не будет найдено месторождений с достаточно большими запасами легкообогатимых существующими способами руд этого металла. Значит, надо разрабатывать новые технологии, обеспечивающие рентабельное производство товарной продукции из имеющихся балансовых запасов рудного сырья.

Вступив в третье тысячелетие, необходимо оценить основные факторы, влияющие на роль и развитие сырьевой базы.

Потребление минеральных ресурсов (особенно его топливно-энергетических составляющих), даже при переходе большинства стран мира к постиндустриальной экономике, будет обусловлено численностью населения Земли, которая за первые десятилетия XXI века может удвоиться, достигнув 10 миллиардов. При этом главные условия жизнеобеспечения и развития цивилизации останутся прежними: производство в достаточных объемах топлива и энергии, продукции легкой и пищевой промышленности, бытовой и информационно-коммуникационной техники, развитие строительной индустрии, транспортных средств и инфраструктуры.

Вышеизложенное потребует развития минерально-сырьевой базы – энергетической и материальной основы социально-экономического прогресса, а особенно полезных ископаемых – «лидеров». Их потребление неизбежно увеличивается пропорционально росту народонаселения и благосостояния общества и приводит к наращиванию использования сопряженных полезных ископаемых – «сателлитов».

Технологическая сопряженность – один из существенных факторов в оценке тенденций развития и использования крупной и разнообразной сырьевой базы страны, занимающей заметное место в общемировом экономическом пространстве.

По мере усиления тенденций устойчивого (гармоничного и бесконфликтного) развития человеческого общества, возможно, отпадет необходимость в обеспечении полезными ископаемыми отдельных стран. И XXI век может стать периодом интеграции сырьевого потенциал большинства стран мира в целостный ресурс жизнеобеспечения на Земле.

1.3 Рациональное и комплексное использование минеральных ресурсов и охрана окружающей среды

Минеральные ресурсы – совокупность специфических форм скопления минерального вещества в земной коре, являющихся источником энергии, минералов, химических элементов и соединений, отвечающих требованиям технической возможности и экономической рентабельности добычи, переработки и транспортирования, экологической доступности разработки и использования (Певзнер, 2002).

Под рациональным использованием минеральных ресурсов подразумевается комплексное использование добываемого минерального сырья, полнота извлечения его из недр в процессе добычи и последующей переработки, минеральные ресурсы в недрах земли, запасы которых оценены по геологическим данным, распределены в земной коре неравномерно.

Большинство видов минерального сырья представлены веществами неорганического происхождения. Однако, некоторые виды минерального сырья, в частности, энергетическое сырье, имеют органическое происхождение. Их присоединяют к минеральному сырью условно, ценность определенных видов минерального сырья определяется в зависимости от области их применения, в частности минеральное сырье, необходимое для обеспечения оборонной промышленности и бесперебойного функционирования ее сырьевой базы, называют стратегическим сырьем.

Как известно, минералы играли огромную роль на протяжении всей истории человеческой деятельности. В классификации историков и антропологов отдельные стадии цивилизации связываются с

использованием различных минеральных веществ: каменный век, медный век, или век металлов. В настоящем - атомный век, ядерный век. Каждая ступень цивилизации отвечает определенному уровню развития человеческой деятельности с точки зрения преобразования, обработки и практического использования минеральных ресурсов. В древней металлургии (до н.э.) использовались золото, серебро, медь, железо, свинец, ртуть.

Круг используемых горючих материалов сохранился практически неизменно до начала промышленной революции. Основная доля потребляемых горючих ископаемых в мире с 1880 до 1950 гг. приходилась на уголь, на смену которому в настоящее время пришли нефть и газ. В последние года эта ситуация кардинально меняется в пользу угля.

Наряду с дальнейшим совершенствованием методов добычи и переработки минерального сырья возрастает за второе полстолетия XX века было израсходовано больше минерального сырья, чем за всю предыдущую историю человечества. Эта тенденция, хотя и не столь резко, продолжается в настоящее время. Под рациональным использованием минеральных ресурсов понимают систему мероприятий научного производственно-технического и организационного характера, обеспечивающего полное и комплексное использование полезных ископаемых, вмещающих пород и отходов производства при разведке, добыче, переработке и на всех последующих стадиях для получения максимального эффекта в народном хозяйстве и удовлетворения материальных и духовных потребностей общества. (Ревазов, 1986).

Рациональное использование минеральных ресурсов - комплексная проблема, и ее решают в следующих направлениях: геологическом, горнотехническом, технологическом, экономическом и организационном.

Геологическое направление включает в себя совершенствование методов разведки и подсчета запасов полезных ископаемых и вмещающих пород (в первую очередь, в действующих горно-промышленных регионах), изучение вещественного состава, разработку научно-обоснованных полезных ископаемых методов прогноза инженерно-геологических и гидрогеологических условий эксплуатации месторождений.

Большое значение для рационального использования минеральных ресурсов имеет научно обоснованный прогноз инженерно-геологических и гидрогеологических условий строительства горных предприятий и эксплуатации месторождений полезных ископаемых.

Поэтому задачами прогнозирования являются: оценка природных условий, в которых будет строиться и эксплуатироваться горное предприятие; определение изменения этих условий в процессе освоения месторождений и необходимости проведения защитных инженерных мероприятий.

Таблица 1.4 – Мировые ресурсы важнейших полезных ископаемых

Полезные ископаемые	Достоверные и извлекаемые запасы	Общие ресурсы	Кратность запасов, лет
Нефть, млрд. т	124	354	40
Газ, трлн. куб. м	109	271	60
Уголь, млрд. т	1076	13868	200
Уран, млн. т	2,2	10-20	70
Железная руда, млрд. т	153,4	200-800	120
Марганцевые руды	9007	3538	110
Хромовые руды, млрд. т	3,4	36	н.д.
Бокситовые руды, млрд.	21-23	232	70
Медь, млн. т	340	560	30
Никель, млн. т	54	120	60
Кобальт, млн. т	3,1	6	40
Свинец, млн. т	75	125	30
Цинк, млн. т	148	2995	30
Олово, млн. т	4,2	6,4-7,8	25
Молибден, млн. т	9,8	21	50
Ртуть, тыс. т	128	24,1	30
Сурьма, млн. т	2,0	-	35
Фосфориты, млрд. т	133	-	120
Калийные соли млрд. т	9,1	140	150
Золото, тыс. т	31,4	62	н.д.
Серебро, тыс. т	253	500	н.д.
Плавиковый шпат, млн.	549	-	н.д.

Горно-техническое направление связано с созданием новой и совершенствованием существующей техники и технологии разработки месторождений, обеспечивающих полноту и качество извлечения полезных ископаемых из недр.

В России широкое распространение получил открытый способ добычи, для которого разработаны и внедрены эффективные технологические решения, позволяющие повысить коэффициент извлечения полезных ископаемых из недр и вовлечь в эксплуатацию запасы минерального сырья, ранее списанные или подлежащие списанию при принятой в проекте технологии горных работ.

Технологическое направление предусматривает создание новых и совершенствование существующих технологических процессов переработки минерального сырья, позволяющих наиболее эффективно извлекать содержащиеся в нем полезные компоненты, вовлекать в переработку бедные и забалансовые руды, утилизировать вмещающие породы и отходы производства.

В последнее время увеличилась добыча труднообогатимых комплексных руд, требующих использования при их переработке комбинированных технологических схем, которые включают в себя наряду с обогатительными операциями процессы пиро- и гидрометаллургии. Коллективные концентраты, бедные забалансовые руды, отходы обогащения, окисленные руды рекомендуется перерабатывать с использованием предварительного обжига, выщелачивания, в том числе бактериального, сорбционной и экстракционной технологии.

По мнению акад. Н. В. Мельникова, повышение извлечения полезных ископаемых — основополагающий принцип в экономике горного дела.

Экономическое направление — разработка экономического механизма управления комплексным использованием минеральных ресурсов.

Основные элементы экономического механизма управления минерально-сырьевым комплексом (МСК) заключаются в следующем:

взаимоувязанном целевом планировании развития отраслей МСК (экономической оценке месторождений, статистическом учете и анализе использования минеральных ресурсов, прогнозировании

закономерностей изменения запасов минеральных ресурсов во времени, разработке баланса потребности в сырье и т. д.);

устойчивом целевом финансировании мероприятий по рациональному использованию минеральных ресурсов;

усилении воздействия цен на рациональное использование минеральных ресурсов;

повышение ответственности за рациональное использование.

В обеспечении рационального использования минеральных ресурсов и охраны недр первостепенная роль принадлежит системе цен на минеральное сырье. Эти цены должны учитывать условия, в которых добываются полезные ископаемые, и их роль в народном хозяйстве.

Таким образом, рациональное использование минеральных ресурсов в России связано с проведением комплекса мероприятий по рассмотренным выше направлениям.

В отечественной горнодобывающей промышленности имеется большой опыт комплексного использования минеральных ресурсов.

Большая часть добываемых твердых полезных ископаемых - каменный уголь, бурый уголь, антрацит, горючие сланцы - идет на первичную и комплексную переработку. Первичная переработка (рассортировка угля по классам и другие операции) способствуют получению более качественного топлива и сокращению отходов.

Комплексное использование твердых горючих ископаемых направлено на получение кокса, химической продукции и энергетического топлива. Методом коксования, кроме кокса, получают значительное количество газа, сырого бензола и смолы. В перспективе из коксового газа и смолы возможно получение в промышленных масштабах большего количество продукции, в том числе серную кислоту, сульфат аммония, и т.д. Отходы переработки угля, в частности зола и шлаки, находят широкое применение в народном хозяйстве. (Певзнер)[40].

Для горно-химической отрасли комплексное использование минеральных ресурсов сопровождается максимальным извлечением полезных компонентов, содержащихся в рудах, утилизацией вмещающих пород и отходов производства, а также пополнение минерально-сырьевой базы отрасли за счет попутного извлечения фосфатов, серы и других полезных компонентов при комплексной переработке руд черных и цветных металлов, природного газа, и т.д.

Наглядным примером комплексной переработки минеральных ресурсов являются нефелиновые руды Кия-Шатырского месторождения в Кемеровской области. Из комплексного нефелинового сырья получают глинозем, соду, цемент. Такая прогрессивная безотходная технология впервые в мире разработана и внедрена в промышленное производство только в России, в других странах извлекают глинозем только из бокситов.

Выделяют 4 уровня комплексной переработки и использования минеральных ресурсов: выделение из минерального сырья методами обогащения одного концентрата, содержащего одного или несколько основных ценных компонентов (например, угольного из угольных месторождений, монометаллического из месторождений цветных и черных металлов); дополнительное выделение методами обогащения самостоятельных концентратов, не являющихся основными для данной подотрасли (например, молибденового из медно-молибденовых руд, медного и висмутового из вольфраммолибденовых руд, баритового, флюоритового, полевошпатового из руд цветных металлов); выделение элементов-спутников, не образующих самостоятельных минералов (редких и рассеянных элементов), из концентратов обогащения химико-металлургическими методами или комбинированной переработкой полезных ископаемых (таким образом, например, получают селен и теллур из сульфидов; теллур, галлий из глинозёма; германий из угля; платиноиды из медно-никелевых руд; часть золота и серебра из пиритных концентратов и т. д.); использование отходов обогащения и металлургии для получения строительных материалов, удобрений и другой попутной продукции (например, щебня, песка, гравия из хвостов обогатительных фабрик; шлаковаты, фосфорных удобрений из доменных шлаков; серной кислоты из газов цветной металлургии).

При комплексной переработке необходим детальный анализ вещественного состава полезных ископаемых, продуктов обогащения и химико-металлургической переработки. На основе такого анализа рассчитывается баланс распределения полезных компонентов по продуктам переработки и разрабатывается технология их рационального извлечения. Целесообразность выделения соответствующих компонентов определяется технико-экономическими обоснованиями: наличием производственных мощностей, потребностью в данном виде продукции, возможностью транспортировки, наличием средств для

строительства установок и технологических узлов, себестоимостью производства и т.д.

Комплексная переработка — важнейший принцип всех минерально-сырьевых отраслей промышленности. В цветной металлургии комплексная переработка позволяет получать попутную продукцию, общая стоимость которой составляет около 30% товарного выпуска отрасли, извлекать около 70 элементов в виде 700 различных видов продукции. Из них на обогатительных фабриках выпускается 30 видов концентратов, являющихся попутной продукцией.

В условиях крупных объемов добычи рациональное использование углей представляет собой важную народнохозяйственную задачу, которая предусматривает не только основные традиционные направления, собственно топливное и коксохимическое, но и достаточно широкий диапазон так называемых не топливных видов их потребления. При этом справедливо считается, что эффективность и рентабельность последних может быть достигнута только при комплексной переработке исходных углей и связанных с ними минеральных компонентов. Еще одним значимым видом рационального использования углей является экономное расходование получаемой на их основе энергии, переход на менее энергоемкие процессы производства.

Проблема рационального использования углей особо актуальна в отношении месторождений мощных пластов, пригодных для открытой разработки, поскольку это первоочередные объекты добычи в крупных размерах, дающие наиболее дешевые угли. Безусловно, диапазон свойств и пригодности углей мощных пластов неодинаков.

Это касается степени углефикации (бурые, каменные, антрациты), количества минеральных компонентов, золы, сернистости, коксуемости, обогатимости, выхода смол, содержания редких элементов и др. Отсюда многовариантность схем рационального использования углей таких месторождений, начиная от прямого сжигания до сложных процессов предварительной переработки с получением широкого диапазона конечных продуктов разнообразного назначения.

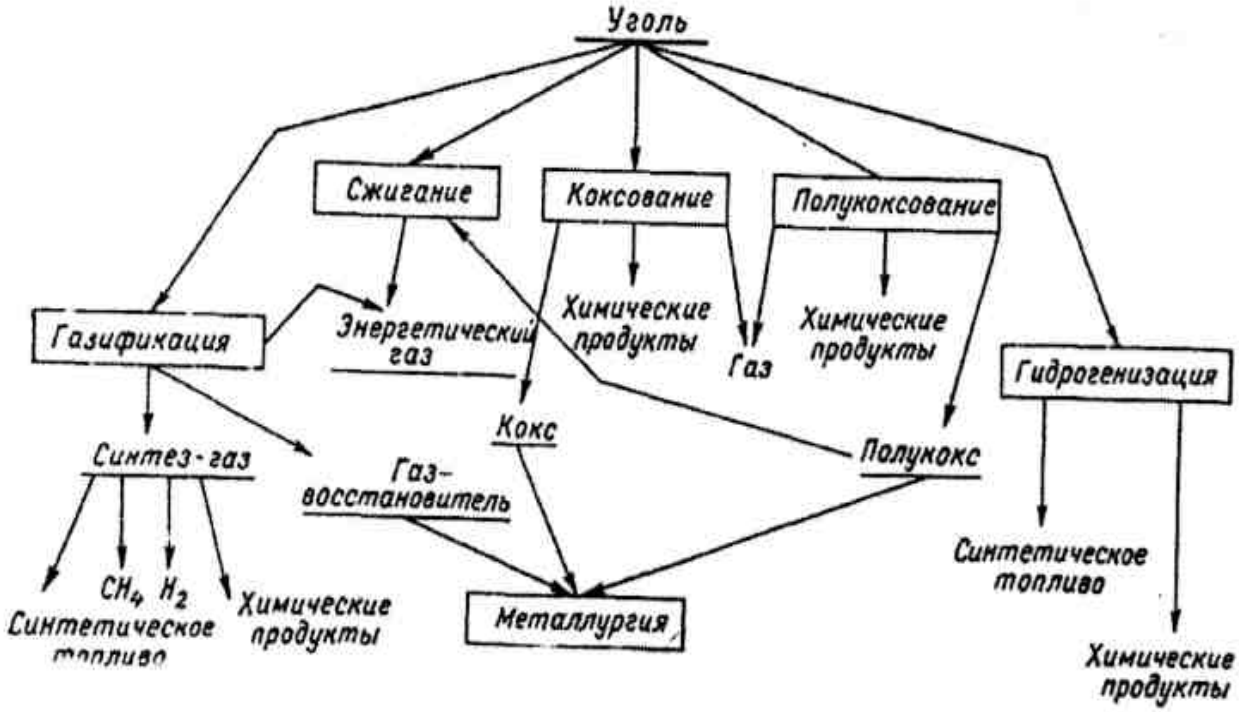


Рисунок 1.1. – Схема комплексной переработки и использования органической части углей

Комплексная переработка газа осуществляется на газоперерабатывающих заводах (ГПЗ), первоначально - для подготовки главным образом нефтяного газа к дальнему транспорту (удаление механических примесей и воды) и извлечения газового бензина. Основные процессы переработки — компрессия и масляная абсорбация. В последние годы проводится глубокое извлечение (80 - 90%) пропана и бутана (при этом газ подготавливается к дальнему транспорту и попутно из него извлекается газовый бензин), начата переработка газов газовых и газоконденсатных месторождений. Комплексная переработка газа осуществляется методами низкотемпературной абсорбации (НТА) с f_{abc} от - 30 до – 50° С и абсорбации под высоким давлением с $P_{abc.}$ – 14 – 16 мПА, а также короткоцикловой абсорбации. В перспективе возможна комплексная переработка нефти и морской воды.

Комплексное освоение недр - наиболее полное и экономическое освоение всех видов ресурсов земных недр на основе сочетаний (комплексов) эффективных горных технологий. Ресурсы земных недр по своему вещественному составу, месту нахождения и возможностям использования весьма многообразны.

Таблица 1.5 - Виды ресурсов земных недр

Группы	Виды ресурсов земных недр
I	Месторождения твердых, жидких и газообразных полезных ископаемых
II	Отвалы добытых забалансовых полезных ископаемых, горных пород вскрыши и от проходки подземных выработок, содержащие полезные компоненты
III	Отходы переработки обогатительного и металлургического производства (отвалы хвостов обогатительных фабрик, металлургических шлаков, промывочных установок на россыпных месторождениях), сточные воды обогатительного
IV	Глубинные источники пресных, минеральных и термальных
V	Внутреннее (глубинное) тепло недр Земли
VI	Природные и техногенные полости в земных недрах (пещеры, горные выработки, пригодные для размещения промышленно-хозяйственных) и лечебных объектов, захоронения отходов промышленного

Первые три группы вместе составляют минеральные ресурсы недр: первая группа - природные ресурсы, вторая и третья - отходы их добычи и переработки. Значительные по запасам скопления последних, в частности отвалы, представляющие промышленный интерес (они будут рассмотрены в конце раздела). Большое число объектов возможного освоения предопределяет многообразие современных способов и средств, сочетания которых эффективны для комплексного освоения отдельных видов ресурсов недр из большого числа комплексных горных технологий, которые получают всё более широкое применение в практике разработки месторождений, наибольшие перспективы имеют: комплексная открыто-подземная разработка месторождений, позволяющая при существенном снижении общей себестоимости добычи полезных ископаемых развивать такие ее размеры, которые недоступны при обычной последовательной разработке месторождения

открытым и подземным способами (рудники ПО «Апатит», Тырныаузский, Гайский и др.); комплексная подземная или открытая разработки с обычной горной технологией для основной части месторождения и доработка маломощных и забалансовых частей, оставленных целиков, руды, потерянной в закладке и в обрушенной массе породы путем химического выщелачивания. Критерием эффективности комплексного освоения недр является достижение оптимальных для развития народного хозяйства и интересов будущих поколений показателей полноты использования ресурсов недр и участвующих в процессе их освоения трудовых и материальных ресурсов. На оценку оптимизации освоения минеральных ресурсов недр влияют показатели полноты извлечения из недр и при переработке полезных ископаемых, особенно высокоценных и дефицитных. Это объясняется неудовлетворительным уровнем полноты извлечения в процессах добычи и переработки многих видов полезных ископаемых, а также возрастающей ролью в горной промышленности месторождений комплексных полезных ископаемых. Полные сквозные потери полезных ископаемых складываются в среднем из потерь: в процессе добычи — 10-30%, первичной переработки (обогащении) - 20-40%, химико-металлургического передела - 10-15%). Особенно велики потери при первичной переработке многокомпонентных полезных ископаемых (руд). Поэтому проблема комплексного, т. е. полного использования минерального сырья, первой привлекла к себе внимание и оформилась как составная часть общей проблемы комплексного освоения месторождений твердых полезных ископаемых. В горном производстве она относится к завершающей стадии промышленного освоения месторождений - переработке добытого полезного ископаемого. Непрерывно увеличивается число извлекаемых из комплексного минерального сырья «попутных» компонентов, в частности редких элементов, растет коэффициент их извлечения. Если в 1950 г. из руд цветных и черных металлов извлекалось 35 полезных компонентов, то к 2000 г. число их достигло 80. Заметно поднялась роль «попутной» продукции, т. е. новых извлекаемых компонентов из руд в цветной металлургии. По некоторым видам руд в полной стоимости, получаемой конечной продукции доля «попутной» продукции составляет свыше 50%. Капиталовложения на её производство окупаются в 2-3 раза быстрее, чем на вновь строящихся предприятиях, которые выпускают

эту продукцию как основную. Чем больше извлекается из руд попутных полезных компонентов, тем ниже становится минимально промышленное содержание основных компонентов, а вместе с этим возрастают запасы полезных ископаемых в месторождениях, возможная производственная мощность горных предприятий по конечной продукции и в конечном итоге повышается экономическая эффективность освоения минерально-сырьевых ресурсов.

Комплексные руды - природные минеральные образования, содержащие несколько металлов или других ценных компонентов в таких соединениях и концентрациях, при которых их промышленное использование технологически возможно и экономически целесообразно. Комплексные руды могут быть полиминеральными и полиэлементными. Полиминеральные комплексные руды состоят из нескольких минералов различного состава, пригодных для раздельного использования (например, полиметаллическая руда - из сульфидов меди, цинка, свинца и других металлов; медно-молибденовые комплексные руды - из сульфидов меди и молибдена; вольфрам-оловянные комплексные руды - из минералов этих металлов). Полиэлементные комплексные руды состоят из нескольких металлов, входящих в состав одного минерала (например, ванадинит, содержащий в своем составе свинец и ванадий; пирохлор - церий и ниобий; электрум - золото и серебро; алтаит - свинец и теллур; пираргирит — серебро и сурьму). По использованию продуктов извлечения среди комплексных руд различают внутриотраслевые (например, комплексные руды, содержащие несколько цветных металлов) и межотраслевые, когда кроме ценных компонентов используется вмещающая (пустая) порода для производства строительных материалов, т.е. применяется безотходная технология переработки комплексных руд.

Промышленное использование комплексных руд осуществляется тремя способами: при раздельной обработке полиминеральных руд, если они слагают разные части рудных тел; в процессе первичной обработки полиминеральных руд и селективном обогащении; в процессе извлечения ценных элементов примесей из комплексных руд и их концентратов при металлургическом переделе.

Проблема комплексного использования минеральных ресурсов недр связана с объективно существующей их многокомпонентностью,

возможностью и целесообразностью совместной выемки и последующего разделения многих компонентов.

Стремление к комплексному использованию сырья, заключающемуся в одновременном или последовательном извлечении из него многих ценных составляющих, — характерная черта развития производства в большинстве отраслей промышленности.

Преимущества такого подхода очевидны. Они сводятся к рентабельному вовлечению бедных (по содержанию каждого компонента в отдельности) руд; получению ряда важных для народного хозяйства химических элементов и соединений, не имеющих собственных месторождений; уменьшению загрязнения окружающей среды отходами производства; существенному улучшению экономических показателей предприятия и повышению эффективности общественного производства в целом.

Исходной предпосылкой комплексного использования сырья является его сложный вещественный состав, наличие в нем не одного, а нескольких необходимых народному хозяйству химических элементов, соединений, ценных свойств.

Конечно, главное здесь в том, насколько велико содержание данных элементов и соединений в конкретном месторождении. Ведь в принципе, почти любой химический элемент может быть извлечен из любого (в том числе и весьма малого) объема горной породы. Однако такая теоретическая возможность вовсе не адекватна экономической целесообразности: извлечение данного химического элемента может потребовать чрезмерных затрат труда, времени, энергии и материальных ресурсов.

Чем выше содержание конкретного химического элемента в оцениваемом объеме горной породы, тем вероятнее, что его извлечение может оказаться эффективным. С того уровня, когда затраты по извлечению элемента из конкретного объема горной породы окажутся не выше общественно допустимого предела,— она (порода) становится потенциальным источником последующего получения достаточно эффективного минерального сырья или месторождением. Месторождения с особо высоким содержанием компонента принято называть богатыми, с обычным — рядовыми, а с содержанием, близким к предельному по экономичности, — бедными.

По ориентировочным подсчетам геологов в богатых месторождениях содержится всего 5% извлекаемых элементов, в рядовых — 30% и в бедных — 65%. Исходя из этих данных, обычно делают заключение, что по мере исчерпания запасов сырья в богатых месторождениях осуществляется последовательный вынужденный переход к отработке рядовых и бедных, что с неизбежностью приводит к ухудшению технико-экономических показателей разработки.

В целом, однако, такого рода подход не учитывает следующих четырех важных моментов, существенно влияющих на данные выводы.

Во-первых, под влиянием научно-технического прогресса происходит непрерывное улучшение технико-экономических показателей разработки, переработки и использования минерального сырья, а это сказывается на той нижней границе содержания полезного компонента, при которой его извлечение из недр становится эффективным. Естественно, что сказанное изменяет и представления о том, какие месторождения следует отнести к богатым, рядовым и средним и какие технико-экономические показатели эксплуатации им соответствуют.

Во-вторых, со временем непрерывно изменяется сама структура потребностей в минеральном сырье. С одной стороны, возникают новые и отмирают традиционные области потребления отдельных видов минералов, появляется необходимость в новых их видах, а с другой — создаются искусственные заменители природных материалов, что также меняет представление о мере общественной эффективности эксплуатации определенных запасов полезных ископаемых.

В-третьих, изменение содержания одного из химических элементов в горной породе арифметически неизбежно приводит к обратному изменению содержания других элементов. Конечно, в отдельных случаях эти последние могут не представлять экономического интереса, но чаще они также нужны народному хозяйству и извлекаются из других пород как полезные компоненты. Возникает задача об экономической оценке этих дополнительных компонентов и о целесообразности одновременного их извлечения, т. е. о комплексном использовании сырья. В этом случае суждение о целесообразности комплексного использования сырья и экономических последствиях такого решения зависит во многом от того, какими дополнительными компонентами замещается основной, — представляющими, либо не представляющими

экономического интереса. Конкретная ситуация может быть как той, так и иной, но зачастую попутные компоненты представляют вполне реальный экономический интерес, а их содержание находится в обратной зависимости к содержанию основного компонента.

В-четвертых, чем ниже содержание полезного компонента в минеральном сырье, тем, обычно, большие запасы этого сырья обнаруживаются в одном месторождении. На базе таких запасов можно и целесообразно создавать более мощные предприятия и целые территориально-производственные комплексы. На таких предприятиях выгодно использовать технику повышенной мощности, принципиально новые технологию, организацию и управление производством, что дополнительно повышает его эффективность.

Многие годы не находит практического решения проблема комплексной переработки пиритных концентратов, извлекаемых из руд колчеданно-полиметаллических, медноколчеданных и других природных типов месторождений цветных металлов. Между тем из пиритного концентрата медноколчеданных месторождений извлекается 15-20% меди и цинка, 27-59% свинца, индий, кадмий, серебро и молибден, 63-69% селена, теллура, 80-90% железа, кобальта и ряд других компонентов, на долю которых приходится свыше 60% валовой стоимости содержавшихся в исходной руде ценных компонентов. Пиритный концентрат, выход которого составляет 80-85% общей массы руды, вплоть до настоящего времени используется в основном для производства серной кислоты с попутным извлечением из него только селена. Все остальные компоненты после обжига концентрата переходят в огарки, которые пока еще почти не находят практического применения и направляются в отвалы.

Было бы целесообразно перерабатывать пиритный концентрат на предприятиях цветной металлургии, полностью извлекая из него цветные, редкие и благородные металлы, а получаемую при этом серную кислоту передавать на химические заводы. Отвалы пиритных огарков могут стать крупным источником получения дополнительных продуктов цветной металлургии.

На предприятиях по добыче и переработке руд скарново-магнетитовых месторождений в промышленных условиях также до сих пор не организовано извлечение пиритных концентратов, содержащих

повышенные концентрации кобальта, меди, цинка и других цветных металлов, которые также переходят в хвосты обогащения.

Следует особо отметить случаи, когда попутные компоненты, извлекаемые с применением рациональной технологии переработки сырья, по тем или иным причинам далее не могут быть полностью реализованы, теряются безвозвратно, нерационально используются по менее ответственному назначению или же складируются вместе с отвальными хвостами переработки сырья. Примером могут служить горнодобывающие предприятия редкометальной подотрасли. На ряде из них попутно с концентратами основного компонента извлекаются (или могут быть эффективно извлечены) кондиционные – слюдяной, полевошпатовый, кварц-полевошпатовый и кварцевый концентраты. В отдельных случаях ценность этих концентратов — при их производстве и реализации в максимально возможном объеме — соизмерима с ценностью основной редкометальной продукции. Их учет в полном объеме, подобно тому, как это отмечалось для пиритосодержащих руд цветных металлов и комплексных апатито-нефелиновых руд, позволил бы по некоторым месторождениям заметно снизить кондиции для подсчета запасов и полнее использовать недра. К сожалению, в большинстве случаев реализуется не более 50% возможного выпуска слюдяного и полевошпатового концентратов, производство же кварцевого и кварц-полевошпатового концентратов пока еще не налажено.

Важным является использование отходов последующих стадий переработки минерального сырья (вторичные ресурсы). Темпы развития народного хозяйства и возрастающие объемы отходов выдвигают многие виды вторичного сырья в разряд крупного ресурсосберегающего источника. Планомерное расширение использования вторичного сырья становится важным ресурсосберегающим направлением. Эта проблема тесно связана с научно-техническим прогрессом, и прежде всего — с созданием и внедрением соответствующих технологических процессов комплексной переработки сырья и материалов. Исключительно важное значение имеет и экологический аспект решения этой проблемы, поскольку вовлечение в хозяйственный оборот отходов горнодобывающей и перерабатывающей промышленности становится одним из радикальнейших средств охраны природы.

В отвалах предприятий, перерабатывающих минеральное сырье, накопилось более 3 млрд. т отходов, пригодных к использованию взамен

первородного сырья. К основным из них можно причислить металлургические шлаки и шламы черной и цветной металлургии, золошлаковые отходы тепловых электростанций, фосфогипс, пиритные огарки, флотационные и галитовые отходы.

Уровень использования в народном хозяйстве отдельных видов вторичных ресурсов характеризуется следующими данными:

вид вторичного ресурса	% использования
Лом цветных металлов	…….89
Лом черных металлов	…….64
Огнеупоры	……60
Фосфогипс	…..7
Ипритные опфки	……55
Отходы флотации апатитов	…..10
Шлак доменный	……86
Шлак сталеплавильный	……..28
Золы и шлаки тепловых электростанций	……10

Черная металлургия. К отходам в черной металлургии относятся в первую очередь различные шлаки — доменные, сталеплавильные, ферросплавные, а также колошниковая пыль, отходы литейного производства, различные железосодержащие пыли и шламы.

Современный металлургический завод на каждый 1 млн. т выплавленной стали выбрасывает в окружающую среду (в тыс. т): шлаков —800, пыли—100 и шламов — 30. В целом предприятия черной металлургии страны ежегодно выдают более 78 млн. т шлаков, в том числе 51 доменных, сталеплавильных — 23, ферросплавных — 4. Из этого количества в народном хозяйстве ежегодно используется около 44 млн. т. В обозримый период времени производство стали и сплавов на основе железа будет преимущественно базироваться на существующей в настоящее время технологии, поскольку невозможно представить ее быструю замену на какую-либо более совершенную. В этих условиях единственно правильный путь—переход традиционной черной металлургии к безотходному или малоотходному производству

И в то же время только отдельные предприятия полностью утилизируют доменные шлаки, недостаточно используются сталеплавильные шлаки. В 2002г. из 23 млн. т сталеплавильных шлаков было использовано только 6 млн. т, они находят применение в дорожном

строительстве, приготовлении известковых и шлакофосфорных удобрений. Между тем в них содержится около 20 % металла, который может извлекаться и возвращаться в технологический процесс. Сталеплавильные шлаки эффективно применяются главным образом в производстве строительного щебня, минеральных компонентов асфальтобетона и местных вяжущих компонентов. Широкому же их применению в цементной промышленности препятствуют пестрый состав шлаков и значительные содержания металлов.

Ферросплавные шлаки применяются в производстве силикатного кирпича и автоклавных бетонов. По данным Южгипроцемента сырьем для цементного производства могут служить шлаки алюмотермического производства ферросплавов — ферробора, ферротитана и металлического хрома. Введение в состав цемента 5-8 % этих шлаков значительно повышает его прочность. Ряд цементных заводов использует в производстве цемента колошниковую пыль, а один из заводов — железосодержащую пыль от мартеновских и конверторных печей.

Цветная металлургия. На предприятиях цветной металлургии накоплены и ежегодно образуются разнообразные и обширные отходы обогащения, шлаки, шламы и сульфатно-калийные соли глиноземного производства, фторангидритные отходы производства криолита, пиритные огарки, фосфогипс и др. В отвалах сосредоточено свыше 300 млн. т металлургических шлаков, 2,5 млрд. т отходов обогащения, более 100 млн. т шламов глиноземного производства.

В общей проблеме использования отходов цветной металлургии существенную роль должна сыграть организация более полной переработки шлаков в продукты для производства строительных материалов, как это уже сделано для доменных шлаков черной металлургии. Шлаки медной и никелевой подотраслей по своим прочностным характеристикам, теплофизическим свойствам, износо- и кислотостойкости значительно превышают аналогичные показатели доменных шлаков.

Образование и необходимость сохранения хвостов обогащения руд, а также отходов переработки концентратов (кеки гидрометаллургии, шлаки) в качестве сырья для доизвлечения как основных, так и попутных компонентов во многом связаны с несовершенством практически применяемой технологии переработки труднообогатимых

(тонковкрапленных, окисленных, шламистых) руд и концентратов цветных металлов.

Так, пирометаллургическая переработка свинцовых концентратов сопровождается образованием значительного количества шлаков, содержащих повышенные концентрации цинка (до 17%), свинца (до 3%), меди (до 0,9%), а также оксиды железа, кремния и алюминия. Большие объемы таких шлаков накоплены на ряде действующих и старых заводов. Между тем эффективная технология переработки шлаков уже разработана и применяется, например, на Усть-Каменогорском свинцово-цинковом комбинате в Казахстане.

Значительны потери меди и в шлаках медеплавильного производства. Между тем институт «Унипромедь» уже провел исследования по комплексной электротермической переработке шлаков медеплавильных заводов и показал возможность получения их них медистого чугуна, цинковых возгонов и силикатно-кальциевого шлака. Разработана также технология безотходной переработки медных концентратов с получением богатого медью штейна и высококальциевого маложелезистого шлака, являющегося высококачественным сырьем для производства шлаковаты, шлаколитных изделий и шлакоситалла.

Имеются значительные резервы доизвлечения металлов из отходов переработки руд и концентратов и в других подотраслях цветной металлургии. При этом особенно актуальна проблема комплексной переработки сырья на ряд попутных компонентов, извлечение которых на металлургических заводах не превышает 10-15%.

Ежегодно в мире, по данным ЮНЕСКО, добывается и перерабатывается свыше 120 млрд. тонн минеральных и горючих ископаемых (по 20 тонн на человека), в Кузбассе до 300 т (или в 15 раз больше). От этой огромной массы, по данным академика Б.Н. Ласкорина, используемые компоненты составляют максимум 30-40%о, что свидетельствует о размещении и накоплении огромного количества вещества, изъятого из естественных условий нахождения в геосфере, переработанного, преобразованного и превращенного в отходы (60-70%).

Современная промышленность выпускает десятки тысяч наименований разнообразной продукции. Причем в сферу материального производства вовлекается во много раз больше исходного

сырья, чем выпускается готовых продуктов. Например, на выпуск 1 т чугуна расходуется 1,5 – 2 т сырья; 1 т алюминия – 3 – 10 т; 1 т никеля – 5 – 1 0 т; 1т извести – 1.5 – 2 т, 1 т цемента – 1,4 – 1,7 т сырья и т.д. При этом на разных стадиях технологического процесса возникают отходы: твердые, жидкие, газообразные, многие из которых токсичные (а используется и обезвреживается до 34 %). (Тулеев, Павленко).[47]

Главными поставщиками промышленных отходов являются добывающая промышленность, черная и цветная металлургия, электроэнергетика, химическая промышленность и т.д.

Многие промышленные минеральные отходы (лучше вторичные минеральные ресурсы «ВМР») по своему составу и свойствам близки к природному сырью и являются источником техногенного сырья в первую очередь для промышленности строительных материалов. Появился даже новый термин «техногенные месторождения». Эти месторождения должны стать альтернативной сырьевой базой для многих отраслей и она должна изучаться и оцениваться строже, чем месторождения природного минерального сырья.

Таблица 1.6- Выход некоторых видов промышленных отходов в странах СНГ

Вид отходов	Примерный годовой выход		% исполь-зования
	млн. т	млн. $м^3$	
Вскрышные проходы (отходы добывающих отраслей)	-	2500	10
Отходы угледобычи (пустые	-	1300	10
Отходы углеобогащения	80	-	10
Шлаки черной и цветной	80	-	20
том числе доменные	-	-	80
Золы и шлаки тепловых	100	-	12
из них в России	50	-	3-5

Современный технологический уровень пока еще не позволяет осуществлять массовую переработку всех отходов с целью извлечения ценных компонентов на приемлемом уровне рентабельности. Требуются огромные капиталовложения по созданию новых технологий комплексной глубокой переработки вторичных минеральных ресурсов с целью извлечения в чистом виде всех металлов (их в отходах до 20 %), в том числе драгоценных и редкоземельных элементов и других компонентов в одном технологическом цикле.

Проблема переработки и использования ВМР, неразрывно связана с защитой биосферы от загрязнения и сохранением природных ресурсов, по нашему мнению, должна решаться по двум стратегическим направлениям: 1) переработка и использование образующихся и уже накопленных отходов. 2) переход к новым технологическим процессам с минимальным количеством отходов или без отходов совсем.

В начало 3-го тысячелетия Кемеровская область входит как крупнейший территориально-производственный комплекс Российской Федерации. Экономический потенциал, мощное многоотраслевое хозяйство, развитая промышленность области играют ведущую роль в экономике региона. На сравнительно небольшой площади сосредоточено около одной трети основных производственных фондов Западно-Сибирского экономического района. К настоящему времени Кемеровская область приобретает значение мощного индустриального района, опорной базы промышленного развития не только Сибири, но и всей страны.

Территория области является одной из наиболее насыщенных предприятиями промышленного и горнорудного комплексов не только в России, но и во всем мире. Средний показатель добычи сырья и накопленных продуктов его переработки на каждого жителя области составляет около 300 тонн, что более чем на порядок превышает среднемировой уровень. В пределах области ежегодно добывают более 160 млн. т угля, 3,6 млн, т железной руды, выплавляют 15,1 млн. т чугуна и стали, производят 1,7 млн. т цветного металла, получают более 270 тыс. т алюминия, 330 тыс. т ферросплавов.

Использование вторичных минеральных ресурсов в качестве сырья для основного производства и организация выпуска попутной продукции будут способствовать значительному снижению издержек производства, превращению его в рентабельное.

Повышение отдачи земных недр Кузбасса за счет более полного извлечения полезных компонентов, комплексного использования продуктов горно-обогатительного и металлургических переделов, внедрения рациональных геотехнологий эксплуатационных работ должно быть в настоящее время стратегическим направлением реализации концепции устойчивого социально-экономического развития Кемеровской области.

1.4 Охрана окружающей среды

Охрана окружающей среды – комплекс мероприятий по оптимизации или сохранению окружающей природной среды. Цель охраны окружающей среды – противодействие негативным изменениям в ней, которые имели место в прошлом, происходят сейчас или предстоят. [14] Емкое определение «окружающая среда» дано в БЭС, 1998, с. 837. «Окружающая среда» - среда обитания и деятельности человечества, окружающий человека, природный и созданный им материальный мир. Окружающая среда включает природную среду и техногенную среду. Воздействие на окружающую среду особенно усилилось в эпоху современной НТР. Для всех способов разработки полезных ископаемых характерно воздействие (антропогенное!) на биосферу, затрагивающее практически все ее элементы: воздушный и водный бассейны, землю, недра, растительный и животный мир. В таблице дана сравнительная качественная оценка воздействия на окружающую среду некоторых видов промышленного производства.

Воздействие горного производства на биосферу проявляется в различных отраслях народного хозяйства и имеет большое социальное и экономическое значение. Так, косвенное воздействие на землю, связанное с изменением состояния и режимом грунтовых вод, осаждением пыли и химических соединений, их выбросов в атмосферу, а также продуктов ветровой и водной эрозии, приводит к ухудшению и уничтожению естественной растительности, миграции и сокращению численности диких животных, снижению продуктивности сельского и лесного хозяйства, животноводства и рыбного хозяйства.

Таблица 1.6 - Сравнительная оценка воздействия различных видов промышленного производства на окружающую среду.

Отрасль промышленности	Воздействие отраслей промышленности на элементы биосферы						
	Воздушный бассейн	Водный бассейн		Земная поверхность		Флора, фауна	Недра
		Поверхностные воды	Подземные воды	Почвенный покров	ландшафт		
Химичская и нефтехимическая	Си	Си	Ср	Ср	Н	Ср	Н
Металлургическая	Си	Си	Н	Ср	Н	Ср	О
Целлюлозно-бумажная	Ср	Си	Н	Н	О	Н	О
Топливно-энергетическая	Си	Си	Н	Н	Ср	Н	О
Строительство	Н	Н	Н	Ср	Н	Н	Н
Транспорт	Ср	Ср	Н	Н	Н	Н	О
Горнодобывающая	Ср	Си	Си	Си	Си	Ср	Си

Примечание. О - отсутствие воздействия, Н - незначительное воздействие, Ср - воздействие средней силы, Си - сильное воздействие.

Как следует из этой таблицы, горное производство оказывает все более широкое воздействие на биосферу, затрагивающее практически все элементы. В то же время воздействие некоторых видов деятельности на отдельные элементы биосферы проявляется более интенсивно.

Некоторыми авторами сделана попытка классифицировать воздействия горного производства на окружающую среду; ученые считают, что это воздействие вызывают геомеханические, гидрологические, химические, физико-механические и термические изменения в окружающей среде.

Геомеханические изменения обусловлены:

1.Строительством карьеров, отвалов, отстойных водоемов, различных насыпей и траншей.

2.Деформацией поверхности в результате ведения горных работ.

3.Хранением отходов обогатительных фабрик и других отходов.

4.Монтажными работами, работой тяжелого оборудования и др.

В результате этого воздействия происходят: изменения рельефа местности, геологической структуры массива горных пород, почвы и строительного полотна; механические повреждения почвы, ликвидация почвы и создание беспочвенных местностей; повреждения строительных объектов и инженерных сооружений.

Гидрологические изменения обусловлены:

1. Дренажным воздействием подземных и открытых горных выработок.

2. Деформацией поверхности в результате ведения горных работ.

3.Строительством карьеров, отвалов, водоемов, различных насыпей и траншей.

4. Смещением русел рек, строительством водоемов, перепадов и других гидротехнических сооружений.

5. Загрязнением вод.

6. Использованием подземных вод для различных целей.

7. Дренированием месторождений.

В результате этого воздействия происходят: изменения положения и движения уровня подземных вод и гидрографической сети, ухудшение качества вод мелко залегающих водоносных горизонтов, геолого-инженерных условий строительного полотна, водного режима почвенного слоя; уменьшение ресурсов подземных вод; увеличение эрозии и механического уплотнения грунтов; изменения морфодинамического режима рек и др.

Химические изменения обусловлены:

1. Эмиссией газов и химически активной пыли.

2. Сбросом засоленных и загрязненных вод.

3.Воздействием токсичных компонентов, содержащихся в породных отвалах и хвостохранилищах.

В результате этого воздействия происходят изменения состава и свойств атмосферного воздуха, вод и почвы.

Физико-механические изменения обусловлены:

1. Эмиссией пыли и аэрозолей.

2. Сбросами вод, загрязненных суспензией и гидрозолями.

В результате этого воздействия происходят: изменения состава и свойств атмосферного воздуха, вод и почв; калькуляция русел и водотоков. Термические изменения обусловлены:

1. Загрязнением воздуха.

2. Сбросом подогретых вод.

3. Нагнетанием подогретых вод в массив горных пород.

В результате взаимодействия всех вышеизложенных воздействий происходят изменения качества атмосферного воздуха и водного бассейна.

В настоящее время наиболее серьезное внимание оказывается охране геологической среды. Основные виды охраны геологической среды: охрана минеральных и энергетических ресурсов недр, охрана подземных вод, охрана массивов горных пород как источника ресурсов естественного подземного пространства и создания искусственных подземных резервуаров и помещений, охрана и улучшение природных и антропогенных грунтов как оснований для размещения наземных сооружений и составляющих природно-техногенных систем.

Цели охраны геологической среды как источника не возобновляемых полезных ископаемых: обеспечение рационального использования природных минеральных и энергетических ресурсов, полноты их извлечения из недр, комплексного использования месторождений и добытого минерального сырья на всех стадиях переработки, утилизация отходов производства, исключающие неоправданные потери минерального сырья и топлива.

Повышению эффективности охраны геологической среды способствуют увеличение масштабов применения альтернативных методов получения минерального сырья (подземная газификация углей, добыча полезных ископаемых из морской воды) и др.

Земные недра это не только кладовая минерального вещества, но и аккумулятор тепловой энергии, необходимой человечеству. Недра также ресурс пространства и хотя оно мало пригодно для постоянного проживания, однако, некоторые виды его деятельности протекают в подземном пространстве достаточно эффективно.

Отсюда понятна необходимость защиты подземного пространства от истощения, загрязнения и деградации, как и других сфер Земли (атмосферы, гидросферы, биосферы).

Итак, задача охраны природной среды, в том числе и недр, является наиболее актуальной проблемой человечества.

ГЛАВА 2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

2.1 Полезные ископаемые, их распространение Основные модели классификации

Полезным ископаемым называют природное минеральное образование, которое используется в народном хозяйстве в естественном виде или после предварительной обработки (переработки) путем дробления, сортировки, обогащения для извлечения ценных металлов или минералов. По физическому состоянию полезные ископаемые бывают *газообразными*, *жидкими* и *твердыми*.

К *газообразным* относятся горючие газы углеводородного состава и негорючие инертные газы, к *жидким* – нефть, рассолы, воды, к *твердым* – большинство полезных ископаемых, которые применяются как химические элементы или их соединения, а также кристаллы, минералы, горные породы.

По промышленному использованию полезные ископаемые разделяются на металлические, неметаллические, горючие, или каустобиолиты, гидро- и газоминеральные.

Рудой называется минеральное сырье, содержащее ценные полезные компоненты (металлы, их соединения, минералы) в количестве, достаточном для промышленного извлечения при современном состоянии техники и технологии, экономики. В зависимости от вида извлекаемого компонента выделяются руды металлические (железные, медные, свинцово-цинковые и т.д.) и неметаллические (серные, асбестовые, графитовые, апатитовые и др.). По количеству компонентов различают руды монометалльные (мономинеральные), биметалльные (биминеральные) и полиметальные (полиминеральные).

Понятия «полезное ископаемое» и «руда» являются, в известной степени, условными, отражают характерные для определенного исторического периода потребности народного хозяйства в различных видах минерального сырья, технологические возможности и экономические условия их добычи, переработки и промышленного использования

Классификация месторождений полезных ископаемых это разделение месторождений полезных ископаемых на группы (классы, серии, типы или более мелкие подразделения) на основе некоторых главных признаков, общих для месторождений, объединяемых группами. Признаки, используемые для классификации, выбираются в соответствии с ее целевым назначением. Она может быть:

генетической (по условиям образования и происхождению полезного ископаемого);

по вещественному составу полезных ископаемых (месторождения нефти, газов, углей, железорудные, медные, фосфоритов, различных солей и т.п.);

минералогической (по минеральному составу полезных ископаемых);

морфологической (по форме, размерам, условиям залегания тел полезных ископаемых);

промышленной (горно-экономической), пользующейся признаками указанных других классификаций в целях характеристики условий эксплуатации месторождений.

Например, промышленная классификация месторождений (Хрущев, 1961 г.), в которой по форме тел выделяются промышленные типы месторождений, а в пределах каждого типа – промышленные группы по минеральному составу руд.

Из многочисленных классификаций месторождений полезных ископаемых наибольший интерес представляют две классификации, краткое изложение которых дано ниже. Одна из классификаций (генетическая) соответствует профессиональным, как научным, так и практическим интересам геологов и является фрагментом более обширной генетической классификации минералов, горных пород и полезных ископаемых. А вторая (промышленная) классификация полезных ископаемых

распространена много шире и соответствует профессиональным интересам горняков, обогатителей, металлургов, экономистов и является более универсальной.

Рассмотрим обе классификации.

Большинство классификаций месторождений построено по генетическому принципу, эти классификации корифеев отечественной геологии. В.А.Обручева, С.С.Смирнова, В.А.Вахромеева, В.И.Смирнова. Все они связаны с определенными геологическими процессами.

Генетическая классификация месторождений полезных ископаемых

Процессы образования месторождений полезных ископаемых, как и все геологические процессы, могут быть разделены на эндогенные (внутри рожденные), протекающие за счет внутренней тепловой энергии земного шара, и экзогенные (извне рожденные), связанные с внешней солнечной энергией, получаемой поверхностью земного шара. В отдельную группу выделяют метаморфогенные месторождения полезных ископаемых, которые образуются в результате преобразования при определенных физико-химических условиях эндогенных и экзогенных месторождений.

А. Эндогенные месторождения:

1. Магматические.
2. Пегматитовые.
3. Постмагматические:
   а) контактово-метасоматические (скарновые);
   б) гидротермальные.

Б. Экзогенные месторождения:

1. Месторождения выветривания.
2. Осадочные:
   а) механические осадочные месторождения;
   б) химические осадочные месторождения;
   в) биохимические осадочные месторождения.

В. Метаморфогенные:

1. Метаморфизованные.
2. Метаморфические.

ЭНДОГЕННЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Эндогенные месторождения разделяются, учитывая характер физико-химической системы, породившей руду, на три категории:

1. Магматические.
2. Пегматитовые.
3. Постмагматические.

Магматические месторождения

К магматическим относятся месторождения, образовавшиеся при процессах дифференциации и кристаллизации магмы непосредственно во вмещающих изверженных породах. Эти месторождения образуются на больших глубинах при температуре 700 - 1500 градусов Цельсия и давлениях в сотни атмосфер. В месторождениях магматического генезиса рудные концентрации образуются на ранних стадиях застывания расплава, либо в наиболее поздней стадии кристаллизации. Наконец, однородный силикатный расплав, богатый серой и тяжелыми металлами, может быть разделен на собственно силикатный расплав и расплав, обогащенный сульфидами тяжелых металлов, который, отделяясь (в определенных физико-химических условиях) может создать промышленные скопления.

Так, при кристаллизации магмы одновременно с силикатами кристаллизуются некоторые рудные минералы – хромит, платина, редкоземельные (лопарит и др.). Эти минералы способны кристаллизоваться раньше или одновременно с силикатными минералами, опускаясь под действием сил гравитации на дно магматического очага, они образуют участки повышенных концентраций, которые отличаются от вмещающих пород только содержанием рудного минерала. Месторождения образуются среди ультраосновных пород (дунитов и перидотитов) и представлены хромитами, платиноидами; среди щелочных гранитов (месторождения монацита и колумбита), и щелочных пород (месторождения лопарита).

Рудный остаточный расплав под влиянием минерализаторов накапливается и затвердевает в последние стадии кристаллизации в магмах разнообразного состава. Рудные минералы представлены хромитом и платиной в ультраосновных породах; титано-

магнетитом в основных породах; магнетитом и апатитом в сиенитах; апатитом и нефелином в щелочных породах.

Промышленные концентрации никеля и меди образуются среди основных и ультраосновных пород (габбро, норитов, пироксенитов). При падении температуры расплава (ниже 1500° С) уменьшается растворимость сульфидов и они постепенно концентрируются в придонных частях магматического очага с образованием рудных шлир и залежей. К этому типу относятся медно-никелевые месторождения.

Пегматитовые месторождения

Пегматиты и находящиеся в них полезные ископаемые принадлежат к самостоятельной группе позднемагматических образований, формирующихся на самых завершающих ступенях отвердевания интрузивных массивов и располагающихся близ их кровли. Пегматиты образуют дайкообразные, линзообразные залежи и жилы. Длина пегматитовых тел обычно небольшая, редко превышает первые сотни метров. Подавляющая часть пегматитов образовалась в глубинных условиях при высоких давлениях. Характерными особенностями их являются:

а) крупные и гигантские размеры зерен минералов;

б) особая структура и текстура, выражающаяся часто в закономерном срастании минералов и зональном строении пегматитовых тел;

в) сложные минеральные ассоциации, среди которых значительное место занимают минералы с легколетучими компонентами (H_2O, F, Br, C1, OH) и редкими металлами (Li, Rb, Cs, Be, Nb, Zr, U, Sc и др.).

По данным геотермометрических исследований пегматиты образуются в широком диапазоне температур от 750 до 450° С. Контакты тел пегматитов с вмещающими материнскими породами постепенные; если пегматитовые тела размещены в инородных породах, контакты резкие и вдоль них развиваются измененные зоны и оторочки. Породообразующими минералами пегматитов являются кварц, полевые шпаты и слюды. Большинство минералов, концентрирующихся в пегматитах, в месторождениях иных генетических типов представляют большую редкость - это топаз,

турмалин, монацит, сподумен, лепидолит и др. не образуют промышленных конкреций.

Известны многочисленные находки уникальных по размерам кристаллов минералов в пегматитах. Так, пластины мусковита достигают величины 3–5 $м^2$; в музее ВСЕГЕИ (Санкт-Петербург) есть оконная рама, в которой вместо стекла вставлен кристалл мусковита. В пегматитовых жилах Норвегии отдельные кристаллы микроклина достигают размера 10 х 10 м и веса 100 т. В Ильменских горах (Урал) имеется каменоломня, заложенная в одном кристалле амазонита, на Урале известны кристаллы топаза весом 27-60 кг, турмалина - 2-3 м в длину, сподумена - до 2 м в длину и нескольких сантиметров толщины. В волынских пегматитах обнаружен кристалл мориона весом 10 т длиной более 2 м. На одном из месторождений США отдельные кристаллы берилла достигали веса 18 т, а скопления колумбита - 1 т.

Постмагматические месторождения

Эти месторождения всегда возникают позже тех пород, которые их вмещают. Они образуются под воздействием остаточных магматических расплавов. Процесс рудообразования может происходить на глубинах 300-4500м от поверхности в интервале температур 450 - 50° С. В процессе охлаждения магматического очага сначала из него выделяются летучие компоненты, которые сами по себе способны образовывать месторождения. Позднее при понижениях температуры летучие переходят в горячие водные растворы (гидротермы), в результате циркуляции которых возникают гидротермальные месторождения.

Контактово-метасоматические месторождения

Эти месторождения образуются на контактах интрузивных и вмещающих (чаще всего карбонатных) пород в результате воздействия газовых и гидротермальных растворов.

Метасоматоз - процесс замещения горной породы с существенным изменением ее минерального, а следовательно, и химического состава. Минералы, слагающие породу, растворяются, а на их место отлагаются новые минеральные образования. В процессе замещения порода остается твердой. Метасоматические явления чрезвычайно широко распространены в земной коре, и особенно большую роль они играют при образовании скарновых и

гидротермальных месторождений. Масштабы и интенсивность проявления метасоматоза зависят от пористости и проницаемости пород. Легче замещаются известняки, затем изверженные породы, значительно хуже замещаются гнейсы, филлиты и кварциты.

Контактовый метаморфизм вызван высокой температурой жидкого расплава и выражается в перекристаллизации боковых пород. При перекристаллизации известняков образуются мраморы, кварцевых песчаников - кварциты, глинистых сланцев – роговики.

В процессе высокотермального метасоматоза на контактах гранитов, гранодиоритов, сиенитов с вмещающими их карбонатными, реже силикатными, породами образуются скарны вместе с находящимися с ними в тесной ассоциации многими рудными минералами.

Если в общем балансе железорудных месторождений скарновый тип имеет подчиненное значение, то для месторождений Горной Шории и Хакасии он являются ведущим. Скарновые полиметаллические месторождения представлены линзами, гнездами и вкрапленностью сульфидов свинца и цинка среди пироксен-гранатовых скарнов. Из золоторудных скарновых месторождений в качестве примеров можно привести Синюхинское в Горном Алтае и Натальевское в Кузнецком Алатау.

Гидротермальные месторождения

Развиты значительно шире других генетических типов эндогенных месторождений и являются очень важными в практическом отношении.

Гидротермальные месторождения создаются циркулирующими под поверхностью земли горячими минерализованными газо-жидкими растворами. Скопления полезных ископаемых гидротермального генезиса возникают как вследствие отложения минеральных масс в пустотах пород, так и в связи с замещением последних. Гидротермальные месторождения формируются в сравнительно широком диапазоне физико-химических условий. По температурам образования все гидротермальные месторождения принято делить на высокотемпературные или гипотермальные, среднетемпературные или мезотермальные, и низкотемпературные или эпитермальные.

Путями движения растворов служат поры и трещины в породах. Причиной движения растворов является, с одной стороны, их всасывание в трещины, так как в момент приоткрывания трещин в них образуется вакуум; с другой стороны, движение растворов кверху происходит под действием давления, выжимания их массой вышележащих горных пород. В гидротермальных растворах, или, как их иногда сокращенно называют, гидротермах, могут содержаться такие компоненты, которые способствуют выщелачиванию полезных компонентов из различных горных пород и их удержанию в растворе. К таким компонентам относятся хлор, бор, фтор, сероводород, углекислота, щелочные металлы и др. Полезные компоненты переносятся в гидротермах в виде простых ионов и комплексных соединений.

Гидротермальные месторождения, образующиеся на значительных и умеренных глубинах (более 1 км) характеризуются разнообразием форм рудных тел, определяемых многими факторами. Среди них наиболее важными являются проявления дорудной и внутрирудной трещинной тектоники, строение и состав вмещающих пород, наличие экранирующих горизонтов. В ряде случаев существенное влияние на форму рудных тел оказывает послерудная тектоника, выражающаяся в сбросах и складчатости.

На сравнительно небольшие расстояния полезные компоненты могут переноситься в виде коллоидных растворов. Растворимость веществ в коллоидных растворах может превышать таковую, известную для истинных растворов. В некоторых случаях смена физико-химических условий приводит к переходу истинных растворов в коллоидные.

Глубину образования гидротермальных месторождений в значительной мере обуславливает давление, при котором они создаются. Гидротермальные месторождения могут формироваться в самых приповерхностных частях земной коры и даже на поверхности, где давление составляет всего 100 Па.

Выклинивание рудных тел по простиранию и падению может быть простым и сложным вследствие разветвления тела на многочисленные жилки. Протяженность на глубину наиболее крупных и выдержанных рудных тел составляет до 1000 м и более.

Наиболее характерными формами рудных тел являются простые жилы, линзы, гнезда и столбообразные тела. Иногда встречаются тела сложной формы: штокверки, рубцовые, лестничные жилы. Нередко возникают пластообразные залежи. Для медных порфирововкрапленных руд часто характерны крупные штокообразные залежи или тела неправильной формы.

Гидротермальные месторождения малых глубин имеют протяженность на глубину до 500 м, крайне редко до 800 м. длина рудных жил по простиранию от десятков до сотен метров, а иногда до нескольких километров (например, жила серебряного месторождения Пачука в Мексике). Первичная зональность выражена слабо. Пространственное распределение в рудных телах полезных компонентов крайне неравномерное: наряду с очень богатыми участками (рудными столбами) отмечаются слабо оруденелые или безрудные участки. По форме тел можно выделить жилы, линзы, гнезда, трубообразные и неправильные залежи.

ЭКЗОГЕННЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Экзогенные месторождения полезных ископаемых возникают в результате геологических процессов, протекающих в поверхностной зоне земной коры. Среди них выделяют месторождения выветривания и осадочные месторождения.

Месторождения выветривания

Выветривание – процесс механического и химического разрушения горных пород под влиянием колебаний температуры, воды, газов, в результате деятельности растительных и животных организмов.

Наибольшему изменению подвергаются глубинные породы и залежи полезных ископаемых, т.к. многие из слагающих их минералов в зоне выветривания становятся неустойчивыми.

Месторождения выветривания разделяют на месторождения физического (механического) и химического выветривания. Физическое выветривание заключается в разрушении исходных минералов, горных пород и полезных ископаемых без изменения их химического состава. Оно происходит в результате колебания температур, приводящих, вследствие, различия коэффициентов объемного расширении зерен разных минералов, нарушение

прочности их сростков вызвано расклинивающим действием замерзающей в межзерновом пространстве воды при переходе ее в лед, а также при кристаллизации в трещинах пород различных солей. При этом процессе создаются месторождения обломочных минералов и горных пород (песка, гравия, щебня), а также россыпи золота, платины, алмазов. В большинстве случаев механическое выветривание сопровождается химическим и процессы определяют по преобладающим факторам. Главные агенты химического выветривания – вода и растворенные в ней вещества, в т.ч. различные неорганические кислоты и щелочи, кислород, углекислота, гуминовые кислоты. Вода играет особенно большую роль в химическом выветривании – она не только растворяет те или иные минералы, но и поставляет в область выветривания различные химические реагенты, а также выносит ряд продуктов выветривания из зоны взаимодействия. Миграционная способность зависит от физико-химической обстановки.

Верхняя часть земной коры, где происходят процессы выветривания, называется корой выветривания. Накопление вещества полезного ископаемого в коре выветривания происходит двумя путями.

Во-первых, вследствие растворения и выноса приповерхностными водами пустых горных пород, вещество полезного ископаемого накапливается в остатке. Такие месторождения называются остаточными.

Во-вторых, наоборот, в связи с растворением этими водами ценных компонентов горных пород, их инфильтрацией и переотложением в нижней части коры выветривания. Такие месторождения называются инфильтрационными.

Остаточные месторождения образуются в результате преобладания процессов химического выветривания, существенно отличаются от исходных пород. Основные реагенты — вода, свободный кислород, углекислота, органические кислоты и другие соединения.

В зоне выветривания наиболее распространенных в земной коре магматических и метаморфических пород происходит разложение силикатов (гидролиз), с образованием SiO_2, $A1_2O_3$,

Fe_2O_3, MnO и др. Процесс выветривания зависит от климатических условий и рельефа местности.

Промышленное значение остаточных месторождений особенно велико для бокситов, каолинов, а также для никеля и кобальта.

Инфильтрационные месторождения. Часть продуктов выветривания, переходя в водные растворы, уносится поверхностными водами в область циркуляции грунтовых вод в виде разбавленных растворов, которые медленно действуют на окружающие породы. Встречая активные породы, эти воды растворяют некоторые компоненты вмещающих пород, вместо них отлагают свой полезный груз, а также метасоматически замещают боковые породы. Так возникают месторождения железа, марганца, ванадия, урана, фосфоритов, боратов, гипса и магнезита. Существенное промышленное значение имеют инфильтрационные месторождения ванадия, урана, фосфоритов и боратов.

Осадочные месторождения

Образование осадочных месторождений происходит по схеме: разрушение ⟶ перенос ⟶ отложение ⟶ диагенез.

Разрушению под действием экзогенных геологических процессов подвергаются все горные породы и другие минеральные образования, выходящие на дневную поверхность.

Перенос растворимых и нерастворимых продуктов разрушения производится преимущественно текучими поверхностными водами, в меньшей степени ветром, ледниками, водами морей.

Отложение совершается в благоприятных местах либо в виде механических осадков кластического материала, либо в виде химических осадков путем кристаллизации из истинных насыщенных растворов или коагуляции коллоидных растворов, либо в виде биохимических осадков, в образовании которых основная роль принадлежит процессам жизнедеятельности животных и растительных организмов, а также бактерий. Осадочные месторождения образуются в поверхностных условиях, в водной среде, при температуре до 50° С, при низком и среднем давлении.

Механические осадочные месторождения

Образуются за счет материала, возникшего при физическом выветривании. При переносе взвешенное вещество осаждается последовательно в зависимости от формы, размера частиц, их удельного веса, скорости и массы водного потока; этот процесс называется механической дифференциацией осадков. В общем случае по мере удаления от коренного источника отлагаются более мелкие и лучше отсортированные осадки.

Среди механических осадков условно выделяются месторождения обломочных пород (валуны, галечники, гравий, пески, глины) и россыпи (золота, алмазов, платины и др.).

Механические обломочные месторождения образуются под действием водных потоков в долинах рек, озерных и прибрежных зон морей, причем, в последнем случае они являются обычно более крупными и качественными.

Россыпи – рыхлые или сцементированные отложения обломочного материала, содержащие полезные минералы; они образуются за счет разрушения коренных месторождений или горных пород с непромышленным содержанием полезных компонентов.

Россыпи разделяются на: делювиальные, возникшие в результате накопления смытых со склонов дождевыми и талыми снеговыми водами рыхлых продуктов выветривания; аллювиальные, сформированные водными потоками в речных долинах; элювиальные, образованные на месте разрушения коренных месторождений; морские, озерные и ледниковые. По времени образования выделяются современные и четвертичные россыпи, сложенные рыхлым материалом, и древние (дочетвертичные), сложенные рыхлым или слабоцементированным материалом. С ними связаны промышленные концентрации золота, платины и алмазов.

Химические осадочные месторождения

Эти месторождения образуются в поверхностных условиях на дне морских, озерных водоемов и болот за счет минеральных веществ, находившихся ранее в растворенном состоянии в воде. Источником для образования месторождений является морская вода, а также продукты химического выветривания горных пород и руд. Растворенные вещества отлагаются на дне водоемов в виде

химических осадков путем кристаллизации из истинных растворов или коагуляции из коллоидных растворов.

Для образования соляных месторождений требуется существование барров, создающих узкие заливы, через которые проходит ограниченное количество морской воды. Второе необходимое условие - природный климат в районе залива, при котором испарение воды в заливе превышает ежегодный приток воды через барр.

Ископаемые месторождения солей залегают среди осадочных горных пород различного возраста, особенно интенсивное солеобразование представлено в отложениях перми. На месторождениях солей рудные тела представлены пластовыми залежами, а в складчатых областях антиклинальными, синклинальными складками и соляными куполами. Минеральный состав залежей - гипс, ангидрит, калийные, магнезиальные соли, бораты. Попутно с солями извлекаются и соединения редких металлов: цезия, рубидия и других. Месторождения химических осадков из коллоидных растворов образуют скопления руд железа, марганца, алюминия и др.

Нередко осадочным путем образуются месторождения бокситов. Выделяются месторождения бокситов морские и озерные. Морские месторождения геосинклинального типа залегают среди известняков и имеют форму пластов. По составу руды диаспоровые. Озерные и долинные месторождения бокситов расположены на платформах и образованы в небольших континентальных озерах. Линзовидные и неправильные по форме залежи бокситов залегают среди песчано-глинистых отложений. По составу руды гидраргиллитовые (Каменские бокситовые залежи на Урале).

Среди химических осадочных месторождений выделяют следующие основные типы: сильвин-галитовый, сидерит-шамозит-лимонитовый, родохрозит-псиломелан-пиролюзитовый и бокситовый.

Биохимические осадочные месторождения

Возникают в результате жизнедеятельности организмов, которые концентрируют в себе большое количество тех или иных элементов. К этому генетическому типу относятся месторождения

известняков, диатомитов, серы, фосфоритов и горючих полезных ископаемых.

Органогенные известняки образуются при накоплении и уплотнении скелетов морских животных, которые в процессе своей жизнедеятельности усваивали $CaCO_3$. Осадочные месторождения серы образуются при восстановлении сульфатов биохимическим путем. Месторождения фосфоритов образуются за счет больших скоплений фосфатных (отмерших) организмов. При разложении их фосфорнокислый кальций переходил в раствор, а затем отлагался на поверхности раковин и в виде конкреций.

Осадочные морские месторождения фосфоритов по условиям образования делятся на платформенные и геосинклинальные.

Платформенные месторождения, в образовании которых организмы играли основную роль, занимают значительные площади, но отличаются небольшой мощностью (месторождения Русской платформы).

Геосинклинальные месторождения фосфорита, в образовании которых решающую роль играли процессы осадочной химической дифференциации, имеют пластовую форму залежей, значительную их мощность (до 10 м), сложные тектонические условия залегания (месторождения Каратау, Селеук в Средней Азии).

Биохимическое осадочное происхождение имеют месторождения известняков, доломитов, мергелей, диатомитов, урана, ванадия, серы, а также твердых, жидких и газообразных горючих полезных ископаемых.

МЕТАМОРФОГЕННЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Метаморфизм - совокупность процессов, происходящих вне зоны выветривания, и обусловленных воздействием на породы высоких температур и давлений, активных химических веществ, которые существенно изменяют минеральный состав и текстуру пород в недрах литосферы.

Метаморфогенные месторождения разделяются на метаморфизованные и метаморфические.

Метаморфизованные месторождения

К этому типу относятся месторождения металлических полезных ископаемых -железа, марганца, золота и урана, реже неметаллов - апатита, графита, наждака и др.

Железорудные месторождения осадочного генезиса в процессе метаморфизма превращаются в метаморфизованные. Происходит преобразование гидрооксидов железа в магнетит и гематит, опал перекристаллизуется в кварц, уменьшается количество вредных примесей.

Руды приобретают облик железистых кварцитов, сидерит замещается магнетитом и кварцем. К данному типу принадлежат наиболее крупные железорудные месторождения докембрийского возраста (КМА, Хинган - Россия, Верхнее озеро - США). К метаморфизованным месторождениям относят крупнейшее в мире месторождение золота в докембрийских конгломератах - Витватерсранд, содержащее также огромные запасы урана и, собственно, ураноносные конгломераты Блайнд-Ривер. Под влиянием термального метаморфизма фосфориты Каратау (Казахстан) на отдельных участках превращены в апатитовые руды.

Метаморфические месторождения

Представлены преимущественно неметаллическими полезными ископаемыми, Известны метаморфические месторождения мраморов, кварцитов, яшм, андалузита, ставролита, графита и др.

При метаморфизме углей за счет высокой температуры изверженных пород образуются месторождения графита (Тунгусские месторождения). При динамо - и термальном метаморфизме бокситов и бокситоподобных глин, при значительном участии гидротермальных процессов возникают метаморфические месторождения корунда (наждака). Примеры месторождений: Прииртышские на Урале, Бердские в Западной Сибири.

При региональном метаморфизме глинистых сланцев образуются метаморфические сланцы (дистеновые, силлиманитовые, андалузитовые, кианитовые), являющиеся сырьем для извлечения глинозема, огнеупорами и сырьем для получения

сплавов с кремнием - силуминов. Месторождения их известны в Карелии (Кейвское), в Северном Прибайкалье (Мамские), в Бурятии (Кяхтинское), в Саянах (Кийское) и в Индии.

За счет песчаников образуются кварциты – ценный материал применяемый в химии, металлургии, как огнеупор и абразив (месторождения: Шокшинское в Карелии, Билимбаевское на Урале, Антоновское в Западной Сибири и др.).

Метаморфизованные осадочные кремнистые породы - яшмы используются как красивый и прочный поделочный камень. славятся месторождения яшмы Урала и Алтая (Колыванское). Вот далеко не полный перечень месторождений, образуемых при процессах метаморфизма.

ПРОМЫШЛЕННАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ

В практических целях важна химико-технологическая промышленная классификация, в которой металлы разделяются на группы в зависимости от их свойств, используемых в промышленности, а неметаллы классифицируются по отраслям промышленности, в которых они играют ведущую роль.

Металлические полезные ископаемые

— Черные и легирующие металлы: железо, марганец, хром, титан, ванадий, никель, кобальт, вольфрам, молибден.

— Цветные металлы: медь, свинец, цинк, алюминий, олово, ртуть, сурьма.

— Благородные металлы: золото, серебро, платина, платиноиды.

— Радиоактивные металлы: уран, радий, торий.

— Редкие и рассеянные металлы: бериллий, литий, цезий, рубидий.

— Редкоземельные элементы: группа цезиевая и группа иттриевая.

Неметаллические полезные ископаемые

— Сырье для химической промышленности, сельского хозяйства.

— Каменные строительные материалы и их сырье.

— Абразивные материалы и их сырье.

— Изоляционные материалы.

— Керамические, огнеупорные, кислоупорные материалы и их сырье.
— Драгоценные и поделочные камни.
— Природные краски, наполнители и адсорбенты.
— Флюсы и огнеупоры в металлургии.
— Горючие полезные ископаемые
— Ископаемые угли.
— Горючие сланцы.
— Нефть.
— Природные газы.
— Гидроминеральные полезные ископаемые.

Металлические полезные ископаемые

Металлические полезные ископаемые служат для извлечения из них металлов и элементов: черных (железо, титан, хром, марганец): легирующих (никель, кобальт, вольфрам, молибден); цветных (алюминий, медь, свинец, цинк, сурьма, ртуть): благородных (золото, серебро, платина, палладий); радиоактивных (уран, радий, торий); редких и рассеянных (висмут, цирконий, ниобий, тантал, галлий, германий, кадмий, индий): редкоземельных (лантан, церий, иттрий, прометий, самарий, лютеций).

Неметаллические полезные ископаемые

К неметаллическим полезным ископаемым принадлежат строительные горные породы (естественные строительные камни, пески, глины, сырье для каменного литья, стекол и керамики), индустриальное (алмаз, графит, асбест, слюды, драгоценные и поделочные камни, пьезокристаллы, оптические минералы), а также химическое и агрономическое сырье (сера, флюорит, барит, галит, калийные соли, апатит, фосфориты).

Горючие ископаемые

Горючие ископаемые включают торф, бурый уголь, каменный уголь, антрацит, горючие сланцы, озокерит, нефть, горючий газ. Они служат энергетическим и металлургическим (кокс) топливом, а также сырьем для химической промышленности.

Гидроминеральные полезные ископаемые

Гидроминеральные полезные ископаемые разделяют на подземные воды: питьевые, технические, бальнеологические, или минеральные, и нефтяные, содержащие ценные элементы (бром,

йод, бор, радий и др.) в количестве, позволяющем извлекать их, а также рассолы (озерные рассолы, минеральные грязи, илы). Важным гидроминеральным сырьем являются также воды морей и океанов, используемые для получения пресной воды и извлечения многих ценных элементов.

В XX в. полезными ископаемыми стали калийные соли, урановые руды, нефелин, перлит, волластонит и многие другие. Промышленное значение приобрели также железистые кварциты (после разработки технологии их обогащения в 1955 г.) и апатит-магнетитовые руды, благодаря применению томасовского способа плавки. В последние годы возросла потребность новых отраслей техники в рассеянных металлах (германий, галлий, рений, индий и др.).

Увеличение потребности в полезных ископаемых обусловило значительный рост объемов их добычи. Все новые виды минерального сырья вовлекаются в промышленное использование в связи с запросами вновь возникающих отраслей техники, нуждающихся в новых конструкционных материалах, обладающих высокой твердостью, прочностью и другими специфическими свойствами. Некоторый дефицит отдельных металлов предопределяет необходимость замены их другими металлами или неметаллическим сырьем, добыча которого также резко возросла в связи с ростом строительства, широким применением минеральных удобрений, развитием химической промышленности. Огромные масштабы добычи полезных ископаемых вызывают необходимость наиболее полного извлечения их при добыче и переработке, комплексности использования и уменьшения потерь.

2.2 Морфология и условия залегания тел полезных ископаемых

Морфология и условия залегания тел полезных ископаемых являются основными природными **ф**акторами, определяющими выбор наиболее рационального способа вскрытия и разработки месторождения (участка) и технологии добычи и переработки. С учетом природных и технологических факторов предусматривает глубину разработки месторождений, углы наклона бортов карьера, оптимальные размеры потерь и разубоживания. Эти факторы влияют также на выбор системы разработки, размеры

эксплутационных блоков, высоту уступов карьеров, т.е. морфоструктурные особенности месторождений (форма и размеры, пространственная ориентировка тел полезных ископаемых среди вмещающих пород, закономерности внутреннего строения и тектоническая нарушенность) имеют ведущее значение при решении вопросов рациональной разработки месторождений. Поэтому оценка этих показателей является одной из важнейших задач геологического изучения месторождений при разведке и эксплуатации.

По В.А. Ермолову [26] понятие «морфология тел полезных ископаемых» включает в себя:

форму тел;

характер и форму контактов с вмещающими породами;

мощность и ее изменчивость;

условия залегания;

выдержанность оруденения;

глубина залегания и распространения.

Морфология (морфа-форма) тел полезных ископаемых определяется очертаниями в различных плоскостях. Приняв за основу очертания тел в трех системах плоскостей (разрезов), взаимопересекающихся под прямыми углами, можно получить приближенные модели их объемной конфигурации в пространстве. Чем меньше расстояния между разрезами в каждой системе, тем точнее объемная модель отражает форму тел. (Милютин).[27]

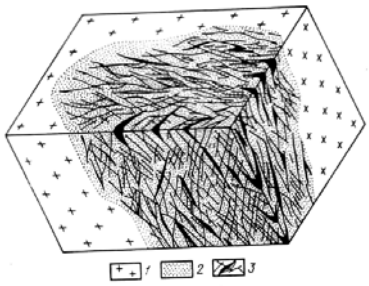
Форма тел полезных ископаемых тесно связана с условиями их образования и во многом определяется структурными факторами. По времени образования относительно вмещающих пород тела полезных ископаемых разделяется на сингенетические, образовавшиеся с ними одновременно, и эпигенетические, возникшие позднее. Однако, учитывая специфику их отработки и применяемые при этом технические средства, отмечают общую тенденцию к упрощению форм при оконтуривании. Обычно они приводятся к объемам, ограниченным плоскими поверхностями.

Для месторождений твёрдых полезных ископаемых выделяют три основных морфологических типа тел; изометричные, плитообразные (плоские), трубообразные. По отношению к залеганию вмещающих пород рудные тела разделяются на три

группы: согласные, секущие и контактные. Их длина, ширина и мощность, измеряется в трех взаимно перпендикулярных направлениях, соответственно обозначаются буквами: "д", "ш", "м", строчными и заглавными в зависимости от относительной величины этих параметров. В каждой группе имеются тела с различными соотношениями параметров. Ниже рассматриваются рудные тела различной формы.

Изометричные тела, как отмечается выше, приблизительно равновелики в трех основных измерениях (Д= ш = m). К ним относятся штокверки, штоки, гнезда и шлиры.

Штокверки – это большеобъемные (от сотых долей до n·км^3) блоковые структуры сложной формы, насыщенные жилами, прожилками и участками вкрапленной рудной минерализации, пригодными для валовой отработки. Они могут быть изотропными, если величина изменчивости по всем трем системам разрезов одинаковая, или анизотропными - при различной системе изменчивости. Анизотропное строение чаще всего обусловлено развитием разноориентированных систем трещин с рудной минерализацией (Рисунок – 2.1).



1 – граниты; 2 – рассеянная рудная минерализация; 3 – рудные жилы и прожилки.

Рисунок 2.1 – Блок-диаграмма рудного штокверка (по В.И. Смирнову)

Штокверки характерны для многих месторождений олова, золото, меди и молибдена. Месторождения штокверкового типа уникальны по запасам, например, месторождения меди (Чукикамата Чили), молибдена (Гендерсон, США), вольфрама (Верхнее, Кайракты), олова (Пыркыкайское, п-ов Чукотка).

А.А. Фролов по форме штокверков выделяет штокообразные тела, близкие к изометричным, столбообразные уплощенные тела-пологозалегающие и крутопадающие. По внутреннему строению эти

тела могут быть с непрерывным или прерывистым оруденением. В последнем случае необходима селективная отработка рудных участков. Границы промышленной руды в пределах штокверка определяются по данным опробования. Рудой в данном случае является вся масса горной породы, пересеченной прожилками, если она удовлетворяет кондиционным требованиям.

Шток – крупная (более 10 м в поперечнике) изометричная залежь сплошного или густовкрапленного рудного вещества, чаще всего возникающая в сплошном пересечении многих трещин (Рисунок – 2.2.). Приобретая многочисленные ответвления вдоль отдельных трещин и их пересечений, рудный шток может превратиться в сложное и неправильное штокообразное рудное тело с размером от нескольких до многих десятков метров. Если размеры таких залежей не превышают 10 м, их называют гнездами. Примерами могут служить штоки галита; гнезда хромита в гипербазитах. Вообще штоки и гнезда чаще всего встречаются в сингенетических месторождениях.

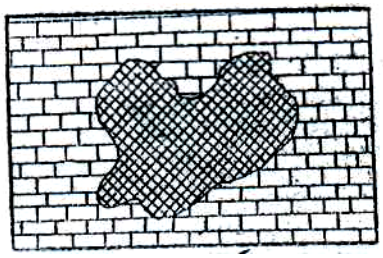


Рисунок 2.2.2 - Рудный шток в плане

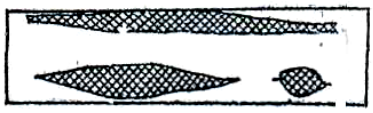


Рисунок 2.2.3 - Линза и чечевица

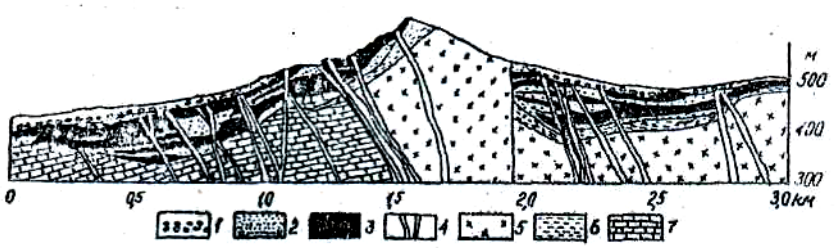
Когда шток или гнездо сплющены в одном направлении и наблюдается переход от этих тел к штокообразным, возникают линзы или чечевицы (Рисунок – 2.3). По Красулину (1967) рудная линза - плитообразное рудное тело, имеющее максимальную мощность в центре и выклинивающееся по краям. А линзы большой мощности при относительно меньших линейных размерах называются чечевицами. Линзы и чечевицы характерны для сингенетических, в первую очередь, магматических месторождений, а также для гидротермальных месторождений.

К телам первой группы также относятся гнезда. Гнезда – это небольшие тела неправильной, иногда округлой или овальной формы. Диаметр гнезда – один из главных элементов, определяющий их

величину. Обычно он равен нескольким метрам, иногда десятым долям метра.

Плоские тела также моделируют в трех взаимно ортогональных системах разрезов в соответствии с направлениями анизотропии. Направление максимальной изменчивости совпадает с мощностью, а максимальное и промежуточное – соответственно с простиранием и падением (шириной тела), последние два, наиболее протяженные направления, находятся в продольной плоскости. Поперечным плоскостям соответствуют одно короткое измерение (мощность) и другое – либо по простиранию, либо по падению. К плоским телам относятся простые и сложные пласты и жилы. Их проецирует при пологом залегании на горизонтальную, а при крутом падении - на вертикальную плоскости. Эти проекции, удобные в практическом отношении, используются при проектировании разведочных и эксплутационных горных выработок и скважин, подсчете запасов, они являются наиболее информативными моделями глубинной структуры месторождения, морфологии и внутреннего строения его рудных тел и вмещающих пород.

Пласт – геологическое тело, имеющее плоскую форму, при которой его мощность во много раз меньше размеров площади его распространения: ограниченное более или менее параллельными поверхностями (плоскостями напластования): верхней - кровлей и нижней – почвой. Выделяются пласты простого и сложного строения. Простые – нацело сложены рудным веществом, сложные - состоящие из пачек полезного ископаемого, например, угля и пропластков пустой породы. Пласты могут иметь раздувы и пережимы мощности, простое выклинивание (путём постепенного уменьшения мощности) или сложное (путем расщепления на ряд прослоев) выклинивание. Пласты – форма тел осадочных месторождений (уголь, минеральные соли, марганец, фосфориты). Тела полезных ископаемых не осадочного происхождения, близкие по форме к пластам, называются пластообразными залежами (Рисунок – 2.4).



1 – делювий с рудными валунами; 2 – скарны; 3 – рудные участки скарна; 4 – жилы диорита и порфирита; 5 – порфириты; 6 – контактово-метаморфизованные туфы; 7 - известняки

Рисунок 2.4 – Пастообразная залежь рудоносных скарнов (По А. Н. Заварицкому)

Они отличаются от пластов меньшими размерами по простиранию и падению, более, или менее выдержанной мощностью, прерывистостью, например, пластообразные месторождения выветривания (каолины, железные руды, бокситы). В противоположность жилам пласты представляют собой сингенетические образования, причём в ненарушенных геологических разрезах, подстилающие рудоносный пласт породы являются более древними, а перекрывающие – более молодыми, чем располагающийся между ними пласт. Пласты являются протяженными телами полезных ископаемых, мощность их обычно невелика - первые метры, но иногда достигает сотен метров (сверхмощные угольные пласты Экибастузского и Канско-Ачинского бассейнов).

В угольной геологии пласты по мощности разделяются на:

- тонкие - до 0,3 м;
- маломощные - 0,3 - 0,7 м;
- нормальные мощности - 0,7 - 1,3 м;
- мощные - 1,3 - 3,5 м;
- сверхмощные более - 3,5 м.

Используются такие понятия: полезная мощность, т.е. мощность всех угольных пачек; общая мощность - мощность сложных пластов и рабочая мощность, т.е. минимальная мощность пласта, рентабельная для отработки при современных горнотехнических условиях.

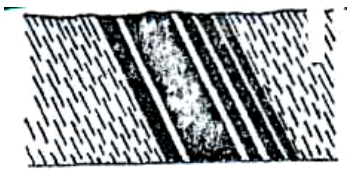


Рисунок 2.5 – Сложный пласт

Жила – плитообразное тело, образовавшееся в результате заполнения трещины минеральным веществом, либо вследствие метасоматического замещения. Основные параметры, определяющие размеры и условия залегания жил: направление простирания, длина по простиранию; направление, угол падения и длина по падению, склонение, а, также мощность.

Длина жил обычно первые сотни метров до 1 км. По падению некоторые жилы выклиниваются вблизи земной поверхности, а другие разрабатываются на больших глубинах (более 3 км). У них различают геологическую и рабочую мощность (наименьшая величина мощности, при которой рентабельна разработка месторождений). Мощность жил обычно первые метры. Жилы сложены нерудными минералами (кварц, кальцит, доломит, флюорит, барит, гипс и др.). Залегание жил может быть наклонным, вертикальным, редко горизонтальным. При наклонном залегании выделяют висячий бок и лежачий бок. Резкое уменьшение мощности приводит к выклиниванию или пережиму, а увеличение мощности к раздуву. По сложности строения выделяют простые и сложные жилы, последние представляют собой системы переплетающихся трещин, зон дробления и т.д. По деталям морфологии среди жил выделяют: камерные, сетчатые, четковидные, седловидные, лестничные и др.

Ответвления и прожилки, отходящие от жил во вмещающие боковые породы, называют апофизами. Последние могут быть значительных размеров и даже разрабатываться. По взаимному расположению жилы делятся: на радиальные, кулисообразные, параллельные и другие, а также прожилковые зоны. Они избирательно приурочены к определенным структурно-формационным комплексам.

Ветвящиеся (сетчатые) жилы характеризуются наличием многочисленных ответвлений (апофиз), отходящих от основной жилы в сторону её лежачего и висячего боков. Такие формы характерны для пегматитов (Рисунок - 2.6).

Рисунок 2.6 – Ветвящая жила, золоторудное месторождение Бендиго (Австралия)

Лестничная жила состоит из целой серии параллельных друг другу коротких рудных жилок, располагающихся перпендикулярно стенкам вмещающих даек. Такие жилы особенно характерны для золоторудных месторождений (Moming Star, Австралия, Березовское месторождение на Урале) (Рисунок 2.2.7)

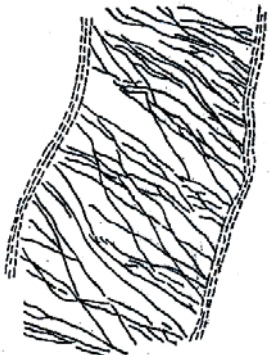


Рисунок 2.7 – Лестничнаые жилы, Березовское месторождение

Жила четковидная - жилы, имеющие резко и быстро (на коротких расстояниях) меняющуюся мощность так, что они превращаются в линейно вытянутую серию относительно коротких жил, соединенных проводниками, что создает в общем грубое подобие нитки с нанизанными на нее чётками. [9] (Рисунок- 2.8). К разновидностям четковидных относятся рубцовые жилы (Рисунок – 2.9).

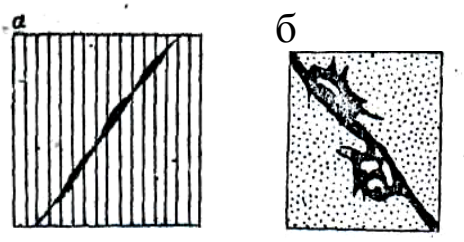


Рисунок 2.8 – а) жила четковидная; б) камерная жила (по В. И. Смирнову)

Рисунок 2.9 – Рубцовская жила (по Дж. Кемпу)

Камерная жила - характеризуется большими раздувами, часто залегает в известняках.

Седловидная жила - является разновидностью столбообразных тел. Например, золоторудное месторождение Бендиго, Австралия. В этих жилах минеральная масса заполнила пустоты, образовавшиеся в складках антиклиналей при складкообразовании, предшествующем оруденению. В России подобные рудные тела типичны для некоторых золоторудных месторождений Сибири и месторождений флюорита, антимонита (Рисунок – 2.10).

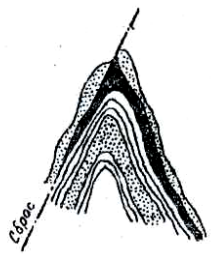


Рисунок 2.10 – Седловидная золотокварцевая жила, осложненная сбросом (Бендиго, Австралия)

Возможны и другие морфологические типы жил, в частности, особо сложной формы (Рисунок- 2.11). В целом тела жильной формы характерны для месторождений цветных, редких и благородных металлов.

1 – сланцы; 2 – известняки; 3 – убогая руда; 4 – богатая руда

Рисунок 2.11 – Седловидная залежь антимонита (По В.И. Смирнову)

Морфология и условия залегания трубообразных тел определяются углом погружения, длиной по направлению погружения и поперечным сечением. Размеры поперечного сечения и длина оси труб достаточно изменчивы. Наиболее крупные трубки или трубообразные тела имеют размеры в поперечнике более 100 м. При глубине в несколько сотен метров, редко 1-3 км (Южная Африка).

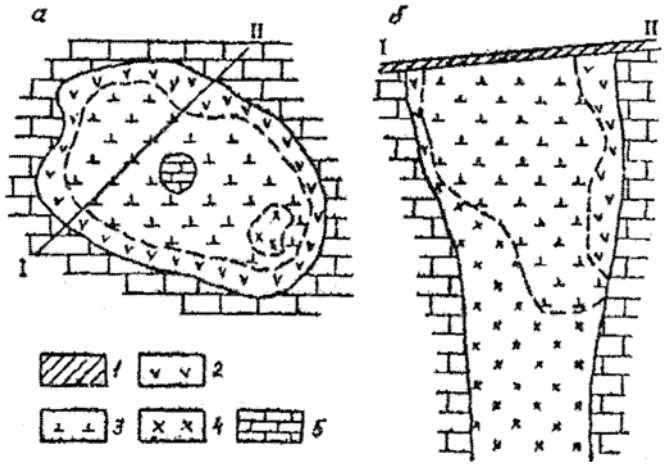
Пример рудного тела, имеющего трубообразную форму, приведен на Рисунке – 2.12. Столбообразные тела чаще встречаются среди месторождений молибдена (Клаймекс, США), железа (Ангаро-Илимское),олова и др. По возрастному соотношению с вмещающими породами различают две группы рудных тел (месторождений) - сингенетические и эпигенетические.

Сингенетическими являются тела, образовавшиеся одновременно с вмещающими породами. Типичными примерами их могут служить пласты и линзы осадочных месторождений.

Эпигенетическими называются тела более поздние, чем вмещающие породы. К этой группе относятся, например, жилы.

Все описанные рудные тела могут выходить на дневную поверхность, либо залегать на определенной глубине, в последнем случае их называют "слепыми" или скрытыми. В зависимости от глубины залегания выделяются приповерхностные (до 100 м) и глубокозалегающие.

Тела, линейно вытянутые по одной оси, имеют трубчатую или удлиненную призматическую форму. Для них информативной является система разрезов (сечений), ортогональных к оси тела, совпадающей с единственным направлением анизотропии, поскольку в плоскости кругового сечения тело практически изотропно. Трубчатые тела характерны для магматических и скарновых месторождений (Рисунок – 2.12). Такую форму имеют алмазоносные трубки Якутии и рудные тела Коршуновского железорудного месторождения (Восточная Сибирь).

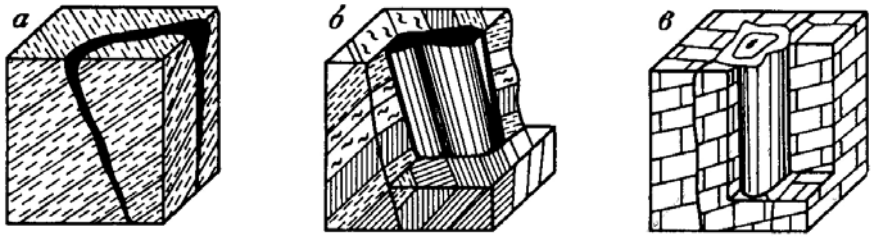


а – геологический план, б – разрез кимберлитовой трубки «Мир»; 1 – насосы; 2-4 – кимберлит: 2 – измененный желтый, 3 – измененный беленый, 4 – малоизмененный; 5 – карбонатные породы

Рисунок 2.12 – Трубообразное тело (по А. П. Бобриевичу)

Залегание тел полезных ископаемых по отношению к вмещающим слоистым породам может быть *секущим* (Рисунок – 2.13) или *согласным* (Рисунок – 2.14), а по отношению к интрудирующим

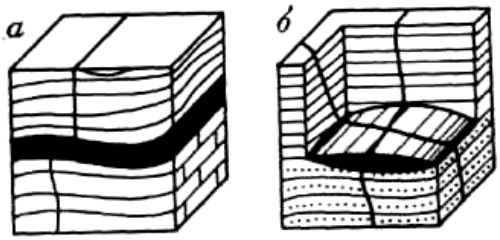
магматическим породам выделяют *контактовые* рудные тела (Рисунок – 2.15).



а – жила, б – рудный столб, в – трубчатая жила

Рисунок 2.13 – Секущие рудные тела (по А.В. Королеву)

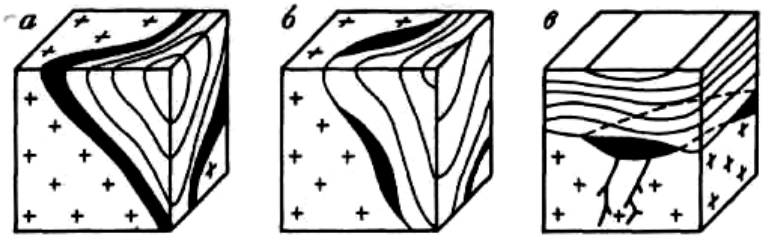
Элементы залегания тел полезных ископаемых определяются в градусах относительно географических координат (это азимуты простирания и падения, от 0 до 360°) и горизонта (угол падения, от 0 до 90°) (Рисунок – 2.16).



а - рудный пласт, б - рудная залежь

Рисунок 2.14– согласные рудные тела (по А.В. Королеву, П.А. Шехтману)

Азимут простирания – это угол, образованный между линией пересечения тела с горизонтальной плоскостью и географическим меридианом. Азимут падения указывает направление падения относительно стран света (СВ, ЮВ), отличаясь от азимута простирания на 90°.

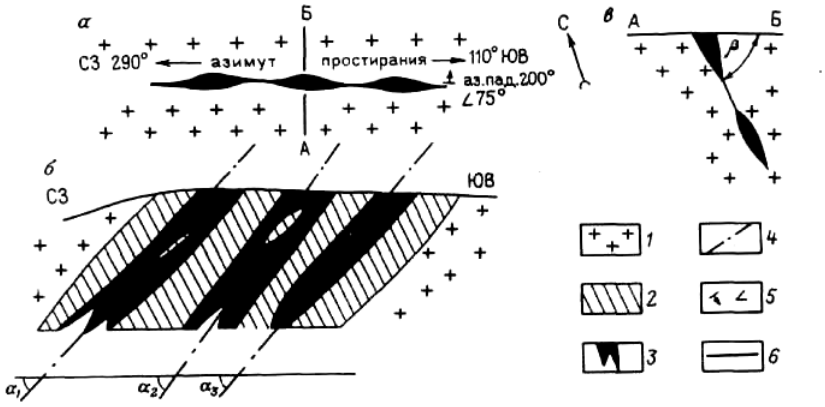


а - пластообразная рудная залежь, б - линзовидная рудная залежь, в - линза.

Рисунок 2.15 – Контактовые рудные тела (по А.В. Королеву, П.А. Шехтману)

По величине угла падения рудных тел различают залегание: субгоризонтальное (до 5^0), пологое ($5\text{-}25^0$), наклонное ($25\text{-}45^0$), крутое($45\text{-}85^0$) и субвертикальное ($>85^0$).

Выклинивание тел полезных ископаемых может быть простым, когда мощность уменьшается постепенно, тупым, если мощность уменьшается резко и сложным, когда тело полезного ископаемого разделяется при выклинивании на многочисленные тонкие пропластки или прожилки. Контакты полезных ископаемых могут быть резкими или постепенными – если между рудой и пустой породой имеются постепенные переходы (Рисунок – 2.16).



1 - гранодиорит-порфиры; 2 – участки «пережимов» и выкливания на флангах жильной зоны; 3 – участки « раздувов» (на проекции – рудные столбы) жильной зоны; 4 - ось рудного столба; 5 – направление азимута падения и угол падения; 6 - горизонтальная линия. α_1, α_2, α_3 – углы склонения рудных столбов; β – угол падения жильной зоны

Рисунок 2.16 – Элементы залегания жильной зоны и ее рудных столбов. (а – план, б – продольный разрез или проекция на вертикальную плоскость; в – поперечный разрез).

Ниже приводится сводная таблица структурных типов рудных тел.

Таблица 2.1 – Структурные типы рудных тел (По Кривцову, 1999)

Внутреннее строение. Текстуры руд	Способ отложения руд	Генетический тип месторождения
1. Штоко- и гнездообразные		
Однородное, зональное. Массивная, полосчатая, вкрапленная, брекчиевая, друзовая	Кристаллизация магматических расплавов, выполнение полостей, метасоматоз	Магматические Cr; пегматитовые; скарновые W; гидротермальные Cu, Pb-Zn, Hg, Au, Ag
2. Пластовые, пласто- и линзообразные		
Сплошное однородное, неоднородное, поперечно-зональное. Массивная, полосчатая, ритмично-полосчатая, вкрапленная	Магматическая кристаллизация, метасоматоз	Магматические Cr, Ti, Cu-Ni. Pt; скарновые Fe, Pb-Zn, W-Mo; гидротермальные Pb-Zn, Sb-Hg, Au; колчеданные Cu, Zn, Pb
3. Жильные и жилообразные		
Магматические Cr, Cu, Ni; пегматитовые W, Mo, Sn; гидротермальные Au, Pb-Zn, Cu, W, Mo, Sn, Sb, U		
4. Штокверковые		
Неоднородное, зональное (структурная и метасоматическая зональность), обогащенные участки. Прожилково-вкрапленная, полосчатая, брекчиевая, друзовая	Метасоматоз, выполнение полостей	Постмагматические Mo, Cu-Mo, W, Sn, Au, Ta-Nb, U
5. Столбообразные		
Неоднородное, местами зональное. Массивная, брекчиевая, полосчатая и др	Метасоматоз и подчиненное выполнение полостей	Скарновые Fe, Pb-Zn; грейзеновые Mo, W, Sn; гидротермальные Pb-Zn, Au, Hg, U и др.

В конечном счете, морфология рудных тел определяется в первую очередь структурными элементами (складчатыми и разрывными нарушениями, контактами пород), формой и внутреннем строением массивам пород, а также зависит от физико-механических и химических свойств вмещающих пород. Значительное влияние на форму и внутреннее строение рудных тел оказывают способы отложения

минерального вещества и тектоническая обстановка во время образования.

ГЛАВА 3. ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

3.1.Химический и минеральный состав руд

Являясь природными минеральными образованиями все полезные ископаемые обладают определенным вещественным (минеральным и химическим) составом, строением или структурно-текстурными особенностями, а также некоторым комплексом физических, физико-химических и технологических свойств. Эти характеристики обуславливают качество полезных ископаемых, которые имеют важнейшее значение для оценки месторождений с целью их промышленного использования.

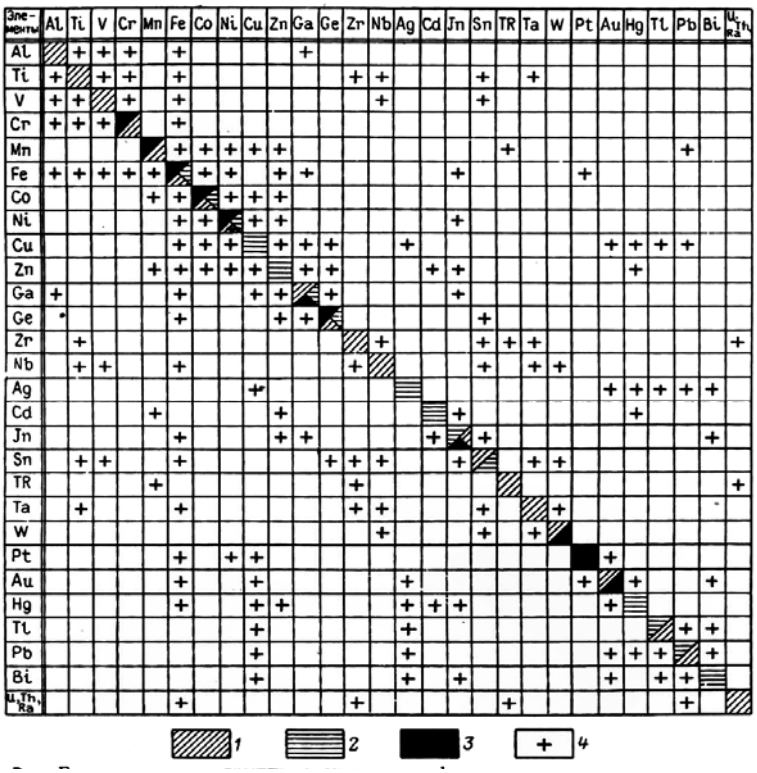
Вещественный состав металлических и неметаллических руд определяется соотношением рудных и сопутствующих нерудных или жильных минералов. В металлических рудах минералы являются носителями ценных металлов, в неметаллических – ценные минералы служат носителями элементов – металлоидов или же сами представляют практический интерес, благодаря специфическим свойствам.

Вещественный состав тел полезных ископаемых отличается от состава вмещающих пород повышенным содержанием определенных химических элементов и минеральных комплексов. Концентрации элементов во вмещающих породах по мере удаления от продуктивных тел снижаются, стремясь к величине кларкового содержания. *Кларк* – это среднее содержание элемента, вычисленное по большому числу проб, отобранных на различных участках земной коры. Значения кларков определены для основных разновидностей магматических и осадочных пород. Для магматических формаций отмечается прямая зависимость потенциальной рудоносности от величины кларков.

Содержание отдельных элементов в рудных телах в десятки, иногда сотни и даже тысячи раз превышает их кларки. Число, показывающее во сколько раз содержание полезного компонента в руде выше его кларка в земной коре, называется *коэффициентом минимальной концентрации.*

По геохимическим данным 76,5 % всей массы земной коры составляют кислород и кремний; 23,08 % приходится на алюминий, железо, кальций, калий, натрий, магний, титан и марганец; 1 % - на водород. Доля остальных элементов – менее 0,5 % . Кларки элементов убывают по мере увеличения массовых чисел ядра атома.

Высокой химической активностью из широко распространенных элементов обладают кислород и сера. Для большей части элементов характерны оксидные (кислородные) соединения – их называют *литофильными.* Элементы с выраженным сродством с серой составляют группу *халькофильных*, а связанные с железом образуют небольшую группу *сидерофильных* элементов (Рисунок – 3.1).



Геохимические группировки металлов: 1-литофильные, 2-халькофильные, 3-сидерофильные; 4-изоморфизм

Рисунок 3.1 – геохимические группировки и изоморфизм металлических элементов

Один из основоположников современной геохимии В.М. Гольдшмидт выделяет *литофильные* элементы (O, Si, F, Cl и др.), формирующие в условиях земной коры преимущественно кислородные соединения; *халькофильные* (S, Se, Te, Cu, Zn, Pb, Ag и др.), охотно соединяющиеся с серой; *сидерофильные.*

(Fe, Ni Co, Pt, Au, Mo и др.), способные растворяться в железных сплавах и многие из которых могут встречаться в самородном состоянии; а также *атмофильные* (H, N, C, O, He, Ar и др.), характерные для земной атмосферы. Кроме того, выделяют еще и *биофильные* элементы (C, H, O, N, P и др.), которые способны накапливаться в живых организмах.

	H																
He	Li	Be	B	C	N	O	F										
Ne	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl										
Ar	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br
Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I
Xe	Cs	Ba	Tr	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hd	Tl	Pb	Bi	Po	At
Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	–										

Рисунок 3.2 – Геохимическая таблица элементов (по А.Н. Заварицкому)

Минеральный состав тел полезных ископаемых обусловлен условиями их образования. Магматогенные группы рудных формаций представлены гипогенными минералами, часть которых, устойчивых к окислительным процессам, переходит в экзогенные формации, представленные, кроме того, вновь образованными, так называемыми *гипергенными* минералами.

Как отмечалось ранее, минералом называют физические и химические индивидуализированное, как правило, твердое тело, относительно однородное по составу и свойствам, возникшее как продукт природных физико-химических процессов, обычно представляющее собой составную часть горных пород и руд. За редким исключением минералы неорганического происхождения. Общее число известных минералов около 3000, в последние годы ежегодно открывается 20 – 25 минералов.

В состав минералов входят все стабильные и долгоживущие изотопы элементов Периодической системы. Но минералообразующая роль отдельных элементов неодинакова. Одни из них проявляют тенденцию к образованию «собственных» минералов, другие (т.е. элементы-примеси) к изоморфному рассеянию в решетках минералов, содержащих кристаллохимические близкие к ним, но более распространенные элементы. К рассеянным элементам, чаще всего входящим в состав минералов в виде изоморфных примесей, относятся

Rb, Cd, U, Jn, Sc, ряд редкоземельных Ue, Re, Be, Ra, Se и др. Для многих из них вообще неизвестно самостоятельных минералов.

Около 25% общего числа минералов в земной коре – силикаты и алюмосиликаты, около 18% приходится на фосфаты, арсенаты и их аналоги. Около 13% - на сульфиды, около 12% на оксиды и гидроксиды. Минералы, относящиеся к другим классам химических соединений, составляют более 32%.

По типу химических соединений минералы подразделяются на редко встречающиеся простые вещества (самородные элементы), составные (бинарные, например; оксиды, сульфиды) и сложные соединения (гидроксиды). По составу преобладающей части минералов выделяются следующие типы руд:

самородные – медь, золото, платина;

сернистые и им подобные – сульфиды, арсениды и антимониды тяжелых металлов – меди, цинка, свинца, никеля, кобальта, молибдена;

оксидные – оксиды и гидрооксиды железа, марганца, хрома, олова, урана, алюминия;

карбонатные – карбонаты железа, марганца, магния, свинца, цинка, меди;

сульфатные – сульфаты бария, кальция;

фосфатные – апатитовые и фосфоритовые неметаллические руды, а также фосфаты некоторых металлов;

силикатные – сравнительно редкие руды железа, марганца, широко распространенные неметаллические полезные ископаемые – слюда, асбест, тальк;

галоидные – минеральные соли и флюорит.

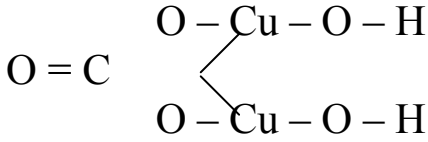
Состав минералов выражается его химической формулой. Эмпирическая формула отражает отношение между элементами в минерале.

В ней элементы располагаются слева направо по мере увеличения номера их групп в периодической системе, а для элементов одной группы - по мере уменьшения их порядковых номеров, т.е. по мере увеличения их силовых характеристик. Элементы, образующие изоморфные смеси, приводятся в круглых скобках через запятую, располагаясь в зависимости от их содержания в минерале.

Например, эмпирическая формула гранатов: $(Mg, Fe, Mn, Ca)^{2+}$ $(Al, Cr, Fe)^{3+}Si_3O_{12}$. Особенности химического состава (в том числе

содержание элементов примесей), является их важнейшими типоморфными признаками. Еще один пример, минерал малахит: эмпирическая формула его $H_2Cu_2CO_5$ – она показывает, какие именно элементы входят в состав малахита, и в каком количестве, но не указывает каким образом эти элементы связаны между собой в соединение и поэтому не дает представления о химической природе минерала.

Выразим эту формулу в структурной форме



Здесь видно, что три левых кислорода с углеродом и медь с правым кислородом и водородом обособляются в группы. Перепишем эту формулу сокращенно так: $CO_3[Cu\ OH]_2$. Теперь можно сказать, что малахит – основная углекислая соль меди и предсказать ее свойства: растворяется в кислотах с выделением CO_2, вода связана весьма прочно, входя в минерал в виде гидроксила OH. Чтобы выделить ее из минерала, надо совершенно разрушить его молекулу. Поэтому вода из малахита выделяется лишь при значительном нагревании. В прямые скобки обычно выделяются группы элементов, непосредственно связанные друг с другом так, чтобы структура минерала была очевидна. В конечном счете, формула малахита имеет следующий вид: $[Cu\ OH]_2CO_3$, однако в опубликованной литературе можно встретить и такую формулу малахита $(CuCO_3)\ [Cu\ OH]_2$.

Такие общеизвестные попутные компоненты, как платиноиды в некоторых медно-никелевых рудах, кобальт в магнетитовых месторождениях, серебро, золото, кадмий, теллур в медно-свинцово-цинковых рудах, германий в углях и других часто повышают ценность месторождений, по главным полезным компонентам вдвое, а запасы их даже выше, чем на крупных самостоятельных месторождениях этих компонентов.

По содержанию выделяются богатые, рядовые (средние), бедные, убогие. Грубо это разделение можно проводить так: *убогие* – ниже кондиций; *бедные* – близки к кондициям, но несколько выше их; *к богатым* часто относятся руды, которые могут идти в плавку без обогащения (например, железные руды, с содержанием железа более

50%). Однако, для других металлов (олово, вольфрам), богатыми называются высокопроцентные руды, хотя для непосредственной металлургической плавки они непригодны и подлежат обогащению.

В химическом составе полезного ископаемого различают полезные и вредные компоненты. Полезные компоненты – это химические элементы и соединения, ради которых полезное ископаемое добывается, вредные - составные части, которые затрудняют его переработку или снижают качество получаемой из полезного ископаемого продукции. Например, небольшие содержания серы (больше 0,3%) и фосфора (более 0,15%) в железной руде и угле придают чугуну и стали хрупкость и ломкость. Если попытаться избавиться от них при переработке, то это снижает производительность плавки примерно на 5% на каждый 1% серы и 0,1% фосфора. Однако, фосфор и сера, если их отделить от железной руды, являются полезными компонентами, т.е. имеют потребительскую ценность. Так, при содержании фосфора более 5% в железной руде при томасовском процессе выплавки получают высокосортную сталь и томасовские шлаки – ценное удобрение. Возникает возможность более полного комплексного использования минерального сырья. В большинстве случаев руда, кроме главных, содержит попутные компоненты. Иногда, в случае очень небольшого содержания, добыча их была бы не экономична. Но при извлечении попутно с основными они представляют собой значительную ценность и являются важной сырьевой базой ряда важных и редких элементов.

Химический состав – важнейшая характеристика большого числа видов минерального сырья. Например, чем выше меди в медной руде, тем богаче руда, тем выше ее качество. На многих месторождениях полезных ископаемых путем исследования химического состава отличают руду от пустой породы и разделяют промышленные сорта руд. Химические элементы, входящие в состав полезного ископаемого делятся на главные и попутные компоненты. Главные компоненты определяют промышленное значение руды, по содержанию главных компонентов проводят контуры рудных тел в промышленных контурах; так, например, в железных рудах полезным компонентом является железо, а вредными сера и фосфор. При высоком содержании вредных примесей для их удаления приходится изменять технологию переработки полезного ископаемого. Богатую серой железную руду нельзя направлять в плавку, ее следует предварительно подвергнуть

обогащению или обжигу (агломерации) для удаления серы. Минеральное сырье в большей части представляет собой комплексные руды, содержащие много ценных компонентов. Главные и попутные компоненты разделяются условно и иногда попутные компоненты переходят в главные.

Ценные попутные компоненты целесообразно разделять на две группы. Компоненты первой группы образуют собственные минералы, которые могут быть выделены в концентрат путем обогащения. Компоненты второй группы не образуют собственных минералов, а входят в виде изоморфных или других примесей в главные минералы руд и могут быть извлечены лишь при металлургической переработке руд. Так, в магнетитовых рудах сера и медь обычно образуют сульфиды: пирит и халькопирит, т.е. относятся к первой группе и могут быть выделены в пиритный и медный концентраты. Но в тех же рудах ванадий изоморфно входит в состав магнетита и относится ко второй группе. Его извлекают при выплавке стали из мартеновских шлаков. Ко второй группе относятся рассеянные элементы: кадмий, индий, таллий, галлий, германий, рений, селен, теллур, скандий и пр.

Наряду с общим или валовым химическим составом руды для многих полезных ископаемых большое значение имеет фазовый состав или баланс распределения компонентов в руде. **Фазовый состав** показывает долю ценного компонента в руде, связанного с отдельными минералами или группами минералов. Определение фазового состава позволяет предсказать некоторые технологические свойства руды и вероятное извлечение из нее ценных компонентов. Например, в железистых кварцитах железо входит в состав магнетита, гематита, сидерита, железистых силикатов и сульфидов. Экономически целесообразно извлекать железо из магнетита, сидерита, гематита. Поэтому о качестве таких руд можно надежно судить лишь после установления доли железа, заключенного в разных минералах и, прежде всего, магнетите.

Минеральный состав полезного ископаемого дополняет сведения о химическом составе. Часто руды одинакового химического состава резко отличаются по минеральному составу и требуют различных схем переработки. Например, магнетитовые кварциты могут быть обогащены магнитной сепарацией, а гематитовые кварциты того же химического состава либо флотацией, либо восстановительным обжигом с

последующей магнитной сепарацией. Медные руды, в которых медные минералы представлены силикатами или карбонатами, становятся непромышленными.

Минералы, слагающие руды, принято делить на рудные и нерудные, или жильные, кроме того, на главные, второстепенные и редкие (акцессорные). Особенно важное значение имеют главные минералы (рудные или нерудные), т.к. обуславливают промышленный характер руды.

Противопоставление рудных и нерудных минералов не всегда целесообразно. Обычно нерудные минералы составляют балласт и их удаляют в ходе переработки руды. Но часто нерудные минералы так же имеют промышленное значение, а в нерудных полезных ископаемых играют определяющую роль. Например, во многих полиметаллических рудах ценными минералами являются галенит, сфалерит и барит. Поэтому в рудах следует изучать в равной мере рудные и нерудные минералы.

3.1 Текстурно-структурная характеристика

Под *текстурой* руды подразумевается ее строение, обусловленное пространственным расположением слагающих ее минеральных агрегатов, отличающихся друг от друга по составу, структурным особенностям, а также по величине и форме (Татаринов). Текстуры руд, характеризующиеся наличием неравнозначных минеральных агрегатов, могут образовываться в среде любого физического состояния. Однако закономерности расположения в пространстве определяются в основном геологическими факторами (инъекцией, сегрегацией и т.п.). В магматических месторождениях распространены *массивные текстуры*, когда руда имеет однородное строение и сложена почти сплошь рудными минералами (хромитовые, титано-магнетитовые руды). Часто встречаются *вкрапленные текстуры*, когда рудные минералы образуют более или менее частую вкрапленность во вмещающей породе (медно-никелевые руды).

Рудная вкрапленность может образовывать массивные скопления или полосы, и текстура руды становится, соответственно, *пятнистой* («пятнистые» апатитовые, «нодулярные» хромитовые руды) или *полосчатой* (титано-магнетитовые руды). В месторождениях с жильной формой рудных тел характерны иногда *брекчиевидные текстуры*. Для

гидротермальных месторождений также характерны *сетчатые или петельчатые текстуры*. Полости, оставшиеся при заполнении пустот, обуславливают *друзовые текстуры*, образованные щетками минералов, кристаллизовавшихся последними (друзы кварца). Нередко в руде обломки боковой породы или ранее образовавшегося минерала цементируются другими минералами, такие текстуры получили название *брекчиевой*. Когда кристаллизация минерального вещества происходит из каллоидных растворов, образуются натечные текстуры в виде почковидных, гроздьевидных, губчатых, натечных агрегатов.

При процессах выветривания, выщелачивания химически разрушающихся минералов возникают текстуры *кавернозные ячеистовые, сотовые.* Для остаточных продуктов химического выветривания характерны *охристые (сажистые) и порошковатые (землистые) текстуры*. Они особенно характерны для гидроксидов железа (лимонит) и марганца (псиломелан). При отложении минерального вещества из каллоидных растворов в пустотах характерны *сталактитовые, друзовые и конкреционные текстуры* (карбонатные минералы, фосфориты, минеральные соли). Нередко встречаются *органогенные текстуры* (известняки-ракушечники Крыма, фосфориты Нечерноземья).

Для метаморфогенных месторождений, возникающих при метаморфизме эндогенных или экзогенных месторождений, характерны ориентированные *сланцевая и полосчатая,* реже *брекчиевидная текстуры*.

Текстуры имеют практическое значение. Размеры и способ сочетания агрегатов, учитываются при опробовании, рудоразборке и предварительном обогащении минерального сырья.

Структуры руд, имеющие важное научное и практическое значение детально рассматриваются в курсе минераграфии.

Структура – строение минерального агрегата, характеризующиеся размерами, формой и взаимоотношениями зерен одного или нескольких минералов. Морфологической единицей структуры принято считать минеральное зерно (индивид). В практической работе структуры изучают в основном под микроскопом, а текстуры – макроскопически. К морфологическим признакам структуры относятся формы, размер, строение зерен, особенности границ срастаний, включения, замещения. Форма: полностью или частично ограненные зерна, каллоидные

частицы, скелетные продукты распада. Размеры зерен находятся в зависимости от линейной скорости роста минеральных индивидов и от условий их формирования.

Резкое падение температуры и давления приводит к образованию мелкозернистых агрегатов. Различают мелко (тонко), средне и крупно зернистые агрегаты с размерами зерен, соответственно, от долей или до первых сантиметров. Строение зерен может быть однородным и неоднородным (зональность, двойники и т.д.). Границы срастания рудных минералов между собой и с нерудными необходимо знать для целей эффективного дробления руды на 1 стадии ее обогащения. Границы могут быть ровные, прямолинейные, зубчатые с частичным или глубоким проникновением зерен друг в друга и др.

Определение структур очень важно для технологического процесса – обогащения руды.

Решающее значение в выборе способов обогащения имеют крупность рудных минералов, характер их выделения, а также текстура и структура руд

Сплошные руды с массивной текстурой (например, магнетиты) обычно используются без обогащения. Затруднения возникают при необходимости выделения мелких включений нерудных минералов, рассеянных в рудной массе. В рудах с вкрапленной текстурой значительная часть пустой породы освобождается при дроблении до крупности, превышающей размер рудных зерен. По частоте включений рудного минерала вкрапленные и сплошные руды можно разбить на семь групп.

В рудах с пятнистой текстурой могут встретиться следующие четыре случая:

1. Четкое выделение относительно крупных включений рудного материала во вмещающей породе. Этот случай наиболее благоприятен для обогащения. При крупном дроблении в концентрат выходит значительная часть рудного минерала, а большая часть пустой породы поступает в хвосты. Промпродукт подвергается более мелкому измельчению.

2. Рудный минерал среди нерудных представлен крупными :-: частично мелкими зернами. При крупном дроблении получается часть концентрата, а хвосты требуют тонкого измельчения для выделения мелких рудных включений.

3. Участки пустой породы свободны от рудной вкрапленности. Крупные выделения рудного минерала содержат мелкие нерудные включения. После крупного дробления получаются хвосты. Грубый концентрат требует обогащения.

4. Крупные выделения рудного минерала содержат мелкие вкрапления пустой породы, а среди нерудных встречаются мелкие включения рудных минералов. Этот случай наименее благоприятен для обогащения. Необходимо тонкое измельчение руд.

В рудах с полосчатой текстурой, в общем поддающихся обогащению, могут иметь место те же четыре описанных случая.

Руды с брекчиевидной текстурой могут быть представлены или рудными обломками в нерудном цементе, или, наоборот, обломками пустой породы в рудном цементе. В первом случае после крупного дробления получаются хвосты и грубый концентрат, требующий доизмельчения и перечистки; во втором случае только часть рудного минерала уходит в концентрат. Для извлечения остальной части требуется доизмельчение и перечистка хвостов.

В рудах оолитовой текстуры (бокситы, осадочные руды железа и марганца) оолиты обычно сложены рудным веществом. Способы обогащения этих руд находятся в большой зависимости от структуры оолитов. Если рудный минерал слагает основную часть оолитовых выделений, руды обогащаются сравнительно легко. В некоторых оолитовых рудах рудное вещество тонко переслаивается с нерудным; качество концентрата в этом случае существенно снижается. Руды с колломорфной текстурой требуют очень тонкого измельчения и специальных методов обогащения.

Некоторые руды черных металлов по своим физическим свойствам относятся к порошковатым, охристым, глинистым, землистым, сажистым. При механической обработке они дают большой выход шламов, из которых трудно извлекать полезные ископаемые. Для подготовки таких руд к плавке требуется окускование их путем агломерации или брикетирования, а также окомкование (изготовление окатышей).

Генетическая классификация структур и текстур руд приведены в специальных работах виднейших отечественных ученых-минералогов (А.Г.Бетехтин, С.А.Вахромеев, С.А.Юшко).

Установлена приуроченность структур и текстур руд, к определенным генетическим типам руд однако, для практических целей важнейшим признаком является морфологический.

Ниже, в виде таблиц, представлены распространенность структур и текстур руд.

Таблица 3.1 – Распространенность структур по генетическим типам руд ++ - наблюдается часто ; + - наблюдается редко; - не наблюдается

Название структур	Типы руд				
	магмати-ческие	гидротер мальные	выветри-вания	осадоч-ные	метамор фичес-кие
Алевритовая	-	-	-	+	-
Аллотриоморфнозернис-тая	++	++	-	-	+
Волокнистая	+	++	+	-	-
Гетеробластическая	-	-	-	-	+
Гипидиоморфнозернис-тая	++	++	-	-	-
Гранокластическая	-	-	-	-	+
Графическая	++	++	+		
Дендритовая	+	+	+		-
Зональная (замещения)		+	+	-	-
Идиобластическая	-	-	-	-	+
Концентрически-зональная	-	+	+	+	-
Лепидобластическая	-	-	-	-	+
Листоватая	-	+	-	-	-
Мозаичная	-	+	-	-	+
Оолитовая	-	-	-	++	-
Органогенная	-	-	-	+	-
Ориентированно-волокнистая	+	+	+	-	-
Офитовидная	-	+	-	-	-

Продолжение таблицы 3.1 – Распространенность структур по генетическим типам руд ++ - наблюдается часто; + - наблюдается редко; - не наблюдается

Название структур	Типы руд				
	магмати-ческие	гидротер мальные	выветри-вания	осадоч-ные	метамор-фичес-кие
Панидиоморфнозернистая	+	+	-	-	-
Пелитовая	-	-	-	+	-
Петельчатая	++	+	++	-	-
Пластинчатая	++	++	+	-	+
Пойкилитовая	+	+			
Порфировидная	++	+	-	-	-
Псаммитовая	-	-	-	+	
Псефитовая	-	-	-	+	-
Равномернозернистая	+	++			+
Радиально-лучистая	+	+	+	+	
Решетчатая	++	++	++		
Сидеронитовая	++	-	-	-	-
Скелетная	-	+	+	-	-
Сферолитовая	-	+	+	+	-
Эмульсионная	+	++	-	-	-

Таблица 3.2 – Распространенность текстур по генетическим типам руд ++ - наблюдается часто; + - наблюдается редко; - не наблюдается

Название текстур	Типы руд				
	магмати-ческие	гидротер-мальные	выветри-вания	осадоч-ные	метамор-фические
Бобовая	-	-	-	+	-
Брекчиевая	-	++	-	-	++
Брекчиквидная		+			+
Вкрапленная	++	++	-	+	+
Друзовая	-	+	+	+	-
Жеодовая	-	+	+	++	-
Жильная	+	++	+	-	+
Кокардовая	-	+	+	-	-
Конгломератовая	-	-	-	+	-
Линзовидная	-	-	-	+	-
Массивная	++	++	+	+	+
Миндалекаменная	+	-	-	-	-
Нодулярная	++	-	-	-	-
Ноздреватая	-	-	+	-	-
Параллельно-слоистая	-	++	-	+	-
Петельчатая	-	+	+	-	-
Полосчатая	+	++	+	+	++
Пористая	-	+	+	-	-
Почковидная		+	+	+	
Сетчатая	-	+	++		
Сланцеватая	-	-	-	-	++
Слоистая	-	-	-	++	

Схемы определителей текстур и структур руд

Для определения текстур и структур руд за основу положен морфологический принцип, т.к. каждый исследователь, прежде всего, отмечает структурный или текстурный рисунок, которому дается та или иная интерпретация после изучения минералогического состава и деталей взаимоотношения отдельных минералов или их агрегатов.[12]

Таблица 3.3 – Схема определителя текстур руд

N° группа	Краткая характеристика групп текстур	Виды текстур
I	Рудные минералы распределены в нерудной основной массе в виде относительно равномерной, от редкой до густой, вкрапленности или скоплений разных форм и размеров	Вкрапленная Миндалекаменная Такситовая Пятнистая
II	Строение рудной массы характеризуется более или менее равномерным распределением слагающих ее минералов	Массивная
III	Строение руды характеризуется перемежаемостью полос с параллельными и субпараллельными плоскостями ограничения, различной мощности, структуры, состава, крупности зерна, цвета	Полосчатая Слоистая Плойчатая Ленточная Линзовидно-полосчатая
IV	Рудная масса сложена сферическими, сфероидальными, эллипсоидальными агрегатами мономинерального и полиминерального состава. В этой обширной группе можно выделить две подгруппы: 1)текстуры гипогенных руд 2)текстуры гипергенных руд	Тонкополосчатая Нодулярная Кольцеобразная Кокардовая Конкреционная Бобовая Ореховая Гороховая
V	Строение рудной массы характеризуется развитием почковидных, натечно-скорлуповатых и коллоформных образований при заполнении различного рода пустот или при нарастании в виде корок или почек на других рудах или породах	Почковидная Натечно-скорлуповатая Натечно-коллоформная Пузырчатая Агатовая
VI	Строение рудной массы определяется сочетанием двух различных по возрасту минеральных агрегатов: а) обломков, часто остроугольной формы, и цемен-тирующей массы б) минерального агрегата, выполняющего трещины в боковой породе или ранее отложенной руде	Брекчиевидная Брекчиевая
VII	Рудная масса характеризуется наличием переменного количества пустот (пор, каверн) различной формы, размера и происхождения	Губчатая Кавернозная Пористая

Продолжение таблицы 3.3 – Схема определителя текстур руд

N° груп-па	Краткая характеристика групп текстур	Виды текстур
VIII	Строение руды определяется наличием плотного тонкостенного каркаса с пустотами, преимущественно угловатой формы – прямо-угольной, реже треугольной (ящичные текстуры) Стенки обычно сложены гидроокислами железа, замещающими сульфиды, карбонаты и другие минералы	Грубо-ящичная
IX	Все другие виды текстур	Землистые Порошковатые Друзовые Жеодовые

Для удобства пользования нижеприведенной схемой определителя структур руд все структурные группы объединены в более крупные разделы по характеру связи, слагающих руду компонентов, и отчасти, по их специфической форме, обусловленной происхождением:

Таблица 3.4 – Структурные группы руд

Разделы	Группы
1-й. Более или менее одновозрастные, равно - и неравно-зернистые агрегаты с различной кристаллической формой индивидов	I, II, III, IV,
2-й. Закономерные (ориентированные и беспорядочные) тесные срастания и взаимные прорастания двух или нес-кольких компонентов	V, VI, VII, IX, XII
3-й. Наличие двух или нескольких разновозрастных образо-ваний моно- или полиминерального состава	VIII, X, XI, XVII
4-й. Сферические, эллипсоидальные, радиально-лучистые и другие подобные им агрегаты метаколлоидного происхож-дения	XIII, XIV
5-й. Характерна растениевидная и реликтовая по раститель-ным остаткам форма рудных компонентов	XV, XVI
6-й. Все другие виды структур	XVIII

Таблица 3.5 – Схема определителя структур руд

N° групп	Краткая характеристика групп структур	Виды структур
I	Рудная масса сложена относительно равнозернистыми мономинеральными или полиминеральными агрегатами сравнительно изометрических зерен. Взаимоотношение слагающих руду компонентов различно. В этой обширной группе структур можно выделить подгруппы: а) отложения б) перекристаллизация	Гипидиоморфнозернистая Аллотриоморфнозернистая Панидиоморфнозернистая
II	Рудная масса сложена неравнозернистыми агрегатами с различным взаимоотношением компонентов. В данной группе структур выделяются подгруппы: а) отложения б) перекристаллизации	а) Порфировая Порфировидная Пойкилитовая б) Порфиробластическая
III	Рудная масса сложена мономинеральными или полиминеральными агрегатами с пластинчатой формой всех или преобладающих компонентов	Пластинчатая Офитовая Лепидобластовая Листоватая
I V	Сложение руды определяется сочетанием волокнистой формы ее компонентов, находящихся в различных взаимоотношениях	Волокнистая Решетчатая
V	Для сложения рудной массы характерна приуроченность одного или нескольких минералов к кристаллографическим направлениям другого минерала: плоскостям спайности, двойникования и т.п.	Сетчатая
VI	Сложение руды характеризуется тесным взаимным срастанием обычно двух минералов с сильно извилистыми и клинообразными очертаниями	Графическая Микропегматитовая
VII	Сложение руды характеризуется наличием мельчайших каплевидных или незначительно удлиненных включений одного минерала в другом	Эмульсионная
VIII	Сложение руды определяется сочетанием зерен, кристаллов или обломков породы, обрастающих оторочкой из позднее выделившихся минералов	Периферийных оторочек Краевых каемок Венчиковая (венцовая)

Продолжение таблицы 3.5 – Схема определителя структур руд

N°групп	Краткая характеристика групп структур	Виды структур
IX	Для сложения руды характерно окаймление одного из минералов другим минералом в виде неправильных жилок, отдельных зерен или их агрегатов	Петельчатая
X	Структурные свойства руды обусловлены метасоматическим развитием более поздних минералов в ранее отложившихся минералах	Скелетная Петельчатая
XI	Структурные свойства руды обусловлены динамометаморфизмом	Катакластическая Порфирокластическая
XII	Сложение рудной массы определяется сочетанием агрегатов с зональным строением, являющимся следствием последовательного отложения или замещения одного минерала другим	Концентрически-зональная Зональная
XIII	Сложение руды в той или иной степени отражает различные стадии преобразования коллоидного рудного вещества в кристалли-ческое	Каллоформная Зональная Оолитовая
XIV	Рудная масса состоит из сферолитов и сферолитовидных образований с радиально-лучистой структурой, в различной степени выраженной	Сферолитовая Радиально-лучистая Лучистая
XV	Форма срастания компонентов рудной массы напоминает растения	Дендритовая
XVI	Сложение руды отражает псевдоморфное замещение растительных остатков рудными минералами	Ячеистая Реликтовая
XVII	Рудная масса сложена обломочным нерудным материалом различной крупности, сцементированным, иногда с замещением, рудным веществом	Цементная Псаммитовая Псефитовая
XVIII	Все другие виды структур	Пелитовая Землистая Алевритовая

В конечном счете, вещественный состав руд является определяющим для оценки качества минерального сырья.

Ниже приводятся фотографии и описание наиболее распространенных структур и текстур руд.

Аллотриоморфная или аллотриоморфнозериистая структура.

Структура характеризуется отсутствием кристаллографических форм минералов, слагающих руду, и часто указывает на одновременность отложения, связанную с почти равной скоростью кристаллизации минералов. Она в одинаковой мере может получаться как в результате кристаллизации из высокотемпературных растворов, так и при отложениях из коллоидных растворов. Широко распространена в первичных рудах. Часто выявляется при травлении мономинеральных масс галенита. (Рисунок 3.1).

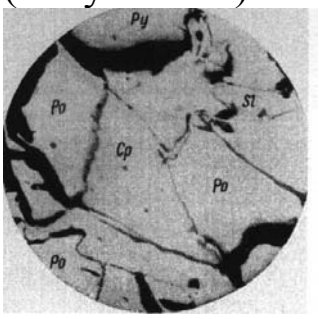


Рисунок 3.1

Вкрапленная текстура — характеризуется наличием относительно редко рассеянных рудных минералов в виде включений метакристаллов и их агрегатов в основной нерудной массе. Встречается в магматических, контактово-метасоматических и гидротермальных месторождениях. Образуется или в результате непосредственной кристаллизации магмы, или в результате метасоматических процессов. (Рисунок 3.2).

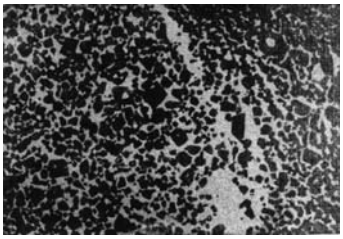


Рисунок 3.2

Дендритовая структура – причудливой формы узор, образуемый агрегатом зерен одного минерала самостоятельно или в сочетании с другими минералами, называется дендритовой структурой. Наблюдаются срастания дендритового характера магнетита с нерудным минералом или пирротина с пентландитом. (Рисунок 3.3).

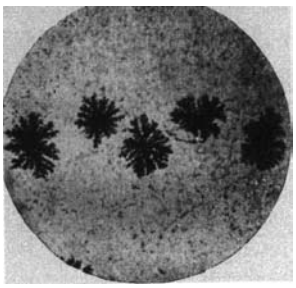


Рисунок 3.3.

Жеодовая текстура — обусловлена нарастанием кристаллических агрегатов от стенок пустот к центру. Происхождение пустот и заполняющих минералов может быть первичным и вторичным. В осадочных рудах (в песчано-глинистых слоях или в рыхлых рудах, чаще всего железных) в результате последующей перегруппировки рудного вещества возникают единичные или весьма обильные пустоты (жеоды) овальной, ромбоэдрической или менее правильной формы, с твердыми, часто концентрически-слоистыми стенками. Размер жеод (в длину) колеблется от 1,5 до 25 см, достигая одного метра (Пустовалов, 1940). Толщина стенок от 2—3 мм до 1 см; состав—лимонит, гётит, гидрогётит, железистые глина и песчаник. На внутренней поверхности жеод могут развиваться натечные формы тех же минералов (бурая стеклянная голова). (Рисунок 3.4).

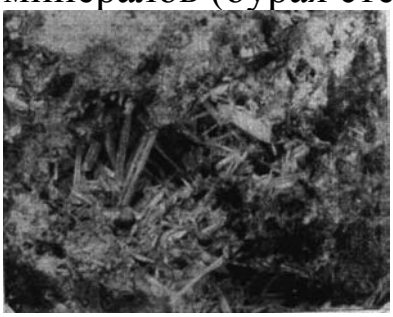


Рисунок 3.4

Кокардовая текстура – при образовании кокардовой текстуры послойное отложение минеральных веществ происходит вокруг обломков боковых пород или руды более ранней генерации. Форма и величина отдельных кокард до некоторой степени определяются формой и величиной крустифицируемых включений. Встречается чаще в рудах гидротермального генезиса. В кокардовых рудах некоторых месторождений наблюдаются тонкие концентрически-зональные выделения галенита, барита и сфалерита вокруг обломков (галек) известняка. (Рисунок 3.5).

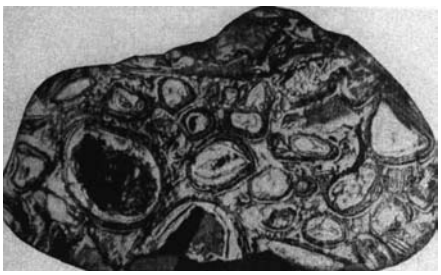


Рисунок 3.5

Конкреционная текстура – в наиболее типичном виде конкреции представляют собой округлые, почти сферической, реже овальной формы, рудные образования, в центре которых часто можно наблюдать песчинки кварца, карбоната, глинисто-песчанистую массу, а в очень крупных — пустоту. Нередко конкреции обладают сглаженно-угловатой формой; поверхность их бывает часто бугристой, желвакообразной. Размер конкреций колеблется от десятых и даже сотых долей миллиметра (микроконкреции), достигая величины детской головы (никопольские марганцевые руды).По величине и форме слагающих руду конкреций различаются текстуры: маковая или пороховая, дробовая, градовая или гороховая, бобовая, ореховая; с уплощенными, лепешковидными конкрециями текстуры носят названия монетной или копеечной (денежной), блинчатой, щитковидной и пр. Все это имеет большое значение при процессах обогащения руды. Состав конкреций в зависимости от типа руды может быть карбонатный (родохрозит, олигонит, сидерит), гематитовый, лимонитовый, магнетитовый, пиролюзитовый, псиломелановый, реже пиритовый. Состав цемента — сидеритовый, родохрозитовый, лептохлоритовый, лимонитовый, гематитовый, пиролюзитовый, также песчано-глинистый, глинистый и известковистый, в различной степени обогащенный рудными минералами. Конкреционная текстура особенно характерна для железных и марганцевых руд. (Рисунок 3.6).

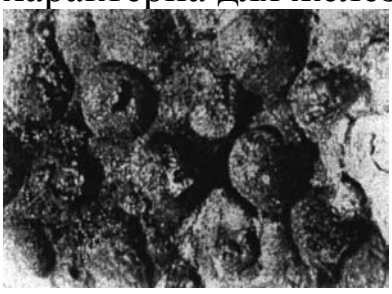


Рисунок 3.6

Концентрическо-слоистая текстура – характеризуется чередованием концентрических полос или слоев минерального вещества вокруг каких-либо центров. Отдельные слои могут иметь разный минералогический состав и обладать зернистой или иной, свойственной им, структурой. Происхождение: а) гипогенное или супергенное замещение зональных кристаллов более поздними минералами, б) последовательное заполнение пустот. (Рисунок 3.7).

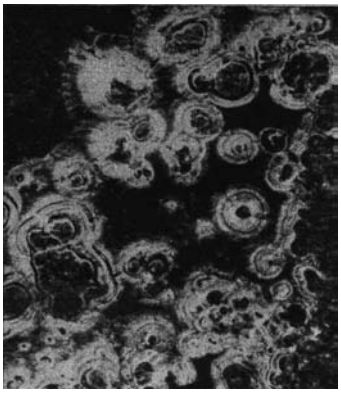


Рисунок 3.7

Оолитовая структура отложения — составными элементами этой структуры являются округлые (сферические, но чаще овальные) рудные зерна — оолиты и сингенетичный или эпигенетичный цемент. Размер оолитов колеблется от десятых долей до 2 мм в поперечнике. Оолиты размером от 2 мм и выше называют пизолитами. Встречающиеся в описаниях оолиты более крупных размеров не всегда являются настоящими оолитами, их нередко смешивают с конкрециями. От мелких конкреций оолиты отличаются более правильной формой' и более тонким и частым концентрически-слоистым внутренним строением. Оолитовое сложение характерно для водных осадков, поэтому наиболее часто встречается в железных и марганцевых рудах, откуда и оолиты чаще всего представлены сидеритом, гематитом, лимонитом, редко пиритом, мангано-кальцитом, пиролюзитом, псиломеланом. Магнетитовый состав принято объяснять слабым метаморфизмом.Цемент может быть существенно рудным (вышеперечисленного состава) или кальцитовым, песчано-глинистым, иногда баритовым. Количественные соотношения цемента с оолитами самые разнообразные. Некоторые авторы в

своих описаниях выделяют сплошные и вкрапленные оолитовые руды. (Рисунок 3.8).

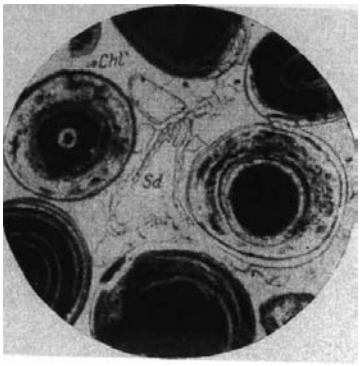


Рисунок 3.8

Полосчатая текстура — характеризуется наличием в руде перемежающихся полос (слоев), ограниченных параллельными плоскостями и различающихся по мощности, структуре, цвету, крупности зерни или составу. Встречается в рудах самого различного генезиса: от магматического до осадочного. При избирательном метасоматозе, а также при метаморфизме осадочных руд полосчатость обычно является результатом первичной слоистости.Полосчатые текстуры возникают иногда в результате деформации руд после их отложения и являются следствием текучести (пластичности) одних минералов и грануляции других.В зависимости от резкости и формы плоскостей ограничения можно выделить линейно-полосчатую или ленточную и складчатую текстуры. (Рисунок 3.9).

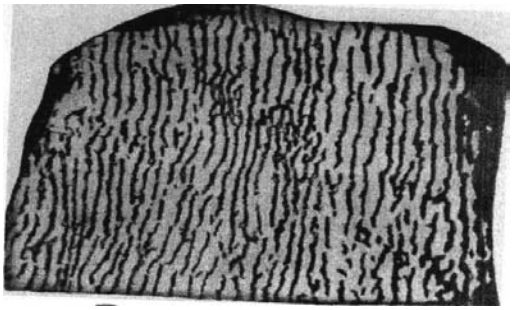


Рисунок 3.9

Решетчатые структуры — широко распространены как в рудах первичного глубинного происхождения, так и рудах вторичных, они характеризуются приуроченностью одного

минерала к пересекающейся системе кристаллографических направлений в другом (минерале-хозяине).

По способу образования выделяют:

а) Решетчатые структуры распада твердых растворов. Возникают они при изменении физико-химических условий устойчивости сложного состава однородных руд. Примерами могут служить титано-держащие железные руды или железосодержащие медно-сульфидные руды.

б) Решетчатые структуры гипогенного замещения образуются в процессе первичного рудоотложения и при выделении вдоль плоскостей спайности раннего минерала (например, сфалерита) позднего (например, золота). Решетчатые структуры супергенного замещения появляются в результате воздействия нисходящих растворов на первичные сульфиды. (Рисунок 3.10).

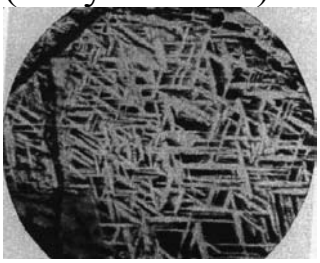


Рисунок 3.10

Сферолитовая структура – характеризует моно- или полиминеральный агрегат, элементарной составляющей которого является сферолит. Этот термин применяется и к зернистым рудам, в которых только один компонент представлен сферолитами. По определению А. Н. Заварицкого, сферолит, в отличие от иных сферических форм минерального вещества, характеризуется радиально-лучистым расположением кристаллических волокон, вытянутых по направлению роста. Сферолитовая структура распространена в сульфидных, окисленных и осадочных рудах и обычно появляется в результате раскристаллизации гелей. (Рисунок 3.11).

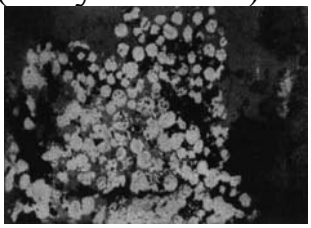


Рисунок 3.11

Цементная структура – характеризуется разновозрастностью составляющих руду компонентов. Чаще всего образуется в результате метасоматического замещения цемента песчаников медносульфидными или марганцевыми рудами. Может наблюдаться коррозия песчинок рудным цементом. Зернистость рудного цемента выявляется структурным травлением. Цементная структура образуется также при метасоматичегком замещении сульфидными рудами магматических пород (Рисунок 3.12).

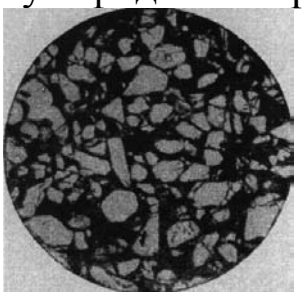


Рисунок 3.12

3.2 Морфология минералов

Минералами называются однородные по составу и строению природные вещества, образовавшиеся в результате физико-химических процессов, протекающих в земной коре. Это твердые, главным образом, кристаллические тела, являющиеся составными частями горных пород и руд.

С химической точки зрения минерал – более или менее однородное тело, отвечающее определенному составу. Физически каждый минерал также характеризуется более или менее определенными, присущими ему качествами: твердостью, плотностью, магнитностью, оптическими свойствами и др.

Особенно широко распространено в природе и технике образование кристаллов при переходе вещества из жидкого состояния в твердое. Здесь надо различать два случая образования кристаллов: из расплава и из раствора. Примером первого случая является кристаллизация магмы. Магма – огненно – жидкий силикатный расплав, содержащий различные химические соединения, в том числе и газы. При медленном остывании магмы образуется множество центров кристаллизации, кристаллы растут, мешая друг другу, и в результате образуется кристаллическая зернистая порода.

Ложные кристаллы – псевдоморфозы. Псевдоморфоза – это кристалл или зерно минерала, замещенного без изменения его формы другим минералом или смесью минералов, отсюда и название фальшивая (псевдо) форма (морфа). У этих образований сохраняются часто даже мельчайшие детали поверхности первоначальных кристаллов и зерен.

По псевдоморфозам можно судить о химических реакциях минералообразования, так как виден одновременно и исходный материал (зерно) и конечный продукт преобразования. Кристаллы пирита в поверхностных условиях замещаются лимонитом – плотной коричневой порошковой массой, смесью различных гидроксидов Fe^{3+}. Кристаллы калиевого полевого шпата замещаются порошковатым агрегатом каолина. Еще один способ образования псевдоморфоз – полиморфные превращения веществ при изменении температуры и давления, они называются параморфозы.

Процесс псевдоморфного замещения минералов может происходить как цепь последовательных химических реакций. Лимонит (смесь гидроксидов Fe^{3+}) по кальциту (карбонат кальция): промежуточной стадией было, видимо, замещение кальцита сидеритом или доломитом (железосодержащие карбонаты) по «цепи» $CaCO_3$>$FeCO_3$>гидроксиды Fe. Бывают также пустотелые псевдоморфозы – отпечатки в горной массе кристаллов растворившихся минералов, место которых осталось незанятым.

В тех случаях, когда вновь образующийся минерал имеет тот же химический состав, что и минерал, по которому он развивается, псевдоморфозы называются параморфозами. Это по существу различные полиморфные превращения минералов: например, превращение высокотемпературного гексагонального кварца (α-кварц) в низкотемпературный тригональный кварц (β-кварц).

Внешний вид минералов различен. Он определяется их размерами и морфологией. Морфология минералов, их облик характеризуется прежде всего степенью изометричности и выражается в различном соотношении их длины, ширины и толщины. В зависимости от этого выделяют морфологические типы и разновидности минералов, которые хорошо демонстрирует нижеследующая таблица.

Таблица 3.6 – Морфологические типы минералов

Удлиненный	**Уплощенный**
Разновидности	
столбчатые	таблитчатые
игольчатые	листоватые
нитевидные	тонкочешуйчатые

По внешней форме можно выделить: изометричные, вытянутые, шестоватые, плоские, таблитчатые и другие минералы.

Изометричные кристаллы или минеральные зерна имеют одинаковые размеры во всех направлениях. Таковы, например, кристаллы граната, магнетита, алмаза, сфалерита, пирита. У минералов удлиненного типа значительно преобладает длина над шириной. Среди них встречаются столбчатые, игольчатые, волокнистые, нитевидные разновидности. Примером удлиненных минералов могут служить турмалин, берилл, хризотил-асбест, гипс-селенит. Уплощенные минералы отличаются тем, что их толщина меньше ширины. Они представлены таблитчатыми, тонкотаблитчатыми, листоватыми и тонкочешуйчатыми разновидностями. Уплощенный вид и его разновидности имеют ильменит, гематит, биотит, хлорит. К промежуточным удлиненно – уплощенным разновидностям принадлежат колумбит, барит, гипс; к уплощенно - удлиненным – сподумен, волластонит.

Внешний облик ограненных минералов или их габитус определяется преобладанием граней тех или иных простых форм. Габитус минералов может быть кубическим, октаэдрическим, тетраэдрическим, призматическим, дипирамидальным и пр. Так, кубический габитус имеют флюорит, пирит, галит; октаэдрический – алмаз, магнетит; тетраэдрический – сфалерит, тетраэдрит; призматический – диопсид, берилл; дипирамидальный – шеелит, циркон и т.д.

Габитус минералов зависит от условий их образования. Так, кварц магматический стадии имеет изометрический облик, образованный гранями двух равномерно развитых ромбоэдров, похожих на

гексагональную дипирамиду без призмы; кварцы удлиненного габитуса (призматические) – низкотемпературные. Короткопризматический или дипирамидальный габитус циркона характерен для щелочных пород и пегматитов, а удлиненно – призматический – для гранитов и гранитных пегматитов. При характеристике формы минералов также следует учитывать штриховку на гранях (кварц, топаз, турмалин и др.), двойники (ортоклаз, касситерит, кварц, гипс и др.), закономерные срастания, скульптуру граней и другие признаки. Все они хорошо помогают диагностике минералов: например, характерным отличием топаза от кварца является его грубая вертикальная штриховка на гранях призмы в отличие от горизонтальной штриховки у кварца.

Совокупность нескольких минералов одного и того же происхождения называется их агрегатом. Наиболее распространены разнообразные зернистые агрегаты, ими сложены все кристаллические породы. Зернистые агрегаты различаются по величине зерен: крупнозернистые, среднезернистые, мелкозернистые. Землистые агрегаты характерны для порошковатых, рыхлых минералов и для осадочных горных пород – глин, бокситов и др. Также выделяют равномернозернистые и неравномернозернистые. Различают шестоватые, волокнистые, пластинчатые, чешуйчатые и другие агрегаты.

В природе минералы в главной своей массе распространены в виде зерен неправильной формы, не имеющих внешних кристаллических очертаний, но обладающих внутренним кристаллическим строением. Хорошо образованные (идиоморфные) кристаллы, ограниченные естественными гранями, встречаются несравненно реже. Обычно минералы образуют сложные агрегаты совместно с другими минералами, сростки, землистые массы, налеты, корки, оолиты и т.д.

Данные о форме зерен еще не дают представления об относительной или абсолютной величине минеральных выделений. При одинаковой степени идиоморфизма зерна одного и того же минерала или различных минералов могут быть очень крупными или очень мелкими. Размеры зерен минералов зависят от многих физико-химических факторов и прежде всего от концентрации вещества, количества центров и скорости кристаллизации. Очень важное значение имеют данные о размере зерен для выбора методов технологической переработки руды. Морфология изучает формы минералов, которые встречаются как в виде

отдельных кристаллов (монокристаллов), так и в виде закономерных сростков (двойников) и незакономерно сросшихся зерен (агрегатов).

Морфологические особенности монокристаллов. Сростки

Особенности кристаллической структуры минералов отражаются на их кристаллографических формах.

Известны крупные кристаллы кварца, барита, галита, кальцита, флюорита, слюды и др. Однако не все минералы, имеющие кристаллическое строение, встречаются в виде хорошо ограненных крупных кристаллов. Значительно чаще образуются мелкокристаллические агрегаты, доступные для наблюдения под микроскопом лишь при сильных увеличениях, например, каолинит, бемит и др. Известны минералы, вообще не встречающиеся в кристаллическом состоянии (опал, аллофан).

В природе имеются весьма разнообразные формы кристаллов одного и того же минерала. На кристаллическом индивиде минерала проявляются, развиваясь преимущественно неравномерно, различные грани. Соответственно этому кристаллы приобретают разнообразный облик: или они равномерно развиты по различным направлениям (изометричные формы) или же образуют таблитчатые, пластинчатые, игольчатые, волокнистые, скелетные, дендритовидные, чешуйчатые, столбчатые и др.

Даже в том случае, когда в комбинациях кристаллов участвуют одни и те же простые формы, неодинаковая степень развития граней приводит к формированию различного облика. Выделяется 4 наиболее развитых типа облика кристаллов: изометричный, пластинчатый, призматический, и пирамидальный.

Призматический – типичен для кристаллов средней категории. Например, кристаллы турмалина, рутила, апатита, антимонита, кальцита.

Пирамидальный или дипирамидальный – также характерен для кристаллов средней категории и кристаллов ромбической сингонии низшей категории, например, корунд, циркон, молибденит.

Изометричный – характерен для кристаллов одинаково или почти одинаково развитых в трех взаимно перпендикулярных направлениях. К этому типу относятся все кристаллы кубической сингонии и кристаллы других сингоний у которых осевые отношения близки. Примером могут служить ромбододекаэдры граната, октаэдры магнетита, кубы пирита.

Пластинчатый облик характерен для кристаллов со значительно развитыми парами пинакоидальных граней, т.е. для кристаллов низших и средних сингоний (кристаллы барита, гематита, берилла, гипса).

Ниже в таблице приводятся характерные формы кристаллов распространенных рудных минералов.

Таблица 3.7 – Характерные формы кристаллов некоторых рудных минералов

Минералы	Форма зерен
антимонит	копьевидные, призматические кристаллы
арсенопирит	столбчатые или призматические кристаллы, в поперечнике имеющие форму ромбов

Друзы – сростки хорошо сформированных кристаллов, прикрепленных к общему основанию. В том случае, когда соприкасающиеся кристаллы вытянуты более или менее параллельно, агрегаты называются гребенчатыми или щетковидными. Ориентировка отдельных кристаллов определяется законом геометрического отбора. Однообразная ориентировка наблюдается при эпитаксии (нарастание кварца на ортоклаз).

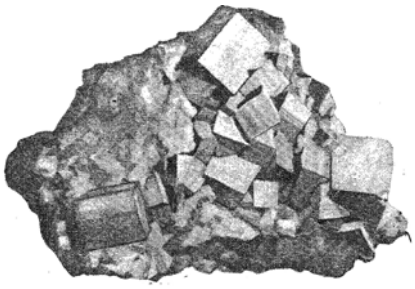


Рисунок 3.13 – Друза кристаллов пирита

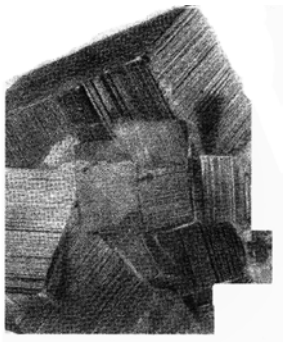


Рисунок 3.14 – Друза кристаллов пирита. Березовское месторождение, Урал

Многих покоряет изящество и ни с чем не сравнимое своеобразие друз. Они являются украшением музеев, личных коллекций.

Именно в друзах вырастают самые бездефектные, совершенные, красивые и крупные кристаллы минералов.

Именно в этой форме обнаружены уральские самоцветы – аметисты, топазы, аквамарины (бериллы), шерлы (турмалины), драгоценное, оптическое и пьезооптическое сырье: кварц, флюорит, кальцит. Различают друзы нарастания и друзы

перекристаллизации. В виде друз встречаются такие важные в практическом отношении минералы, как кварц (пьезокварц, горный хрусталь), пирит, барит, флюорит, берилл. При этом наибольший интерес для промышленности представляют «головки» кристаллов, обладающие наиболее ценными оптическими свойствами (Рисунок – 3.13).

Секреции – минеральные агрегаты, заполняющие пустоты в горных породах. Заполнение пустот происходит постепенно от периферии к центру. Обычно секреции имеют овальную форму. Если размер секреции более 1-2см в диаметре, то она носит название жеоды. Мелкие секреции называются миндалинами, они характерны для некоторых эффузивных горных пород. Дендриты имеют ветвящееся древовидное строение и похожи на отпечатки растений (особенно папоротников). Они образовались благодаря проникновению растворов по тонким волосным трещинам породы. Особенно часто встречаются черные дендриты окислов марганца, а также самородной меди. Внутри крупных секреций нередко сохраняется полость, стенки которой покрыты друзами кристаллов или натечными образованиями, называемыми жеодами. Последние характерны для горного хрусталя, гипса, кальцита, агата, самородной меди. Особенно часто встречаются черные дендриты оксидов марганца (Рисунок - 3.14).

Конкреции (стяжения, желваки) – образования округлой, (шаровидной) яйцеобразной формы, имеющие радиально – лучистое, иногда концентрически – скорлуповатое строение. В центре конкреций часто находятся органические остатки, вокруг которых концентрировалось вещество. Предполагают, что образование конкреций связано с притоком вещества от периферии к центру, при этом рост кристаллов направлен от центра к периферии. Возникают конкреции в рыхлых осадочных породах и особенно характерны для фосфорита, сидерита, марказита. Размер их от миллиметров до первых метров (Рисунок – 3.15).

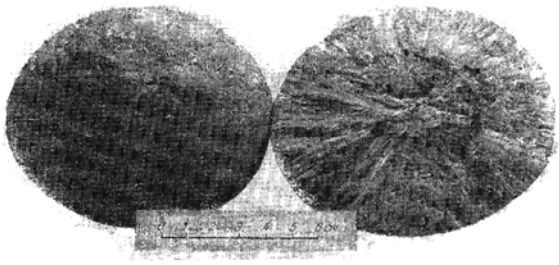


Рисунок 3.15 – Конкреции фосфоритов

Оолиты представляют собой агрегат мелких шариков, размер которых может быть от 0,05мм до 2-3см в диаметре (Рисунок – 3.16). В разрезе шарики имеют концентрическое (реже радиальнолучистое) строение; в центре иногда можно видеть песчинку или обломок.

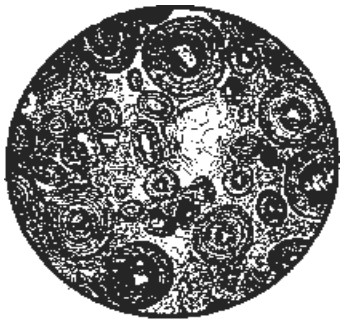


Рисунок 3.16– Оолиты, сложенные хлоритом

Оолиты образуются в водной среде, когда в определенных условиях растворенное вещество начинает группироваться вокруг песчинок, пылинок или пузырьков воздуха. Оолиты характерны для арагонита (гороховый камень), (Рисунок – 3.17), боксита, лимонита (бобовые руды). В последнее время к оолитам относят все минералы, имеющие «оолитовое» строение, хотя происхождение их и отличается от описанного (например, магномагнетитовые руды Англо-Илимских месторождений).

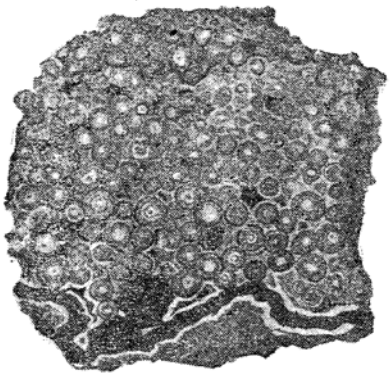


Рисунок – 3.17 «Гороховый камень» из арагонита

Псевдоолиты (бобовины) – образования по форме аналогичные оолитам, но не имеющие концентрически – скорлуповатого строения. Они характерны для бурых железняков.

а) б) в)

а) почковидные формы арагонита; б) натеки бурого железняка; в) зернистый агрегат полевых шпатов и роговой обманки.

Рисунок 3.18 – Морфология минеральных агрегатов

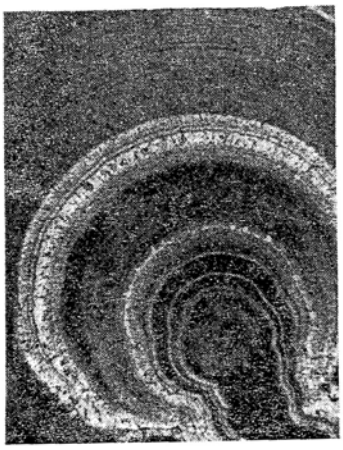


Рисунок 3.19 – Сферолиты халцедона

Сферолиты – шарообразные тела радиально – лучистого строения, обычно возникающие в результате кристаллизации вулканических стекол и гелей. Каждое волокно сферолита соответствует вытянутому кристаллу. В виде сферолитов обычно образуется гидроборацит. Часто сферолиты имеют концентрически зональное строение, обусловленное неодновременным появлением зародышей кристаллов во время роста агрегатов.

Дендриты – древовидные агрегаты, напоминающие листья папоротника. Они образуются при быстрой кристаллизации веществ в тонких трещинах или вязкой среде (дендриты манганита, лимонита в мокрой глине). Дендриты также характерны для ковких металлов (золото, медь, серебро) (Рисунок – 3.20).

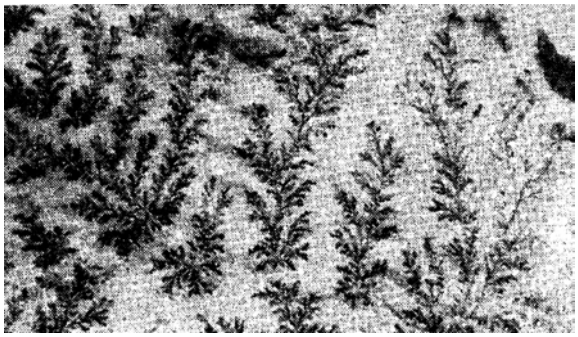


Рисунок 3.20 – Дендриты окислов марганца на окременелом известняке. Кадаинское месторождение, Забайкалье

Натечные формы – плотные массы, часто причудливых очертаний: почковидные (малахит, халцедон), червеобразные (кальцит), сталактиты, сталагмиты (кальцит) (Рисунок- 3.21). Они образуются либо за счет раскристаллизации гелей, либо путем постепенного обволакивания, натекания нового вещества на уже отложенное вещество минерала из протекающих растворов.

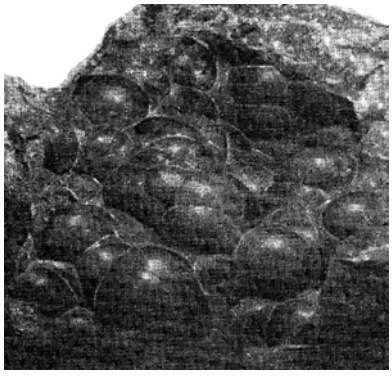


Рисунок 3.21 – Почковидные агрегаты халцедона. Закавказье

Зернистые агрегаты – агрегаты, сложенные кристаллическими зернами. В зависимости от величины такие агрегаты могут быть:

- весьма крупнозернистые (средний размер зерен больше 10мм);

- крупнозернистые (5-10мм);
- среднезернистые (1-5мм);
- мелкозернистые (до 1мм, различимы в лупу или микроскоп в шлифах), тонкозернистые, неразличимые в лупу.

Зернистые агрегаты пользуются наибольшим распространением. Ими сложены все полнокристаллические магматические породы.

Параллельно шестоватые и волокнистые агрегаты обычно образуются в трещинах. Это – жилки шелковистого гипса, серпентин – асбеста, шестоватого кальцита. В одних случаях эти агрегаты кристаллизуются в открытых трещинах: сначала на стенках по принципу геометрического отбора нарастают друзы; разрастаясь навстречу друг другу они смыкаются и образуют параллельно – шестоватые или волокнистые агрегаты. В других – такие агрегаты формируются в постепенно приоткрывающихся трещинах, когда скорость приоткрывания меньше или равна скорости роста индивидов. Сначала трещина заполняется зернистым агрегатом минерала в виде сплошной тонкой жилки. Затем, по мере открывания зерна, упираясь друг в друга, могут расти только вслед за раздвигающимися стенками трещины. Они постепенно вытягиваются параллельно стенкам, формируя параллельно – шестоватый или волокнистый агрегат. В иных случаях параллельно – шестоватые (чаще волокнистые) агрегаты образуются при разрастаниях их от волосных трещин в обе стороны, рост идет по принципу образования агрегатов первого и второго рода.

Такая морфология характерна для асбеста. Асбесты – это группа параллельно – волокнистых агрегатов, сложенных серпентином или амфиболами. Прядильные свойства тончайших (0,001мм и менее) и упругих волокон асбеста кислото – жароустойчивость и другие ценные свойства позволяют употреблять их для многих важнейших и ничем не заменимых изделий. Особенно важен афмибол – асбест, применяемый в космической технике.

Рисунок 3.22 – Концентрически-зональное строение малахита. Урал

Землистые массы – мягкие, мучнистые, легко растирающиеся между

пальцами образования, напоминающие по внешнему виду рыхлую землю. Они представляют собой аморфные формы минералов. Землистые массы черного цвета (гидроокислы марганца) называют сажистыми, а бурого или желтого цвета – охристыми.

Налеты и примазки – тонкие пленки минералов на поверхности кристаллов других минералов или горных пород. Срез таких агрегатов показывает их зональное строение, что можно объяснить послойным отложением веществ из растворов, в том числе и из коллоидных Примеры: примазки малахита и азурита, гидроокислов железа (Рисунок – 3.22).

Морфология агрегатов

Когда мы рассматриваем поверхность излома гранита, мрамора, то первое и общее, что бросается в глаза – зернистость этих агрегатов. Основатель геохимии: академик В.И. Вернадский в 1904 году так формулировал роль этого признака: «…зернистость строения есть наиболее характерный, резкий признак твердого тела, отличающий его от жидкости и газа».

Агрегаты – это множества зерен. Каждое из них может иметь не любую форму, а только компромиссную, поскольку оно окружено и соприкасается одновременно с несколькими зернами – соседями – с тем же минералом (мономинеральные агрегаты) или с другими (полиминеральные агрегаты). Форма совместной границы между зернами и обуславливает форму их самих. Она весьма разнообразна: изометричные, округлые зерна – в мраморе; пластинчатые – в слюдяных породах; призматические – в пироксенитах; игольчатые, волокнистые – в асбестах. Особенно «витиевата» форма совместных границ зерен, когда агрегат сложен одновременно несколькими минералами – например, кальцитом (изометричные зерна), слюдой (пластинки) и роговой обманкой (призмы). Большинство агрегатов из разных минералов заполняют пространство без промежутков, целиком. Поэтому и их границы становятся очень сложными, извилистыми. Каждому зерну соответствует объемная ячейка – некоторый неправильный выпуклый многогранник, или «сот», как выражался немецкий геометр В. Бляшке. С формой зерен связано одно из важнейших понятий минералогии – понятие о структуре агрегата.

При изучении структуры руд для оценки обогатимости определяют форму и размеры рудных минералов зерен и их агрегатов, состав и размер включений в них других минералов. Размер рудных минералов (рудной вкрапенности) обуславливают необходимую крупность измельчения для оптимального раскрытия минералов. Часто встречаются разнообразные зернистые структуры (равномерно-зернистая, неравномерно-зернистая и др.), также колломорфная, друзовая, кристалло-графически ориентированная и др. Если чередуются участки с различной структурой, то говорят о текстуре агрегата.

Текстура полезных ископаемых характеризуется формой, размерами и пространственным расположением различных минеральных агрегатов. Текстуры массивные (например, для богатых руд хромита, сложенных практически целиком одним минералом), вкрапленные (при наличии вкрапленности промышленно ценных минералов или их небольших агрегатов в массе непромышленного агрегата), пятнистые (при распределении различных агрегатов в виде отдельных сравнительно изометричных агрегатов, т. е. «пятен» в плоскости сечения), полосчатые, сетчатые и др. Для брекчиевых текстур характерно наличие остроугольных обломков одного агрегата в другом, его цементирующем. Для брекчиевидных текстур типичны несколько округлые, как бы окатанные обломки. Если обломки обрастают серией вновь образованных зон последующего по времени агрегата, возникают кокардовые текстуры. Кроме того, имеются сланцеватые, плойчатые (как бы микроскладчатые), колломорфные, а также кавернозные, ячеистые, порошковатые и др. Структурно-текстурным анализом можно выделить последовательность формирование тел полезных ископаемых. Более мелкие отрезки времени связанны с однотипным характером процесса. Данные, полученные при изучении текстуры руд, используют для обоснования принципиальной схемы обогащения дробленой руды.

Текстуру руд изучают при макроскопическом исследовании. Для технологической оценки руды важно определить количественные соотношения рудных и нерудных текстурных компонентов (слоев, линз, жил, обломков в брекчиях и т.д.) Количественную оценку текстур осуществляют измерением

мощности слоев, линз, жил или размеров пятеобломков брекчий и определением соотношения суммарных мощностей отдельных компонентов.

Часто встречаются, например, такие структуры: равномерно – зернистая (зерна примерно одного диаметра), неравномерно – зернистая, порфировая призматически – зернистая (все зерна имеют форму, близкую к столбчатой), друзовая и т.п. Если же чередуются участки с разной структурой, то говорят о текстуре агрегата. Вот наиболее характерные виды текстур: полосчатая, сланцеватая, пятнистая, прожилковая, брекчиевая и пр.

Структура и текстура агрегатов обуславливает такие физико-механические свойства горных пород: их крепость, упругость, пластичность, полируемость – это совершенно понятно, поскольку прочность сцепления зерен друг с другом и есть прочность агрегата в целом. Структура и текстура агрегатов – источники самой обильной и разносторонней информации об их генезисе, форма записи этой информации. Отсюда черпает свои исходные данные целое семейство наук о Земле: геохимия, литология, петрография. В конечном счете, текстура и структура руды обуславливают метод обогащения: магнитный, гравитационный, флотационный или комбинированный. От текстуры зависят начальная и конечная крупности дробления. Структура влияет на число стадий измельчения и крупности конечных продуктов по стадиям (для обеспечения максимального раскрытия основных рудных минералов).

По условиям образования (генезису), форме и размерам рудных залежей вещественному составу, текстуре и структуре руд месторождения выделяются промышленные типы месторождений.

3.3 Диагностика минералов и углей

Огромное количество кристаллических веществ, благодаря своим физическим свойствам, находят широкое применение в технике, промышленности и быту. Исключительно высокая твердость корунда и алмаза используется в абразивной промышленности и буровой технике, замечательные электрические свойства кварца и турмалина находят широкое применение в

электронике и радиотехнике, кристаллы кальцита и флюорита из-за особых оптических свойств, применяются при конструировании многих оптических приборов. Все это говорит о важности для горных инженеров, металлургов, экономистов горного и геологоразведочного дела знания хотя бы в самых общих чертах главнейших физических свойств кристаллов. На многих физических свойствах основана диагностика – распознание минералов.

Физические свойства кристаллов связаны с их симметрией, поэтому основательное знакомство с учением о симметричности кристаллов совершенно необходимо для понимания физики кристаллов. При рассмотрении вопросов физической кристаллографии главное внимание следует обратить на те физические свойства, которые наиболее наглядно проявляют связь с симметрией. К таким свойствам можно отнести: механические, оптические, тепловые и электрические. Связь эта объясняется тем, что физические свойства строго подчиняются геометрии внутреннего строения кристаллов и законам их симметрии.

Современная кристаллография широко использует при описании физических свойств кристаллов математические методы. Целый ряд физических свойств кристаллов, зависящих от направления (анизонтропности), в современной науке описываются векторными и тензорными величинами. Важной задачей является изучение различных физических свойств кристаллов в разных термодинамических условиях.

Многие физические свойства кристаллов весьма чувствительны к внешним воздействиям, поэтому можно путем подбора и комбинирования условий создавать кристаллы с заданными свойствами. Последние широко используются во многих отраслях современной техники.

Бурно расширяющиеся области использования и применения физических свойств кристаллов способствуют превращению современной физики кристаллов в самостоятельную, быстро развивающуюся научную дисциплину.

Основы физической кристаллографии рассматриваются в приложении к кристаллическим телам природного происхождения – минералам.

Минералы, как физические тела, обладают широким разнообразием свойств, таких, как цвет, твердость, блеск, плотность и др. В зависимости от химического состава и кристаллической структуры эти свойства у различных минералов проявляются по разному. Каждый минерал характеризуется какими-либо особыми признаками, по которым его можно отличить от других.

Многие минералы можно совершенно точно определить по комплексу характерных физических свойств, не прибегая к более трудоемким исследованиям, как, например, к химическому анализу, рентгеновскому анализу и др. Особенно это относится к оттенкам цвета, густоте окраски, характеру излома, блеску и пр. В далеком прошлом, когда еще ничего не было известно о химическом составе минералов, «рудознатцы» по этим особенностям безошибочно находили нужные им полезные ископаемые. Например, это минерал «жирен на ощупь», а другой «зело ковок».

Однако многие минералы для точного определения требуют более детальных исследований, в частности применения паяльной трубки, каче-ственных химических реакций, микроскопии, определения механических и других свойств.

Физические свойства минералов

Набор, сочетание физических свойств у каждого минерального вида неповторимы. В первую очередь следует использовать самый точный прибор – собственные глаза. Именно через глаза человек получает 80 – 90% внешней информации. Они поразительно чувствительны, способны увидеть огонек свечи на расстоянии 200 км и воспринять вспышку света длительностью всего 0,0003 секунды. Многие минералы названы именно по этому признаку. Например, лазурит, азурит (азур – «лазурь» по-французски, гематит от греческого «гематикос» – кровавый, родохрозит от греческого «родос» – розовый и т. д).

Цвет минералов, окраска минералов одно из важнейших физических свойств минералов, отражающее характер взаимодействия электромагнитного излучения видимого диапазона с электронами атомов, молекул и ионов, входящих в состав

кристаллов, а также с электронной системой кристалла в целом. В минералогии окраска – один из главных диагностических признаков природных соединений, имеющий большое значение в геолого-поисковой практике и для определения минералов. Цвет драгоценных и поделочных камней является одной из основных качественных (ювелирных) их характеристик. Различают цвет минералов в кристаллах и штуфах, в прозрачных шлифах (под микроскопом), в полированных аншлифах (в отражённом свете), цвет черты (тонкого порошка минерала) и т.д.

При описании цвета минерала обычно прибегают к сравнительной оценке, сопоставляя его с цветом каких-либо широко известных предметов и веществ или минеральных «цветовых эталонов» (киноварно-красный. изумрудно-зелёный и др.). Эталонами для характеристики цвета рудных минералов служат цвета металлов или сплавов – оловянно-белый (арсенопирит), стально-серый (молибденит), латунно-желтый (халькопирит), медно-красный (самородная медь) и т.д. Разрабатываются методы объективной оценки цвета минералов (особенно драгоценных камней) с помощью стандартных колориметрических характеристик. Многие минералы обладают свойством менять свой цвет (особенно в поляризованном свете) по различным кристаллографическим направлениям или в зависимости от цветовой температуры освещающего их источника излучения.

Выделяются три основные группы цвета минералов. Идиохроматическая (собственная) окраска минералов обусловлена особенностями входящих в их состав химических элементов (видообразующих или примесных, играющих роль хромофоров), характером электронной, зонной структуры кристаллов, а также наличием дефектов в кристаллах (вакансий, межузельных атомов и т.п.). По типу оптического поглощения различают несколько подгрупп идиохроматических окрасок.

Окраска металлических и ковалентных соединений (самородные металлы, сульфиды и их аналоги и др.) обусловлена межзонными оптическими переходами электронов и связанными с ними максимумами отражения (металловидные цвета – пирит,

золото и др.) или фундаментальной полосой поглощения (киноварь, куприт и т.д.).

Окраска, обусловленная электронными переходами между различными ионами («переносом заряда»), в том числе между ионом металла и лигандами и между разнозарядными ионами металлов. Таковы, например, минералы трёхвалентного железа, хроматы, ванадаты и молибдаты – крокоит, ванадинит, вульфенит и др., минералы, содержащие одновременно разнозарядные ионы (кордиерит, вивианит, аквамарин и др.).

Окраска, связанная с ионами переходных металлов (TI, V,Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu), характерна для изумруда, рубина, родонита, малахита. Лантаноиды и актиноиды являются хромофорами минералов редкоземельных элементов и уранила. Окраска обусловлена электронными переходами между d- или f-уровнями хромофорных ионов.

Радиационная окраска связана с образованием под действием естественных ионизирующих излучений электронно-дырочных центров окраски (синяя и фиолетовая окраски галита, флюорита).

Аллохроматическая («аллос» по-гречески чуждый) окраска вызвана механическими примесями, чаще всего включениями окрашенных минералов, иногда – пузырьков жидкостей, газов и т.п., особенно наглядно аллохроматическую окраску минералов можно продемонстрировать на примере кварца SiO_2.

А. Кварцы минералогически чистые.

а) *прозрачные*: 1) Горный хрусталь – бесцветен, 2) Аметист - фиолетовый, 3) Цитрин – золотистый, 4) Раухтопаз – дымчатый.

б) *малопрозрачные*: 5) Розовый кварц, 6) Морион (черный за счет тонкорассеянной органики).

Б. Кварцы с включением других минералов.

1) Празем–зеленоватый кварц с включениями иголочек актинолита или чешуек хлорита. 2) Авантюрин–тонкозернистый буровато-красноватый с мерцающим золотым отливом от блестящей слюды и железной слюды. 3) Кошачий глаз–зеленоватый с шелковистым отливом от включений асбеста и т.д.

С другой стороны, элементы-хромофоры могут быть в виде примесей. Примесь хрома, например, вызывает зеленую окраску в изумруде (разновидность берилла) и фуксите (разновидность

мусковита), красную окраску в рубине (разновидность корунда) и пиропе (минерал из группы гранатов). Однако, для многих минералов причины окраски еще неясны.

Псевдохроматическая окраска обусловлена процессами дифракции света и интерференции света, а также рассеяния, преломления, полного внутреннего отражения падающего белого света, связанными с особенностями строения минеральных образований (закономерное чередование фаз различного состава в иризирующих лабрадорах и форстеритах, солнечном и лунном камнях; глобулярное строение опалов и т.п.) или состоянием поверхностного слоя кристаллов (различного рода побежалости – радужные плёнки на борните, халькопирите, пирите, ковеллине и др.). Исследование природы окраски минералов помогает судить о кристаллохимических и генетических особенностях минералов и имеет решающее значение для синтеза высококачественных аналогов природных самоцветов.

Цвет углей – характер цветовых оттенков углей. Указывает на принадлежность углей к определенному генетическому типу, а также к определенной стадии углефикации (бурые угли коричневого и черного цвета, каменные – преимущественно черного цвета, антрацит черного цвета с сероватым или желтоватым оттенками.) Очень важной характеристикой является цвет черты угля.

Побежалость. Иногда, кроме окраски всего минерала, его тонкий поверхностный слой имеет еще дополнительную окраску. Это явление называется побежалостью. Побежалость искажает основной цвет минерала, часто до его полной неузнаваемости. Побежалость бывает пестрая – из нескольких цветов, как у борнита или халькопирита, когда поверхность его переливается ярким синим, красным или пурпурным цветами. Иногда побежалость какого-нибудь одного цвета, например золотистая, как у бурого железняка. Это явление объясняется призацией тонких пленок, покрывающих в результате окисления свободную поверхность минерала.

Цвет черты или окраска минералов в порошке. Этот признак является более постоянным (по сравнению с цветом) и более благонадежным диагностическим признаком. У многих

минералов, в первую очередь рудных, из классов «сульфиды, оксиды и подкласса самородные металлы», окраска в массе (цвет) совпадает с окраской в порошке (черта). Например, у мегнетита цвет и черта черные, у киновари – красные.

Для других минералов наблюдается резкое отличие между цветом минерала и цветом черты. Например, у пирита цвет желтый, а черта черная; у гематита цвет минерала стально-серый или черный, а черта красная. Большинство прозрачных или полупрозрачных минералов обладают бесцветной или слабоокрашенной чертой. Поэтому наибольшее диагностическое значение цвет черты имеет для непрозрачных или полупрозрачных, резко окрашенных соединений.

Цвет минерала в плотных разностях отличается от окраски в порошковатых разностях. Например, лимонит в плотных массах черный, а в порошковатых (в виде охры) желто-бурый. Черта минерала проверяется на фарфоровой пластинке, следует иметь в виду, что твердые минералы (более 5 по шкале Мооса) обычно порошка на «бисквите» не дают.

Твердость минерала. Под твердостью подразумевается способность минерала сопротивляться внешнему воздействию – давлению, царапанию, шлифованию.

Роль этого признака знали еще древние ювелиры. Довольно точно охарактеризовал алмаз, самый твердый минерал, знаменитый ученый древности Аль-Беруни (973–1048): «… алмаз оказывает действие на яхонт (корунд), действующий, в свою очередь, на то, что ниже его, а сам не подвергается воздействию со стороны чего-либо, что выше…» Положение его (алмаза) среди минералов подобно господину, которому подчиняются все…»

В минералогической практике применяется простой способ определения твердости минерала царапанием одного минерала другим, т. е. устанавливается относительная твердость минерала. Для сравнения пользуются шкалой Мооса, состоящей из десяти минералов, расположенных по мере увеличения твердости (1, 2, 3 … 10). Минерал, обладающие более высокой твердостью, царапает, оставляя след на менее твердом минерале.

1. Тальк $Mg_3\ [Si_4O_{10}]\ [OH]_2$
2. Гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$

3. Кальцит $CaCO_3$
4. Флюорит CaF_2
5. Апатит $Ca_5 [PO_4] (F, OH, Cl)$
6. Полевой шпат (ортоклаз) $K [AlSi_3O_3]$
7. Кварц SiO_2
8. Топаз $Al_2 (F, OH)_2 \{Si_6O_{18}\}$
9. Корунд Al_2O_3
10. Алмаз C

Профессор Н.К. Разумовский предложил следующие заменители шкалы Мооса, особенно полезные во время полевых исследований:

1. Карандаш (М, ТМ)
2. Игла алюминиевая
3. Монета медная
4. Игла железная мягкая
5. Стекло оконное
6. Лезвие ножа из хорошей стали
7. Напильник

Нужно помнить при этом, что единицы твердости в шкале Мооса – относительные. Это означает, что алмаз (микротвердость 10000 кг/мм^2), например, тверже талька (43 кг/мм^2) не в десять раз, а значительно больше ≈ 232 раза.

Микротвердость (абсолютная твердость) очень важное свойство минералов, знание которого необходимо для обогащения и переработки полезных ископаемых. По тестам Кнупа или Викерса алмазная пирамидка под действием определенной нагрузки вдавливается в полированную поверхность образца, а затем измеряется отпечаток, оставленный алмазом и расчитывается твердость в кг/мм^2. Более точное определение твердости минералов осуществляется с помощью специальных приборов – твердометров.

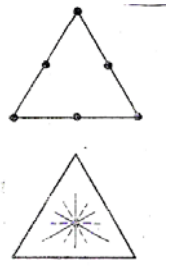


Рисунок 3.23 – Плоская сетка (III) алмаза – грань октаэдра.

Твердость кристаллов тесно связана с их внутренним строением и симметрией. Иллюстрируем это двумя примерами.

1. У кристаллов многих веществ наблюдается четкая анизотропия твердости (зависимость твердости от направления), как

проявление одного из основных свойств кристаллического вещества. Так, для минерала дистена (по-древнегречески «двояко твердый») анизотропия твердости выражена особенно резко. Встречается этот минерал обычно в виде удлиненных пластинчатых кристаллов. Вдоль удлинения твердость его в пределах 4 – 5 (апатит царапает, а флюорит не царапает), перпендикулярно удлинению твердость дистена 6 – 7 (кварц царапает, полевой шпат не царапает).

2. Твердость кристаллов зависит от их строения. Наиболее густо усеянные атомами плоскости – грани обычно обладают большей твердостью, и наоборот. С давних пор ювелиры, обрабатывающие алмаз, знают, что труднее всего алмазы шлифуются по граням октаэдра. Именно эти грани обладают наибольшей плотностью расположения атомов. Твердость меняется и в пределах одной грани в зависимости от линейной плотности распределения атомов по отдельным направлениям. На рисунке 3.23 показано изменение твердости по различным направлениям грани алмаза в зависимости от линейной плотности расположения атомов. На рисунке 3.23 – плоская сетка (III) алмаза – грань октаэдра. Сплошной линией показаны наиболее выгодные для шлифования направления, пунктирной линией – наименее. Это полезное свойство минералов издревле использовалось и используется человеком: первые орудия труда и первые оружия из кремня, жернова из песчаника, точильные круги из корунда и граната, алмазные резцы для ювелирных работ.

Для углей твердость – свойство оказывать сопротивление при деформации разрушения. В соответствии с этим, для определения величины твердости используются методы: царапания, вдавливания, шлифования, отдачи и др. Микрокомпоненты угля обладают разной твердостью. Так, для витринита с изменением степени метаморфизма наблюдается возрастание твердости: от бурых (10-20 кг/мм^2) до стадии Д и Г (37-43 кг/мм^2), и после снижения в стадиях Ж, К, ОС (30-33 кг/мм^2), новое повышение для тощих (47 кг/мм^2) и антрацитов (100 кг/мм^2).

Блеск минералов. Блеск минералов это – способность минералов отражать падающие на него световые лучи. Этот отраженный свет и создает впечатление блеска тем больше, чем

больше разность между скоростями света при переходе его в кристаллическую среду, т. е. чем больше показатель преломления минерала. Блеск не зависит от окраски минералов. Макроскопически блеск не может быть определен количественно и критерии, используемые для его описания, основываются в значительной мере на субъективных сравнениях с отражением света известных минералов, однако они почти точно укладываются в определенную ступенчатую шкалу. По этому свойству все минералы разделяются на 2 группы – минералы с металлическим блеском и минералы с неметаллическим блеском.

I группа – минералы с металлическим блеском. Это обычно рудные минералы (сульфиды, оксиды тяжелых металлов, самородные металлы) Металлический блеск характерен для минералов с показателями преломления выше 3. В порядке возрастающей отражательной способности выделяется пиролюзит, молибденит, галенит, халькопирит, а также некоторые чистые металлы: золото (N=0,36), серебро (N=0,18) и медь (N=0,64). Это свойство настолько характерно для важных, в практическом отношении, минералов, что многие из них имеют синонимы, отражающие этот признак: галенит (свинцовый блеск), гематит (железный блеск), халькозин (медный блеск). Близким к металлическому блеску обладают прозрачные и полупрозрачные минералы с показателями преломления близким к 3. Такой блеск принято называть полуметаллическим (куприт, гематит, киноварь).

Ко II группе относятся минералы с неметаллическим блеском. Где преобладают (более 70%) минералы со стеклянным блеском. Стеклянный блеск имеют минералы с N=1,3 – 1,9. Это обычно светлоокрашенные минералы, у которых блеск похож на блеск стекла (многочисленные галоиды, карбонаты, силикаты и другие кислородные соли, оксиды легких металлов). Например, кварц, флюорит, корунд и другие.

Минералы с алмазным блеском. Таким блеском обладают минералы с высоким лучепреломлением и светорассеиванием. Визуально это очень яркий искрящийся блеск, но не похожий на блеск металла. N=1,9 – 2,6. В качестве примеров можно отнести касситерит (N=1,9 – 2,08), сфалерит (N=2,3 – 2,4), алмаз.

Выделяют также минералы с жирным блеском. Это обычно мягкие минералы с гладкой поверхностью, визуальное ощущение – держишь в руке какое-то жировое вещество. Таким блеском обладают самородная сера, серпентин, тальк, каолин. Смоляной блеск характерен для многих аморфных веществ, в т.ч. для радиоактивных минералов.

Для некоторых элементов, обладающих ярко выраженной ориентировкой элементов строения в одном или двух измерениях в пространстве, наблюдается шелковистый блеск (асбест), волокнистый гипс-селенит.

И, наконец, для тонкокристаллических, тонкодисперсных масс характерна матовая поверхность, т. е. минерал не блестит. Примерами могут служить: каолин, лимонит, псиломелан, кальцит (мел).

Спайность минералов. Спайностью называется свойство кристаллов раскалываться по определенным плоскостям. В разных минералах оно проявляется по-разному. Некоторые материалы имеют способность раскалываться по определенным направлениям с образованием плоской зеркальной поверхности. Это их свойство называется спайностью, а плоскости по которым они раскалываются, называют плоскостями спайности. Различные минералы имеют спайность различной степени совершенства. Спайность принято выражать следующей шкалой:

1. Спайность весьма совершенная – графит, слюда, молибденит способны делиться на тончайшие листочки или чешуйки; у таких минералов очень трудно получить неровный излом.

2. Спайность совершенная – раскалывание минералов происходит преимущественно по спайности; у таких минералов трудно получить неровный излом. Кальцит легко раскалывается на ромбоэдрические осколки, спайность в трех плоскостях; галит – на кубики, спайность тоже в трех плоскостях; сфалерит имеет спайность по плоскостям ромбического додекаэдра (двенадцатигранника).

3. Спайность ясная (средняя) – на кусках минерала наблюдается с трудом, поверхность излома чаще всего раковистая. Такой спайностью обладают полевые шпаты, роговые обманки и

др. На кристалле одновременно видны и плоскости спайности, и участки с неровным изломом.

4. Спайность несовершенная (апатит, сера) практически отсутствует; поверхность излома таких минералов всегда неровная.

5. Спайность весьма несовершенная, то есть обнаруживается очень редко (корунд, магнетит).

Сказанное строго относится лишь к кристаллическим веществам, построенным из атомов (в электрическом отношении нейтральных частиц). В кристаллических веществах, состоящих из заряженных атомов-ионов, взаимосвязь спайности и структуры оказывается более сложной. Она зависит не только от расстояний между частицами, но и от сил электрического взаимодействия заряженных частиц (ионов).

Спайность, как и твердость, связана с внутренним строением кристаллов. Поясним это на примере. На рисунке 3.24 изображены две системы плоских сеток A*B* и BC, ориентированных перпендикулярно плоскости чертежа. В системе параллельных плоских сеток AB частицы чередуются более часто, чем в плоских сетках BC. Частицы относительно друг друга удерживаются силами физико-химических связей. Совершенно очевидно, что сетка, изображенная на чертеже, легче разрывается параллельно, направлению 1-1, чем параллельно направлению 2–2. В первом случае расстояния между сетками, параллельными AB, сравнительно большие, поэтому силы связи между ними ослаблены. Сетки BC более сближены, поэтому связь между ними оказывается более сильной, следовательно, спайность будет лучше проявляться.

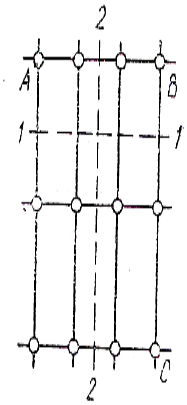


Рисунок 3.24– Спайность кристалла. Проявляется

От спайности минералоги отличают отдельность – способность кристаллов распадаться на не очень ровные тонкие пластины, параллельные каким-либо его граням (кристаллы корунда, магнетита).

При раскалывании кристаллов с различными видами спайности и отдельности обнажаются поверхности излома:

1. ровные – плоские участки; 2. ступенчатые – ступеньки с ровными плоскостями; 3. неровные; 4. занозистые – с острыми зубчатыми уступами (роговая обманка); 5. раковистые – у кварца, часто у апатита, пирита, касситерита.

При образовании излома первостепенную роль играют спайность и отдельность, влияя соответствующим образом.

Поскольку спайность как проявление внутренней структуры минералов является их неизмененным свойством, она служит важным диагностическим признаком.

Для минералов, обладающих несовершенной или весьма несовершенной спайностью важным диагностическим признаком может служить излом – характер поверхности неправильных обломков, на которые минерал раскалывается при ударе. Различают раковистый, занозистый, волокнистый, ровный, неровный, и т. д. В частности раковистый излом характерен для всех видов кварца.

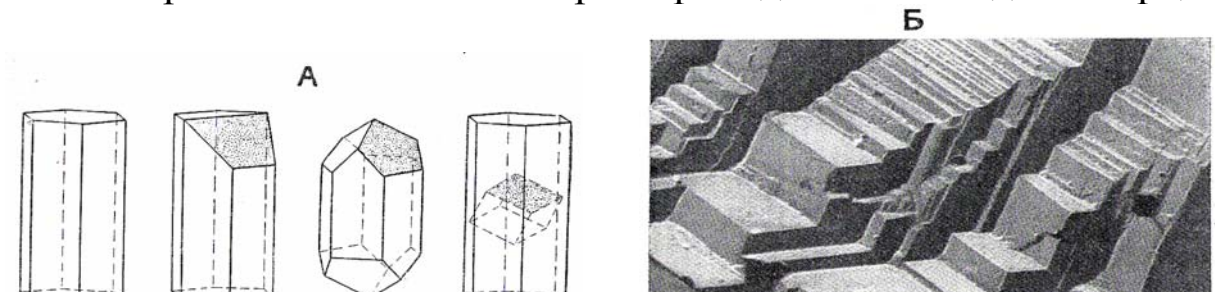


Рисунок 3.25 – Природа спайности в кристаллах минералов (по И.Д.Беляевой)

А – положение плоскостей спайности по отношению к граням кристаллов кальцита;

Магнитность минералов. Магнетит и его способность притягивать железо были известны еще в классической античности. Упоминание о магнитной стрелке (пракомпас) в Европе датировано 1100 годом.

Магнитность – это свойство характерно для немногих минералов. Наиболее сильными магнитными свойствами обладает магнетит, или магнитный железняк, $FeFe_2O_4$, меньшими – пирротин $Fe_{1-x}S$. Эти минералы притягивают магнитную стрелку, а магнетит может удерживать небольшие металлические предметы. Минералы, обладающие сильным полярным магнетизмом, называются ферромагнитными. Многие другие железосодержа-щие минералы

(ильменит, пироксены и др.) характеризуются гораздо более слабым магнетизмом, их называют парамагнитными.

Кроме того, есть минералы, обладающие слабой отрицательной магнитной восприимчивостью. Они слегка отталкиваются магнитом, их называют диамагнитными (кальцит, кварц, галит, графит, самородное золото).

Магнитные свойства важны для диагностики минералов. При минералогических исследованиях по этим свойствам производится разделение минералов на фракции. Некоторые минералы, содержащие железо, приобретают магнитные свойства только после прокаливания в восстановительных условиях, другие проявляют их лишь под воздействием электрического поля (например, пирит).

Для определения магнитных свойств требуется сильный, лучше всего подковообразной формы магнит. Магнитность минерала определяется по его порошку. Обломок минерала разбиваем молотком до порошкообразного состояния, пересыпаем его на чистую бумагу, а затем наблюдаем, притягиваются ли зерна минерала к магниту. Порошок всегда должен быть холодным, а поверхность магнита чистой, так как, если магнит чем-то испачкан, то порошок может на него налипнуть, а это создает ложное впечатление магнитности минерала. Для получения более уверенного результата необходимо магнит поместить под бумагу и наблюдать за движением порошка при перемещении магнита вперед-назад. В случае магнитности минерала в порошке наблюдается движение («роение»).

Из минералов, приведенных в лабораторном практикуме, собственно магнитными являются магнетит и пирротин. Порошок, полученный из этих минералов, всегда притягивается к магниту. Многие минералы, однако, становятся магнитными после прокаливания. При этом надо помнить, что после прокаливания происходят химические изменения минерала, а поэтому его обломок уже не может быть использован для дальнейших испытаний. Если в определителе не даны особые указания, то прокаливание всегда надо производить в восстановительном (светящемся) пламени, лучше всего помещая обломок на пластинку древесного угля, но можно и держа его пинцетом.

Основательное прокаливание занимает довольно много времени. При непродолжительном прокаливании восстановительные реакции коснутся только поверхности обломка, а поэтому после раздробления минерала и его охлаждения магнитом притягиваются лишь частицы, находившиеся на поверхности минерала. Если есть подозрение, что магнитом притянуты лишь зерна магнитной примеси в минерале (обычно это одно или два зернышка), то необходимо их рассмотреть через лупу, сравнивая с зернами основного минерала.

При пропускании смеси минералов (порошка) через магнитные сепараторы (разделители) происходит рассортировка этой смеси на составные минералы. Магнитная сепарация рудных минералов – распространенный способ обогащения, концентрирования руд в металлургии.

Плотность минералов. Плотность зависит от химического состава минерала и упаковки слагающих его атомов. Кристаллическая структура определяет, насколько плотно, компактно или «рыхло» будут уложены атомы химических элементов в данном объеме. Решающее влияние структуры на плотность можно показать на хорошо известном примере графита и алмаза – они имеют один и тот же состав (чистый углерод), но разную кристаллическую структуру. Соответственно плотность графита – 2,2, алмаза – 4,6. Из всех физических свойств руд плотность или средний объемный вес в геологической практике имеет наиболее важное значение. Общеизвестно, что запас руды в тоннах равен произведению среднего объемного веса (в т/м^3) на объем (в м^3), занимаемом рудным телом в недрах. Необходимо различать объемный вес и плотность руд. Под плотностью понимают массу вещества, отнесенную к массе равного объема воды. Плотность минерала может быть вычислена следующим способом: Плотность минерала = масса минерала/объем минерала. Плотность минералов, горных пород и руд колеблется в интервале 1–23. Минералы с плотностью менее 2 считаются легкими (янтарь–1); 2–4 – нормальным; и такую плотность имеют абсолютное большинство горных пород (граниты, известняки и др.), а также нерудные минералы – силикаты (слюда, нефелин), сульфаты (гипс), галоиды (флюорит), оксиды легких металлов (кварц), карбонаты

(кальцит). Руды черных и цветных металлов, легирующих металлов имеют плотность от 4.0 (сфалерит до 4,2, касситерит 7.0, галенит 7.5, киноварь 8.0)

И, наконец, наибольшей плотностью обладают самородные металлы (золото 15 – 19; платина и платиноиды 19 – 23). Плотностная дифференциация горных пород в недрах определяет ряд тектонических и магматических процессов. На различии в плотностях минералов основано отделение более тяжелых минералов от пустой породы при гравитационном обогащении.

Таблица 3.8 – Плотность минералов

Блеск	Минералы по плотности		
	Легкие	Средние	Тяжелые
Металлический	d_l <5< $d_{ср}$ <7< $d_т$ сфалерит 3,5–4,2 халькопирит 4,1–4,3	кобальтин 6,0–6,5 арсенопирит 5,9–6,2	галенит 7,5 киноварь 8,0
Неметалличес-кий	d_l <3< $d_{ср}$ <5< $d_т$ гипс 2,3 кальцит 2,6–2,8 кварц 2,6	барит 4,6–4,7 флюорит 3,0–3,2	англезит 6,1–6,4

Влажность минералов. Содержание полезных компонентов определяют на абсолютно сухую руду. Определение влажности следует производить одновременно с определением объемного веса. Величина влажности для различных руд меняется в широких пределах. Для плотных кварц-сульфидных золотоносных руд, массивных магнетитов, массивных сульфидных руд она колеблется от 2 до 5%. В бурых железняках, в марганцевых и силикатных никелевых рудах влажность может достигать 25 – 35%. Влага (W) является вредным компонентом ископаемых углей. Общая или рабочая влага (W^p) в угле подразделяется на внешнюю, или свободную ($W^г$), и внутреннюю, или лабораторную ($W^л$). Внешняя влага представляет собой тонкую пленку, облекающую отдельные частицы угля. Внутренняя влага состоит из гидроскопической и коституционной (химически связанной). Определение влажности

следует производить немедленно после отбора проб и вычислять ее как среднее из ряда частных значений.

Тепловые свойства

Тепловые свойства влияют на степень трещиноватости при затвердевании изверженных пород и количественно определяют трещиноватость при изменении температуры. К наиболее важным параметрам относятся тепловое расширение, теплопроводность, теплоемкость, сопротивление тепловому удару, стабильность фаз и термодинамические характеристики.

Тепловое расширение. Коэффициенты теплового расширения находятся в тесной связи с межионными расстояниями. В общем случае для минералов близкого состава, но с разными межионнымн расстояниями большая длина связи определяет большнй коэффициент расширения (например, коэффициент расширения больше у NaJ, чем у NaF). Минералы со сходной кристаллической структурой и близкими межионными расстояниями, но с большим зарядом ионов характеризуются меньшими значениями коэффициента теплового расширения.

Теплопроводность. Это величина пропорциональна скорости распространения в минерале тепла при определенном термическом градиенте. Теплопроводность минералов важна с точки зрения их теплоизоляционных свойств – использовании в качестве изоляторов или проводников тепловой энергии. Помимо того, вещества с высокой теплопроводность обычно более устойчивы к растрескиванию при колебаниях температуры по сравнению с аналогичными минералами с пониженной твердостью.

Пористость. Пористостью называют отношение объема всех пород, имеющихся в рудном образце, к его общему объему. При изучении руд определение пористости необходимо для окисленных руд и для боковых горных пород, подвергшихся рудному метасоматозу.

Механические свойства

Механические свойства минералов включают в себя – хрупкость, ковкость, гибкость, упругость.

Хрупкость – способность минералов к разрушению без заметных статических деформаций. Абсолютное большинство минералов предрасположено к такому разрушению и поэтому

относится к хрупким минералам. Хрупкие минералы при ударе молотком рассыпаются на куски и сплющиваются. При царапании их порошка не получается, но остается блестящий след.

Ковкость. Ковкие минералы от удара молотком закругляются в краях и сплющиваются. К числу таких принадлежат некоторые чешуйчатые, листоватые и волокнистые минералы: слюды, тальк, некоторые разновидности гипса.

Упругость. Этим свойством в разной степени обладают все минералы. Грубое проявление этого свойства заключается в способности минерала, будучи изогнутым на значительный угол, принимать прежнюю форму, например, слюды. Из волокнистых минералов некоторые обладают способностью при «растрепывании» образовывать тончайшее эластичное волокно, поддающееся текстильной обработке. Эти минералы носят техническое название – асбесты (хризотил-асбест, амфибол-асбест).

Из прочих физических свойств минералов можно отметить плавкость, а в некоторых случаях запах, горючесть, вкус и другие свойства. Некоторые из них интересны для диагностики минералов.

Прозрачность – свойство пропускать сквозь себя свет, выделяются минералы:

- прозрачные – горный хрусталь, гипс;
- полупрозрачные – халцедон, киноварь;
- просвечивающие в массе – нефрит;
- непрозрачные – пирит, золото.

Кроме последней группы все они прозрачны в шлифах и исследуются под микроскопом в проходящем свете. Непрозрачные же полируются и под микроскопом исследуются в отраженном свете; рудные минералы в большинстве своем непрозрачны.

Электрические свойства

Электрические свойства минералов уже давно известны людям. Хорошо описана способность янтаря наэлектризовываться при трении. Самородные металлы, например медь и серебро, - превосходные проводники электричества. А такие минералы, как кальцит или слюды,– не менее превосходные диэлектрики. Достаточно вспомнить мраморные щиты-изоляторы. Электрические и магнитные свойства минералов тесно связаны друг с другом. Пьезоэлектрический эффект, обнаруженный

братьями Пьером и Жаком Кюри (физиком и минералогом) в 1880 году, характерен для целого ряда минералов: турмалина, нефелина, сфалерита. Если на пластинку, определенным образом вырезанную из кристалла горного хрусталя, оказывать давление, то на разных ее сторонах появляются противоположные электрические заряды. А если, напротив, прилагать к пластинке переменные заряды, то она начнет сжиматься и разжиматься, вибрировать, излучая электромагнитные колебания.

Люминесценция минералов является способностью минералов излучать «холодный» свет посредством светового (видимого и невидимого) облучения, а также электрического, химического или механического воздействия. Люминесцентное свечение часто возбуждается ультрафиолетовыми или рентгеновыми лучами. Это служит надежным дополнительным средством при определении минералов. Ниже приведены несколько примеров возникающей окраски люминесцентного свечения:

Таблица 3.9 – Люминесценция минералов

Минерал	Ультрафиолетовые лучи	Рентгеновые лучи
Корунд (красный)	рубиново-красный, фиолетово-белый	то же
Кальцит	оранжево-желтый	красный
Флюорит	фиолетовый	зеленый
Циркон	оранжево-желтый	зеленый
Шеелит	голубой	то же

По длительности свечения различают: флюоресценцию – свечение, прекращающееся после прекращения действий возбудителя и фосфоресценцию – свечение, продолжающееся некоторое время после прекращения. Люминесценция минералов имеет большое практическое значение. Облучение забоев, образцов пород и руд, шлихов помогает установить присутствие в них алмаза, урановых минералов, шеелита, циркона и других полезных ископаемых.

Некоторые кристаллы электризуются под влиянием механических (внешних) воздействий. В кристаллографии и физике

твердого тела важное теоретическое и практическое значение получили явления пьезоэлектричества и пироэлектричества. Пьезоэлектричество (пьезоэлектрический эффект) – изменение поляризации некоторых диэлектрических кристаллов (пьезоэлектриков) при механической деформации (кварц). Пироэлектричество (пироэлектрический эффект) – появление электрических зарядов на поверхности некоторых кристаллов (пироэлектриков) при их нагревании или охлаждении (турмалин). Появление электрических зарядов в кристаллах может происходить только по определенным, полярным направлениям. Грани, перпендикулярные этим направлениям, получают разные но знаку заряды: одна – положительный заряд, а ей противоположная грань – отрицательный. Возникновение пьезо- и пироэлектричества в соответствии с его природой может быть связано только с полярными направлениями. Из геометрической кристаллографии следует, что направления, проходящие через центр симметрии, не могут быть полярными. Не могут быть полярными и направления, перпендикулярные плоскостям симметрии или осям четного наименования. Пьезоэлектричество в настоящее время получило широкое применение в различных отраслях техники (радиотехники, ультразвуковые техники, физико-химические технологии, бионики и т.д.). Минералом, обладающим пьезоэлектрическими свойствами, является кварц с формулой симметрии $L_3 3L_2$. Т.е. при приложении к кристаллу в направлении α_2 электрического поля кристалл будет сжиматься или расширяться. Типичным представителем кристаллического вещества, обладающего пироэлектрическими свойствами, является турмалин. Полярным направлением в турмалине является α_2. При нагревании в этом направлении происходит электризация кристалла.

Оптические свойства

На особенностях поведения световых лучей в кристаллах основан получивший всеобщее распространение оптический метод исследования и определения кристаллических веществ. Особенно широко он применяется в петрографии при описании горных пород, в минералогии при описании руд и минералов, при исследовании продуктов металлургического производства и в

других областях науки и техники. Невозможно представить себе современного горного инженера, геолога, металлурга, который не имел представления об оптических методах исследования кристаллических веществ. В основании кристаллооптики лежит явление преломления световых лучей в кристаллах.

Радиоактивность

Радиоактивностью называется превращение неустойчивых изотопов одного химического элемента в изотопы другого с излучением элементарных частиц. Радиоактивностью обладают минералы, содержащие радиоактивные элементы, в первую очередь уран, радий и торий. Определение радиоактивности производится при помощи различных электроскопов, ионизационных камер и других приборов. Действие их основано на определении ионизации воздуха, вызываемой радиоактивным распадом элементов. Урановые минералы сильно действуют также на фотографическую пластинку. Если на фотопластинку положить на некоторое время штуф с минералами урана, то при проявлении пластинки на ней появятся черные пятна, соответствующие местам, где находились эти минералы.

Радиоактивность находит широкое применение при поисках урановых руд и при определении абсолютного возраста горных пород. Зная количество конечных продуктов распада урана – свинца и гелия и скорость этого распада можно достаточно точно вычислить абсолютный возраст горных пород, содержащих урановые минералы.

Химические свойства

Знание таких химических свойств вещества, как устойчивость по отношению к коррозии и окислению, диффузия, реакционная способность, адсорбция, абсорбция, катализ, энергия поверхностных связей и растворимость, необходимо для понимания происхождения пород и рудообразований. Обычно минералы, в состав которых входят оксиды щелочных металлов или оксиды щелочноземельных элементов, устойчивы по отношению к коррозии основными и щелочисодержащими соединениями. Те же минералы подвержены действию кислот и кремнесодержащих жидкостей. Минералы, содержащие ZrO_2, SiO_2, Al_2O_3, Cr_2O_3, TiO_2, SnO_2, обладают большей устойчивостью к

действию кислот. При возрастании температуры резко возрастает скорость растворения и замещения. Скорость диффузии ионов тоже является весьма важным факторам.

Механизмы окисления, замещения и растворения тесно связаны. К важным свойствам материала относится также способность частиц, возникающих в ходе этих процессов, сцепляться или отслаиваться. Так, алюминий образует защитную пленку, тогда как при окислении железа поверхностные частицы отслаиваются, обнажая свежую поверхность.

Нельзя не упомянуть о совершенно необычайных свойствах, которыми обладают некоторые минералы. Например, способность минералов быть квантовыми генераторами, лазерами связана с их веществом и кристаллической структурой. Некоторые минералы могут быть ультрафильтрами «молекулярными ситами». Это относится прежде всего к интересной группе силикатов – цеолитам. Обнаружены и минеральные пары – потенциометры, позволяющие оценить окислительно-восстановительную обстановку минералообразования: Такую пару составляют шмальтин и арсенолит, описанные профессором Л. К. Яхонтовой.

Минералы способны обмениваться с раствором, из которого они растут, ионами, не меняя при этом своего кристаллического строения. Ионообменное свойство может привести к превращению одного минерала в другой: калиевый полевой шпат $KAlSi_3O_8$ (ортоклаз) становится натриевым полевым шпатом $NaAlSi_3O_8$ (альбитом). Минералы группы цеолитов поглощают углекислый газ, регенерируют дыхательную атмосферу. Среди минералов есть полупроводники. Они являются незаменимой деталью многих современных приборов. Самородные сера, селен, теллур, минералы группы шпинели, многие сульфиды имеют полупроводниковые свойства. Можно упомянуть, что CdS – полупроводник, близкий по свойствам к изоляторам, у Bi_2S_3 – малое сопротивление, а PbS, PbSe и PbTe – хорошо проводящие полупроводники.

Глинистые минералы обладают способностью к уникальному поглощению воды и других веществ и набуханию. Например, бентонит адсорбирует до 700 граммов воды на 100 граммов собственного веса. Полезнейшие свойства глин поглощать из фильтрующихся через них растворов разного рода примеси

обусловлены поистине фантастической величиной поверхности их частиц, образующих агрегат. Экспериментально установлено, что в глинах с размером частиц 0,3 μ удельная поверхность составила 15-20 квадратных метров (!) в одном кубическом сантиметре.

Итак, каждый минерал можно отличить от любого другого по его физическим и химическим свойствам. Например, для галита характерен такой набор свойств: удельный вес 2,4, твердость по шкале Мооса 2,5, спайность совершенная по трем плоскостям куба, прозрачный, показатель преломления 1,544, легкая растворимость в воде, вкус соленый, положительная реакция на хлор и натрий. Нет на земле другого минерала с таким комплексом свойств.

Таким образом, определение физических и химических свойств позволяют диагностировать минерал лишь приближенно, точное определение требует применения высокоточных лабораторных анализов (спектральный, рентгеноспектральный, рентгеноструктурный, электронная микроскопия и др.).

3.4 Качественно-количественная характеристика минерального сырья

Важнейшими признаками, определяющими условия промышленного освоения месторождений металлических полезных ископаемых, являются следующие:

1. Вещественный состав руд, характеризуемый составом и соотношением химических элементов и минеральных компонентов, структурой и текстурой руд, а также изменчивостью этих показателей в рудных телах.

Металлические руды могут быть мономинеральными: железные, хромовые руды, из которых извлекается в основном один металл, биметальными, содержащими промышленные концентрации двух металлов (медно-молибденовые, сурьмяно-ртутные и др.), и полиметальными, служащими сырьем для получения нескольких металлов (полиметаллические, медно-колчеданные, медно-никелевые). Для руд многих месторождений типично присутствие редких и рассеянных элементов, которые при возможности их извлечения значительно повышают ценность добываемого минерального сырья.

Показатели вещественного состава руд обусловливают общий характер и конкретные схемы их технологической переработки, а также в конечном счете ценность месторождений и руд из-за различной стоимости извлекаемых металлов.

2. Пространственно-морфологические параметры рудных тел, определяемые их формой, размерами, пространственным положением и условиями залегания среди вмещающих пород.

Эти показатели наиболее существенно влияют на условия эксплуатации: схемы вскрытия, способы и системы разработки. Так, крупные, неглубоко залегающие тела даже при невысоком качестве руд целесообразно разрабатывать крупными карьерами. Мелкие жильные тела глубинного типа, имеющие небольшую мощность, разрабатываются, как правило, подземным способом со значительным извлечением безрудных пород, что рентабельно только для высокоценных металлов.

3. Масштаб месторождений, т.е. количество запасов руд основных металлов и сопутствующих компонентов, непосредственно определяющее экономические показатели промышленного освоения.

Черные и легирующие металлы
Железо

Общие сведения.

Применение. Железные руды являются исходным сырьем для получения чугуна (с содержанием углерода – С 2.5-7% и более), сталистого чугуна (2,5 – 1,5 % С), стали (1,5 – 0,2 % С) и железа (0,2 – 0,04 % С). Около 90 % чугуна является «передельным» и переплавляется в сталь. Остальной чугун (литейный) используется для получения отливок. Добавка марганца, ванадия, хрома, никеля, вольфрама, молибдена, ниобия и других легирующих металлов существенно улучшает качество сталей, повышает их механическую прочность, вязкость, антикоррозионные свойства, кислотоупорность, жаростойкость и др. Присутствие бора повышает полезное действие других легирующих элементов. Некоторые разности железных руд применяются в химической промышленности для получения красок, а также в нефтяной

промышленности (магнетит) в качестве утяжелителя глинистых растворов при бурении скважин.

Геохимия и минералогия. Среднее содержание (кларк) железа в земной коре 4,65 % (по массе). Повышенные концентрации наблюдаются в ультраосновных, основных и средних магматических, а также в метаморфических породах. Коэффициент концентрации железа (отношение среднего содержания в промышленных рудах к кларку) низкий (около 10).

Запасы и добыча. Мировые ресурсы железных руд практически неограничены. Общие запасы их составляют 350 млрд т, разведанные оцениваются в 185 млрд т. За рубежом основные запасы железных руд приходятся на КНР, Бразилию, Канаду, Индию, США и Австралию. В СНГ насчитывается около 1/3 общих и разведанных мировых запасов руд. Более 80% их сосредоточено на Украине, в центральных районах европейской части страны, в Казахстане, на Урале. Районы Сибири и Дальнего Востока недостаточно обеспечены разведанными запасами железных руд. К весьма крупным в СНГ относятся железорудные месторождения с запасами более 1 млрд т, к крупным – от 300 млн т до 1 млрд т, к средним – от 50 до 300 млн т, к мелким – с запасами менее 50 млн т.

Мировая добыча железных руд составляет в настоящее время около 900 млн. т и осуществляется более чем в 50 странах, в крупных размерах ведется добыча в Австралии, США, Бразилии (от 75 до 100 млн.т в каждой), Канаде, Индии, Франции, ЮАР, Швеции, Либерии. СНГ по добыче железных руд занимает первое место в мире (245 млн т). Основной объем добычи (72,2%) приходится на метаморфогенные железистые кварциты и совместно залегающие с ними богатые окисленные железные руды. Доля в добыче магнетитовых руд составляет 19%, титаномагнетитовых – 9%, бурожелезняковых и сидеритовых – 4%.

Мировые цены на товарную железную руду - изменяются от 16 до 20 долл. за 1 т (с доставкой покупателю), на окатыши достигает 30 долл. за 1 т.

Типы руд и кондиции. *Гипогенными промышленными минералами железа* являются магнетит $FeFe_2O_4$ (72,4% Fe), ильменит $FeTiO_3$ (36,8% Fe), гематит Fe_2O_3 (70% Fe) и сидерит

$FeCO_3$ (48 – 63% Fe), а *гипергенными* – мартит (псевдоморфоза гематита по магнетиту), лимонит (бурый железняк) $Fe_2O_3xnH_2O$, гетит FeOOH, гидрогётит $FeOOHxnH_2O$, шамозит и тюрингит (силикаты железа переменного состава (27 – 38% Fe).

Промышленные типы железных руд и кондиции выделяются в зависимости от их минерального состава, определяющего технологические свойства сырья: титаномагнетитовые и ильменит-титаномагнетитовые, апатит-магнетитовые (карбонатитовые); магнетитовые, магномагнетитовые (скарновые); магнетит-гематитовые (железистые кварциты); мартитовые, мартит-гидрогематитовые, гидрогематит-мартитовые и гидрогематитовые (богатые руды, образовавшиеся по железистым кварцитам); сидеритовые; гидрогетитовые (бурожелезняковые); хлоритовые, или шамозит-тюрингитовые, и гидро-гетитовые оолитовые (осадочные); гётит-гидрогётитовые (природнолегированные руды коры выветривания).

В России добываются руды с содержанием железа от 16 – 18% и выше. Среди них различают природно богатые (Fe > 50 %) и бедные (Fe < 50 %), требующие обогащения. *Богатые руды* разделяются на доменные и мартеновские. *Доменные руды*, используемые непосредственно в плавке, должны быть на 70 – 75 % представлены крупнокусковатыми классами (10 – 100 мм), содержание Fe в магнетитовых и гематитовых рудах должно превышать 50 %, а в гидрогётитовых – 45 %, максимальное количество вредных примесей следующее (в %): S 0,3; P 03: Cu 0,2; As 0,07; Zn Pb 0,1; Sn 0,08. Никель, кобальт, марганец, хром, молибден, вольфрам, ванадий и другие легирующие компоненты могут присутствовать в количествах, не ухудшающих основных свойств продуктов передела железных руд.

Мартеновские руды должны иметь следующие параметры, содержание класса 10 – 250 мм – более 70%, железа в магнетитовых, гематитовых, гидрогётитовых и смешанных рудах – более 57%, предельная концентрация вредных примесей (в %): SiO_2 5; S, P по 0,15; Cu, As, Zn, Pb, Ni, Cr no 0,04; Mn 0,5.

Для качественной характеристики богатых руд важную роль играет содержание и соотношение нерудных примесей — шлакообразующих компонентов, выражающиеся коэффициентом

основности и кремневым модулем. Железные руды, требующие обогащения, в настоящее время обеспечивают в России 80% товарного производства. Они подразделяются на легко- и труднообогатимые, что зависит от их минерального состава и текстурно-структурных особенностей. *Легкообогатимыми* являются руды, матнетитового состава и прежде всего магнетитовые кварциты. К *труднообогатимым* относят те, в которых железо связано со скрытокристаллическими и коллоидальными образованиями. *Методы обогащения* определяются минеральным составом руд, их текстурно-структурными особенностями, физико-механическими свойствами, а также характером нерудных минералов. Магнетитовые руды обогащаются магнитной сепарацией, гематит-магнетитовые — магнитным, магнитно-флотационным или магнитно-гравитационным способами. Если в магнетитовых рудах содержатся в промышленных количествах апатит, сульфиды кобальта, меди и цинка, минералы бора и другие компоненты, то для их извлечения применяется флотация отходов магнитной сепарации. Титаномагнетитовые и ильменит-титаномагнетитовые руды обогащаются путем многостадиальной мокрой магнитной сепарации. Из хвостов магнитной сепарации способом флотации или гравитации получают ильменитовый концентрат. Для обогащения гидрогётит-хлоритовых оолитовых руд используется гравитационный или гравитационно-магнитный (в сильных полях) способ, а сидеритовых – обычно обжиг.

Продукцией горно-обогатительных предприятий являются концентраты, агломерат и окатыши. Концентраты, получаемые при переработке железистых кварцитов, скарновых магнетитовых и апатит-магнетитовых руд, должны содержать не менее 62 – 66% железа, а при переработке оолитовых бурых железняков – 48 – 49%.

Из руд подвергающихся обогащению, в самостоятельные концентраты извлекают минералы титана, меди, кобальта, редких металлов, апатит. Флотацией хвостов мокрой магнитной сепарации комплексных руд могут быть получены золотосульфидный и боратовый концентраты. Легирующие компоненты (никель, кобальт, марганец) переходят из чугуна в сталь и являются

полезными примесями. Из шлаков металлургического передела титаномагнетитовых концентратов извлекается ванадий. Фосфорсодержащие шлаки используются в качестве удобрений.

Различают богатые (свыше 50% Fe) бедные (меньше 25% Fe) руды, требующие обогащения. Для качественной характеристики *богатых руд* важное значение имеет содержание и соотношение нерудных примесей (шлакообразующих компонентов), выражающиеся коэффициентом основности и кремневым модулем. По величине коэффициент основности (отношение суммы содержаний оксидов кальция и магния к сумме оксидов кремния и алюминия) Железные руды и их концентраты подразделяются на кислые (менее 0,7), самофлюсующиеся (0,7—1,1) и основные (более 1,1). Лучшими являются самофлюсующиеся руды: кислые руды по сравнению с основными требуют введения в доменную шихту повышенного количества известняка (флюса). По кремневому модулю (отношение содержаний оксида кремния к оксиду алюминия) использование железной руды ограничивается типами руд с модулем ниже 2. К *бедным рудам*, требующим обогащения, относятся титаномагнетитовые, магнетитовые, а также магнетитовые кварциты с содержанием Fe магнетитового св. 10—20%; мартитовые, гематитовые и гематитовые кварциты с содержанием Fe более 30%; сидеритовые, гидрогётитовые и гидрогётит-лептохлоритовые руды с содержанием Fe более 25%. Нижний предел содержаний Fe общего и магнетитового для каждого месторождения с учётом его масштабов, горно-технических и экономических условий устанавливается кондициями.

Руды, требующие обогащения, подразделяются на *легкообогатимые* и *труднообогатимые*, что зависит от их минерального состава и текстурно-структурных особенностей. К легкообогатимым рудам относятся магнетитовые руды и магнетитовые кварциты, к труднообогатимым – железные руды, в которых железо связано со скрытокристаллическими и коллоидальными образованиями, в них при измельчении не удается раскрыть рудные минералы из-за их крайне мелких размеров и тонкого прорастания с нерудными минералами. Выбор способов обогащения определяется минеральным составом руд, их

текстурно-структурными особенностями, а также характером нерудных минералов и физико-механическими свойствами руд. Магнетитовые руды обогащаются магнитным способом. Применение сухой и мокрой магнитной сепарации обеспечивает получение кондиционных концентратов даже при сравнительно низком содержании железа в исходной руде. При наличии в рудах промышленных содержаний гематита наряду с магнетитом применяется магнитно-флотационный (для тонко-вкрапленных руд) или магнитно-гравитационный (для крупновкрапленных руд) способы обогащения. Если в магнетитовых рудах содержатся в промышленных количествах апатит или сульфиды кобальта, меди и цинка, минералы бора и др., то для их извлечения из отходов магнитной сепарации применяется флотация. Схемы обогащения титаномагнетитовых и ильменит-титаномагнетитовых руд включают в себя многостадиальную мокрую магнитную сепарацию. С целью выделения ильменита в титановый концентрат проводится обогащение отходов мокрой магнитной сепарации флотацией или гравитационным способом с последующей магнитной сепарацией в поле высокой интенсивности. Схемы обогащения магнетитовых кварцитов включают дробление, измельчение и магнитное обогащение в слабом поле. Обогащение окисленных железистых кварцитов может производиться магнитным (в сильном поле), обжигмагнитным и флотационным способами. Для обогащения гидрогётит-лептохлоритовых оолитовых бурых железняков используется гравитационный или гравитационно-магнитный (в сильном поле) способ, ведутся также исследования по обогащению этих руд обжигмагнитным способом. Глинистые гидрогётитовые и мартитовые (валунчатые) руды обогащаются промывкой. Обогащение сидеритовых руд обычно достигается обжигом. При переработке железистых кварцитов и скарново-магнетитовых руд обычно получают концентраты с содержанием Fe 62 – 66%; в кондиционных концентратах мокрой магнитной сепарации из апатит-магнетитовых и магномагнетитовых руд железа не менее 62 – 64%; для электрометаллургического передела выпускаются концентраты с содержанием Fe не ниже 69,5%, SiO_2 не более 2,5%. Концентраты гравитационного и гравитационно-магнитного обогащения

оолитовых бурых железняков считаются кондиционными при содержании Fe 48 – 49%; по мере совершенствования методов обогащения требования к концентратам из руд повышаются.

По способу рудоподготовки и применения в производстве различают мартеновские и доменные руды. К *мартеновским рудам*, непосредственно используемым для выплавки стали, относят магнетитовые и гидромагнетитовые с содержанием Fe более 57%, S и P менее 0,15% каждого SiO_2 не более 5%; Cu, Zn, Pb, Sn, As, Ni и Cr не более 0,04% каждого, Mn менее 0,5% при мартеновском и менее 2% при конверторном и электроплавильном переделах. В сталеплавильные установки загружается руда с размером кусков от 10 до 250 мм. Содержание крупнокускового класса (10-250 мм) в рудах должно быть не менее 70 %. К *доменным рудам* относятся магнетитовые, мартитовые и гематитовые с содержанием Fe более 50%, а также гидрогематитовые и гидрогётитовые, содержащие более 45% железа. Содержание S и P не должно превышать 0,13% каждого, Cu 0,2%, Pb и Zn 0,1% каждого, SnO 0,08%, As 0,07%. Содержание крупнокускового класса (10 – 100 мм) в рудах должно быть не менее 70-75%. Мелочь после грохочения доменных руд размером 10-0 мм и кусковатые руды с содержанием S выше кондиции поступают на агломерацию.

Магнетит – Fe_3O_4 ($FeFe_2O_4$) Название дано Хайдингером в 1845 г. По местонахождению в Магнезии (Греция). Синоним – магнитный железняк. Химический состав FeO 31%, Fe_2O_3 69% (Fe – 72,4%). *Разновидности*: 1.Титаномагнетит. 2.Хроммагнетит (обычные примеси титана, хрома, марганца, никеля, ванадия, алюминия).

Сингония кубическая $[3L_4 4L_3 6L_2 9PC]$.

Структура координационная. Один из наиболее распространенных оксидных минералов. *Облик кристаллов.* Нередко наблюдающиеся кристаллы имеют октаэдрический, реже ромбододекаэдрический.

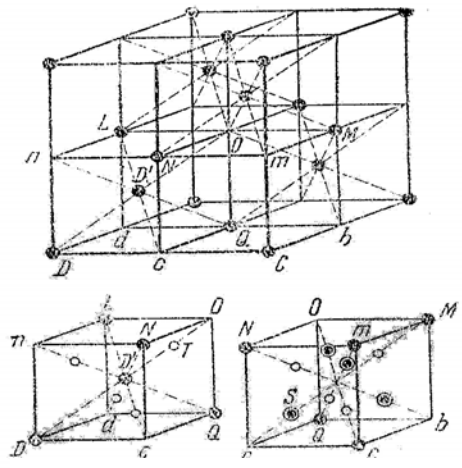


Рисунок 3.26 - Кристаллическая решетка магнетита

Агрегаты. Большей частью встречается в сплошных мелкозернистых массах: отдельных вкраплений и кристаллов, оолитов и сферолитов.

Цвет железно-черный. Черта черная. Непрозрачный, в отраженном свете серый.

Твердость 5,5 – 6. хрупок. Спайность отсутствует. Иногда наблюдается отдельность по (III). Плотность 4,9 – 5,2. Сильно магнитен. При окислении магнетит переходит в мартит, а затем переходит в различные гидроокислы железа. П.п. тр. Не плавится. Отражение R – 9. Микротвердость H – 535 – 695 (100), от других минералов отличается высокой магнитностью.

Структурное травление: HCl (конц.) в течение1-5 минут.

Парагенезис с гематитом, многими скарновыми минералами (диокпид, гранат), сульфидами.

Гематит Fe_2O_3 (красный железняк). Fe – 70 %. Название происходит от греческого слова «гема» - кровь, название дано Теофастом в 335 г. до н.э.

Образует непрерывный ряд с ильменитом $FeTiO_3$. Может содержать до 10% вес. Al_2O_3.

Сингония тригональная [$L_3 3L_2 PC$], цвет красновато-коричневый до черного. Черта имеет характерный вишнево-красный или синевато-красный цвет.

Кристаллическая структура аналогична структуре корунда. Встречается гематит в виде таблитчатых и пластинчатых кристаллов, но особенно часто образует сплошные скрытокристаллические массы, листоватые, чешуйчатые и земляные агрегаты. Псевдоморфозы гематита по магнетиту называется мартитом.

Цвет от желто-черного до стальносерого. Землистые разности обладают ярко-красным цветом. Черта вишнево-красная. Блеск полуметаллический. Твердость 5,5-6. Хрупок. Спайность отсутствует. Плотность 5,0 – 5,3. При атмосферном давлении и температуре 1390°C разлагается с образованием Fe_3O_4. Отражение R-25. Оптически отрицательный Nm=3,01, Np=2,75. Двуотражение слабое. Анизотропия сильная. Внутренние рефлексы темно-вишнево-красные H – 920 – 1062 (200). П.п.тр. не плавится. Растворяется в HCl.

Диагностические признаки. Гематит легко определятся по высокой твердости, вишнево-красной черте, отсутствию магнитности.

Парагенезис: магнетит, кварц, кальцит, сидерит.

Сидерит $FeCO_3$. Сидерос по-гречески «железо». Синоним – железный шпат.

Химический состав: FeO 62,1% (Fe 48,3%), CO_2 37,9%. Изоморфные примеси Mg и Mn, реже Ca (до 12%), Co (до 9 %) и Zn (до 7,7 %), устанавливается также присутствие SiO2, Al_2O_3 и другие.

Сингония тригональная [33]. Структура кальцита. Редко ромбоэдрические кристаллы. Агрегаты обычно кристаллически-зернистые от грубо-зернистых до плотных масс.

Цвет сидерита в свежем состоянии белый, желтовато-белый, иногда с буроватым оттенком, у окисленных разностей почти до черного. Черта белая или светло-желтая. Блеск на гранях кристаллов сильный стеклянный, прозрачен до просвечивающего. Твердость 4, плотность 3,96, спайность хорошая по ромбоэдру {1011}. Отражение R 10 – 6 . Микротвердость H – 369 – 465 (50).

Диагностическое травление: с HCl и HNO_3 вскипает, буреет, выявляет структуру. Микрохимические реакции – отпечаток на Fe. П.п.тр. не плавится, растрескивается, буреет, затем чернеет и становится магнитным.

Диагностические признаки. Серый цвет, сильное двуотражение, травится кислотами, реакция на Fe.

Парагенезис. С другими карбонатами, как спутник вместе с анкеритом, гематитом, магнетитом, пирротином, халькопиритом.

Гетит FeOOH (в честь великого немецкого поэта и ученого). Синоним – игольчатая железная руда.

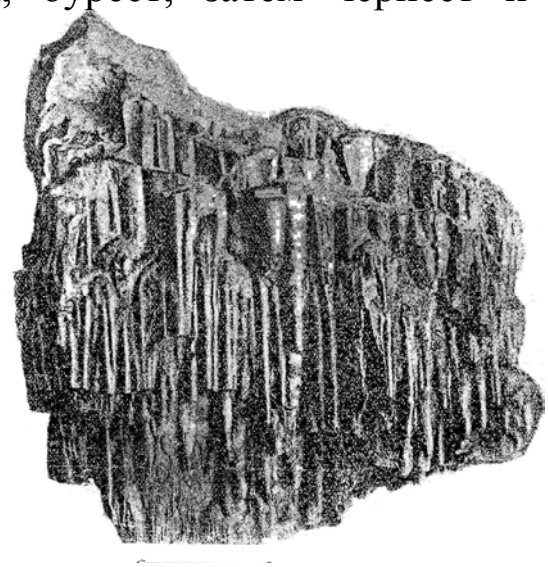


Рисунок 3.27– Псевдоморфозы гетита по пириту. Березовское месторождение (Урал).

Химический состав: Fe_2o_3 89,9%, H_2O 10,1%. Содержание воды часто

выше 12-14%), а иногда до 18-25 %. Обычно примеси Al, Si, Ti, Nn, Ca и др. Возможны примеси Cu, Pb, Zn, Cd, Ag, Au.

Сингония ромбическая [$3L_2 3PC$]. Может быть землистым, образовывать почковидные, листоватые или радикально-лучистые, волокнистые агрегаты. Натечные образования («бурая стеклянная голова»), жеоды, конкреция, оолиты, цвет от бурого до охряно-желтого, коричневый. Черта коричневато-желтая. Блеск: алмазный у кристаллов, матовый у землистых разностей, стеклянный у натечных образований. Твердость 5-5,5. Плотность 4,4. Спайность гетита по (010) совершенная. Парамагнитен. Магнитная восприимчивость $42x10^{-6}$. При нагревании теряет воду (в интервале 250-330°С), переходит в гематит.

Оптические константы Ng=2,35 – 2,40, Nm=2,35 – 2 ,39, Np=2,21 – 2 ,26, Ng-Np≈0,014. П.п.тр. не плавится. При продолжительном нагревании становится сильномагнитным. Медленно растворяется в HCl. Отражение R слабое (16 – 20). Микротвердость H – 525 – 620 (100).

Диагностические признаки. Бурая черта. Желто-бурые охристые примазки, талая твердость.

Парагенезис. Оксиды железа, гидроксиды марганца и алюминия, сидерит, железист хлориты.

Ильменит $FeTiO_3$, назван по месту находки в Ильменских горах на Урах (Купер 1827 г.). Синоним – титанистый железняк Fe 36,8%, Ti 31,6%. Примеси MgO до 20%, MnO до 14%, Fe_2O_3 до 15,4%, в небольших количествах Al, Si, Cr, Nb, Ca, Co, Ni.

Сингония тригональная [L_3C]. Структура типа корунда. Обычно встречается в виде плотных зернистых агрегатов, кристаллы таблитчатые. Известны сростки с магнетитом и рутилом.

Цвет ильменита железно-черный или стально-серый. Черта большей части черная, иногда бурая. Блеск полуметаллический. Твердость 5-6. Плотность 4,7. Непрозрачный. Спайность весьма несовершенная. п.п.тр. не плавится. В восстановительном плане становится явно магнитен. Отражение R при в воздухе 21 – 18 . Анизотропия – отчетливые пестрые цветные эффекты. Микротвердость H – 593 – 734 (100 – 200).

Диагностические признаки. От магнетита слабой магнитностью, гематита – чертой.

Парагенезис: магнетит, рутил, сфен, биотит, циркон, гранат.

Практическое значение. Руда на Ti, в виде ферротитана в металлургии для производства особых сортов стали. Окись титана используется в качестве белой краски.

Марганец

Общие сведения

Применение. Основная часть (95%) добываемых марганцевых руд применяется в черной металлургии в виде ферромарганца и «зеркального чугуна», благодаря свойству этого элемента придавать стали вязкость, ковкость, твердость и жаростойкость. Кроме того, добавки марганца при плавке руды способствуют более полному переходу вредных примесей {P.O.S} в шлаки и более легкому отделению последних от металлического расплава. В среднем расход марганца достигает 1% массы продукции сталелитейной промышленности. Марганец используется также в производстве сухих батарей стекла, керамики, минеральных красителей, оксида марганца и других химических продуктов, в электротехнической промышленности.

Запасы и добыча. Общие мировые запасы марганцевых руд составляют 18 млрд.т., в том числе 2,4 млрд.т. в СНГ, 13 млрд.т. в ЮАР, от 200 до 50 млн.т. в Габоне, Австралии, Бразилии и Индии. Запасы железо-марганцевых конкреций на дне океанов оцениваются в 1,7 млрд.т. Разведанные мировые запасы руд достигают 4,2 млрд.т., большая часть из них сосредоточена в СНГ (760 млн.т.) и Габоне (200 млн.т.); в ЮАР, Бразилии и Австралии разведано по 50 млн.т. промышленных запасов.

Крупнейшие запасы марганцевых руд в СНГ находятся на Украине и в Грузии; относительно небольшие месторождения известны на Урале, в Казахстане, в Западной Сибири, на Дальнем Востоке. К весьма крупным относятся месторождения с запасами более 150 млн.т., к крупным – от 75 до 150, средним – от 25 до 75 и мелким – менее 25 млн.т. Уникальные месторождения имеют запасы более 1 млрд.т.

Добычу марганцевых руд ведут более 30 стран. Объем мировой добычи в последние годы значительно увеличился и достиг 25 млн.т.; около 50% этого количества приходится на СНГ.

В значительных размерах (1,7 – 5,5 млн.т.) ведут добычу марганцевых руд ЮАР, Бразилия, Австралия, Габон, Индия. Стоимость 1 тонны руды около 70 долл., ферромарганца – 400 долл.

Геохимия и минералогия. Кларк марганца 0,1%. Повышенные содержания его характерны для основных и ультраосновных пород. Коэффициент концентрации высокий (более 300). Марганец содержится в 150 минералах. Промышленными являются пиролюзит MnO_2 (55 – 63% Mn), браунит Mn_2O_3 (60 – 69%), гаусманит Mn_3O_4 (65 – 72%), манганит MnO_2 $Mn(OH)_2$ (50 – 62%), псиломелан $mMnO$ MnO_2 nH_2O (40 – 60%), родохрозит $MnCO_3$(40 – 45%) и манганокальцит (Ca, Mn) CO_3 (7 – 23%).

Типы руд и кондиции. Главное значение имеют гипергенные оксиды и гидроксиды марганца. Гипогенные силикаты марганца (ролонит, бустамит, спессартин) к промышленным не относится. Однако при их выветривании возникают богатые гидроксидные руды.

Среди *промышленных руд марганца* выделяются оксидно-гидроксидные, карбонатные и смешанные (гидроксидно-карбонатные). Содержание марганца в них изменяется от 10 до 60%. Вредной примесью является фосфор. По соотношению марганца и железа выделяются руды марганцевые (Mn : Fe ≥ 6-7), железо-марганцевые (Mn : Fe ~ 1) и марганцевистые железные (Mn : Fe < 1; содержание в них около 5 – 10%). В зависимости от соотношения содержания в марганцевых рудах главнейших металлов – марганца и железа – и в соответствии с современными требованиями металлургии железа различают следующие три основных класса руд.

1. Марганцевые руды, в которых железо обычно содержится в ничтожных количествах: отношение Mn : Fe в рудах данного класса, как правило, колеблется в пределах 30 – 15 (допускается 6 – 7). Из высокосортных богатых марганцем руд (с содержанием марганца 45 – 55%), бедных железом и фосфором (не выше 0,0035% на 1% Mn), в доменных печах и электропечах выплавляются стандартные марки ферромарганца, используемого в виде добавок при производстве специальных сортов сталей.

2. Железомарганцевые руды распространены гораздо меньше. В этих рудах оба металла присутствуют в существенных количествах (сумма Mn + Fe = 40 – 60%); Mn : Fe в таких рудах опускается до 1 и ниже. Такие руды, в зависимости от соотношения в них марганца и железа, идут на изготовление нестандартных марок ферромарганца, зеркального чугуна (шпигеля) и силикошпигеля, являющихся заменителями высокосортных сплавов ферромарганца при производстве простых и рядовых марок сталей.

3. Марганцовистые железные руды – резко подчиненным содержанием марганца (5 – 15%); эти руды, относительно чистые по фосфору, идут на выплавку марганцовистых чугунов (с содержанием марганца в них 5 – 10%), применяющихся в виде добавок для науглероживания и предварительного раскисления стали с целью уменьшения расхода дорогостоющего ферромарганца.

Бедные марганцем и железом труднообогатимые кремнистые руды (SiO_2 не выше 30 – 35%) могут употребляться лишь для подшихтовки при выплавке обыкновенных чугунов из железных руд, практически лишенных марганца или содержащих его в очень незначительных количествах. Для той же цели могут служить бедные марганцем марганцовистые известняки (с содержанием Mn 8 – 15%); последние являются ценным сырьем, могущим найти применение в качестве основных марганцовистых флюсов при выплавке сталей в мартеновских печах.

Вредной примесью для марганцовистых руд является фосфор; его содержание в высокосортных рудах не должно быть выше 0,003% на 1% Mn, сера не является вредной примесью, поскольку она при плавке легко уходит в шлаки в виде сернистого марганца. Из легирующих металлов в марганцовых рудах в очень незначительных количествах иногда устанавливаются Co, Ni, V, Mo, W и др.

Таким образом, наибольшую ценность для черной металлургии представляют высококачественные по марганцу и фосфору руды, пригодные для выплавки стандартных марок ферромарганца, а также руды, из которых могут быть получены

высококачественные заменители – *шпигели и марганцовистые чугуны*.

Пиролюзит MnO_2, Mn – 63,2 % . В переводе с греческого означает «стывающий огонь». Из механических примесей могут быть: Fe_2O_3, SiO_2 и др.

Сингония тетрагональная, $[L_4 4L_2 5PC]$, структура рутила. Кристаллы очень редки, игольчатого или шестовотого облика. Обычно сплошные зернистые, сажистые или плотные порошковатые массы, почковидные конкреции, волокнистые или радикально-лучистые агрегаты.

Цвет черный до стально-серого. Черта черная, иногда синевато-черная. Непрозрачен, хрупок, излом неровный. Спайность, совершенная по {110}. Твердость кристаллов 5 – 6, агрегатов и землистых масс 2 – 4. Отражение 34. Двуотражение очень слабое. Анизотропия сильная. Минеротвердость Н – 161 – 321 (50). От других марганцевых минералов отличается однозначно более высокой твердостью, более высокой отражательной способностью и отсутствием внутренних рефлексов. Обычно пиролюзит находится совместно с другими марганцевыми минералами (манганитом, псиломеланом).

Практическое значение – один из главных компонентов марганцевых руд, используемых для получения ферромарганца и специальных сталей.

В зоне окисления пиролюзит замещает другие марганцевые минералы.

Манганит MnO(OH) – $Mn^{2+}Mn^{4+}+O_2(OH)_2$ или $MnO_2 \cdot Mn(OH)_2$. Название по химическому составу. Манганит образует преимущественно тонкокрис-таллические землистые агрегаты, часто с другими марганцевыми минералами.

Характерны почковидные образования, конкреции. Редко призматические и столбчатые кристаллы, образуют параллельные сростки, друзы.

Цвет черный. Черта бурая. Блеск полуметаллический. Твердость 3 – 4. Плотность 4,3. Спайность {010}. Отражение R – 19 – 16. Двуотражение ясное. Анизотрапия сильная. Погасание прямое. Внутренние рефлексы кроваво-красные. Микротвердость Н

– 690 – 770 (100). Диагностическое травление. Структура выявляется HF, HCl.

Микрохимическая реакция на марганец.

Диагностические признаки – бурый до черного цвет, бурая черта, столбчатый и шестоватый облик кристаллов с типичной вертикальной штриховкой. Но трудно отличается от других гидроксидов марганца и надежно диагностируется с помощью рентгенометрического анализа.

Парагенезис: марганцевые минералы, а также гетит, кальцит.

Псиломелан – $Mn_2O_3 \cdot nH_2O$.

Химический состав не постоянный. Соотношение MnO и MnO_2 колеблется в относительно широких пределах в зависимости от степени окисления низшего окисла марганца. Содержание MnO_2 обычно составляет 60 – 80%, MnO 8 – 25%, H_2O 4 – 6% (большая ее часть удаляется при температуре свыше 110°). В небольших количествах часто присутствует BaO (до нескольких процентов), иногда щелочи, CaO, CoO, MgO, ZnO, SiO_2, Fe_2O_3, Al_2O_3 в виде посторонних примесей. Изредка устанавливается WO_3 (до 1, а иногда до 5 – 8%) – тунгомелан.

Сингония ромбическая [$3L_23P$]. Обычно наблюдается в натечных формах с концентрически-зональным строением или в тонкокристаллических агрегатах, устанавливаемых лишь под микроскопом в полированных шлифах. Встречаются типичные коллоидные разности, не дающие дебаеграмм. Распространен также в виде шаровидных образований (оолитов и конкреций). Нередки дендритовидные образования.

Цвет псиломелана черный, иногда буровато-черный. Черта обычно черная. Блеск полуметаллический; у рыхлых разностей матовый. Твердость 4 – 6 (для плотных разностей), колеблется в зависимости от содержания воды и физического состояния. Хрупок. Удельный вес 4,4 – 4,7. Непрозрачен.

Диагностические признаки. Принадлежность к группе псиломелана устанавливается по натечным формам агрегатов, черной черте и реакции на марганец. Точная диагностика пока возможна лишь с помощью химического анализа. П.п.тр. не плавится. При растворении в соляной кислоте выделяется хлор. В

закрытой трубке выделяет воду и кислород. С бурой и фосфорной солью в окислительном пламени дает фиолетовый перл.

Практическое значение. Вместе с пиролюзитом и другими окисными минералами марганца является главной рудой, используемой в черной металлургии для выплавки ферромарганца. Более бедные марганцем руды используются для подшихтовки при выплавке из железных руд обыкновенных чугунов.

Хром

Общие сведения.

Применение Хром – пластичный металл голубовато-серебристого цвета. Основными потребителями хрома являются металлургия (65% добычи), огнеупорная (18%) и химическая (17%) промышленности. Добавка феррохрома к сталям повышает их вязкость, твердость и антикоррозийные свойства. Хромит используется в качестве огнеупорного материала для обкладки (футеровки) мартенов и печей для выплавки цветных металлов. В химической промышленности хромит применяют для производства красок и дубителей кож.

Запасы и добыча. Общемировые запасы хромитов составляют около 4,8 млрд.т., основные из них сосредоточены в ЮАР (1050 тыс.т.) и Зимбабве (550 тыс.т.) и СНГ (Казахстан). В других странах (Финляндии, Турции, Индии, Бразилии) запасы руд ограничены. Мировая добыча (без СНГ) хромитов составляет 5,3 млн.т. и распределяется на 14 стран (ЮАР 50%, Турция, Филиппины, Индия, Финляндия и др.). Стоимость 1 т. хромитовой руды составляет приблизительно 75 – 135 долларов.

В СНГ основные месторождения расположены в пределах хромитоносного пояса Урала. К весьма крупным относятся месторождения с запасами выше 25 млн.т., к крупным – от 5 до 25 млн.т., к средним – от 1 до 5 млн.т., к мелким – менее 1 млн.т.; уникальные месторождения имеют запасы руд сотни миллионов тонн.

Геохимия и минералогия. Кларк хрома 0,0083%. Повышенные содержания характерны для ультраосновных пород. Хром входит в состав 25 минералов. Промышленными являются хромиты с общей формулой $(Mn,Fe)O\cdot(Cr,Al,Fe)_2O_3$ и изменчивыми

содержаниями (в %) компонентов: Cr_2O_3 16-65, MgO до 16, FeO до 18, Fe_2O_3 до 30, Al_2O_3 до 33.

Наиболее ценным из хромитов является магнохромит (50-65% Cr_2O_3), меньшее значение имеют хромпикотит и алюмохромит.

Типы руд и кондиции. Хромитовые руды – единственный промышленный тип руд, которые делят на богатые и бедные с минимальным содержанием Cr_2O_3 соответственно 37 и 12% . Бедные руды подлежат обогащению. Для производства ферросплавов используют руды с содержанием не менее 40% хрома, фосфора не более 0,07%, серы – не выше 0,05%, отношение Cr_2O_3: FeO не менее 2,5-3% . Для огнеупоров пригодны руды с содержанием Cr_2O_3не менее 35%, SiO_2 не более 8% , CaO не более 2% .

Типы промышленных месторождений. Среди месторождений хромитов выделяют следующие типы:

- *Раннемагнетические* – образованы пластообразными телами хромитовых руд в расслоенных интрузивных массивах ультраосновных пород. Уникальными по запасам (по 500 млн.т.) являются Бушвельдский массив в ЮАР и месторождение Великой Дайки в Зимбабве. Руды высококачественные (Cr_2O_3 45-50 %) и локализованные в пластах мощностью от 0,2 до 1,8 м.

- *Позднемагнетические* – размещены в пределах массивов дунитов, перидотитов, пироксенитов. Руды локализованы в жилообразных и линзовидных крутопадающих телах, реже в пологопадающих пластообразных залежах. Протяженность линз 20-30 м., рудных залежей до 400-500 м. Мощность рудных тел колеблется от нескольких до десятков метров. Контакты рудных тел с вмещающими породами постепенные или резкие. Текстуры руд массивные и вкрапленные, запасы руд на месторождениях – десятки миллионов тонн. Позднемагнетические месторождения распространены на Урале (Кемпирсайское и Сарановское) и на Кавказе (Шоржинское).

Хромит $FeCr_2O_4$, разновидности: магнохромит $(Mg,Fe)Cr_2O_4$, алюмохромит – $(Fe,Mg)(Cr_2Al)_2O_4$ и хромпикотит $(Mg,Fe)(CrAl)_2O_4$.

Содержание хрома 18 – 62%, FeO 0 – 18%, MgO 6 – 16% Al_2O_3 0 – 38%, Fe_2O_3 2 – 30% . Изоморфные примеси TiO_2 до 2%, V_2O_3 до 0,2%,MnO до 1% .

Сингония кубическая. [$3L_4 4L_3 6L_2 9PC$]. *Структура шпинели.* Облик кристаллов. Обычно зерна и сплошные зернистые агрегаты, отдельные округленные вкрапленники (модули).

Цвет темно-коричневый, черный. Черта бурая (важно для диагностики). Блеск металловидный. Твердость 5,5 – 7,5. Плотность 4,5 – 4,8. Спайность отсутствует. Излом неровный. Хрупок. Разности богатые железом сильно магнитны. Температура плавления 1450 – 1850 °. Внутренние рефлексы коричневые. Отражение R при λ мм –16. Микротвердость 1036 – 1566 (100). П.п.тр. не плавится. В кислотах не растворяется.

Диагностические признаки. Черный цвет, бурая черта, высокая твердость, реакция на хром.

Парагенезис. Ассоциирует с оливином, серпентином, магнетитом.

Никель

Общие сведения.

Применение. Никель широко применяется в металлургии (80% общего потребления) для производства легированных сталей и сплавов, обладающих высокой твердостью, жаропрочностью, ковкостью, пластичностью, сопротивлением коррозии. Большое значение в промышленности имеют сплавы: никеля с медью, цинком, алюминием (латунь, нейзильбер, мельхиор, бронза, монетный сплав); с хромом (нихром, элинар, инконель); с железом (платинит), а также магнитные сплавы. Около 10% объема производства никеля поступает на изготовление катализаторов.

Кобальт используется для получения специальных сталей и сплавов (70%) – жаростойких, инструментальных, сверхтвердых и магнитных. Кроме того, он применяется в лакокрасочной, керамической, стекольной и химической промышленности.

Запасы и добыча. Общие запасы никелевых руд капиталистических и развивающихся стран составляют около 90 млн.т., достоверные – 46,6 млн.т. Они сосредоточены преимущественно в Новой Каледонии (более 25%). Канаде (15%),

Австралии, Филиппинах, Бразилии и Греции. Добыча никеля достигла 541,4 тыс.т. (Канада, о.Новая Каледония, ЮАР, Индонезия, Филиппины, Зимбабве). По масштабам запасов (в тыс.т.) месторождения делят на весьма крупные (> 500 Ni или > 50 Co); средние (100 – 256 Ni , 10 – 25 Co); мелкие (< 100 Ni, < 10 Co). В России крупные месторождения комплексных сульфидных руд расположены в Норильском районе и на Кольском полуострове, месторождения силикатных руд – на Урале.

Геохимия и минералогия.

Кларк никеля 0,058%, кобальта 0,0018%, а коэффициенты концентрации соответственно 200 и 100. Повышенные содержания обоих металлов характерны для основных и ультраосновных магматических пород. Известно 45 минералов никеля.

К главным относятся сульфиды – пентландит $(Fe,Ni)_9S_8$ (22 – 42 %), миллерит NiS (65 %), никелин NiAsS (44 %), а также водные силикаты – гарниерит $Ni_4[Si_4O_{10}] (OH)_4 \cdot 4H_2O$ (46 % NiO) и ревдинскит (Ni, $Mg_6[Si_4O_{10}] (OH)_8$ (51 % NiO).

Основными промышленными минералами комплексных сульфидных никелевых руд являются пентландит, халькопирит, пирротин, магнетит.

Второстепенные минералы – редко хромит, пирит, минералы платиноидов. Содержание Ni в них 0,25 – 4,5%, отношение Ni:Cu от 1:4 до 4:1. В силикатных рудах содержание Ni от 0,75 до 4% и более. *Главные минералы* – гарниерит, гетит, часто повышенное содержание Co до 0,12 %.

Типы руд и кондиции. Основными типами руд никеля и кобальта являются сульфидные и оксидно-силикатные. Минимальное промышленное содержание никеля в сульфидных рудах составляет 0,3%, в оксидно-силикатных соответственно 0,6%. Сульфидные руды часто являются комплексными и содержат медь, металлы платиновой группы, золото и серебро, селен и теллур.

Силикатные руды поступают в металлургическую переработку без обогащения. В России эти руды перерабатываются пирометаллургическим способом с получением никеля или ферроникеля.

Передел сульфидных руд включает агломерацию или окатывание концентратов, плавку их, конвертирование штейна,

флотационное разделение файштейна на никелевый и медный концентраты, восстановительную электроплавку никелевого концентрата, электролитное рафинирование. Освоены автоклавная окислительная технология переработки пирротинового концентрата, выделяемого при обогащении руд с высоким содержанием Fe и S, и взвешенная плавка с утилизацией S и тепла отходящих газов.

Дополнительная продукция металлургического производства – медь, сера и др. При рафинировании чернового никеля и черновой меди, получаемых при переработке никелевого и медного концентратов, в шлам извлекаются металлы платиновой группы, серебро и золото. Шлам перерабатывается на аффинажном заводе.

В результате металлургического передела получают металлический никель и кобальт, их оксиды, соли и порошки, ферроникель. Металлический никель, никелевые порошки по ряду показателей превосходят аналоги зарубежных фирм. Никель широко используется в металлургической, энергетической, химической, нефтеперерабатывающей и других отраслях промышленности.

Обогащают сульфидные руды с применением флотационных схем и получением коллективных (медно-никелевых) и селективных (медных и никелевых) концентратов. Для обогатительных предприятий характерна высокая автоматизация производственных процессов

При переработке сульфидных никелевых руд применяется смешанная пиро-гидрометаллургическая технология. Пиропроцессы – электроплавка и автогенная взвешенная плавка с получением штейна. Файнштейн в основном перерабатывается гидрометаллургическим способом (метод выщелачивания). На переделе рафинирования – электролиз, автоклавное восстановление никеля и кобальта из растворов и карбонилпроцесс.

Пентландит – $(Fe,Ni)_9S_8$ принадлежит к классу сульфидов и является одним из главных никельсодержащих минералов. Химический состав: Ni – 22%, Fe – 42%, S – 36%. Наиболее характерной является примесь кобальта (до 2,5%).

Сингония кубическая [$3L_4 4L_3 6L_2 9PC$]. Структура – анионы серы образуют плотнейшую кубическую упаковку, часть катионов никеля и железа заполняет тетраэдрические пустоты, другая же часть катионов находится в октаэдрической координации.

Цвет бронзово-желтый (более желтый, чем у пирротина), черта зеленовато-черная. Блеск металлический. Спайность совершенная по (III). Немагнитный. Твердость 3 – 4. Удельный вес 4,5-5. Микротвердость 195 – 223 (50). Травление. HNO_3 – действует слабо.

Диагностические признаки: ярко-желтый цвет и совершенная спайность. От сходного пирротина отличается по отсутствию магнитности и наличию совершенной спайности. Парагенезис: пирротин, пирит, хромит, магнетит, минералы – платиноиды.

Никелин – NiAs относится к классу сульфидов. Химический состав: Ni -43,9%, As - 56,1%. Примеси – железо, сера, сурьма, кобальт.

Сингония гексагональная. Кристаллическая структура характеризуется простой гексагональной структурой с плотнейшей упаковкой атомов мышьяка и заполнением всех октаэдрических пустот атомами никеля. Кристаллы встречаются очень редко, обычно встречается в сплошных массах, иногда в почковидных и других формах.

Цвет медно-красный. Черта буровато-черная. Блеск металлический. Твердость 5. Хрупок. Спайность несовершенная. Удельный вес 7,6-7,8.

Диагностические признаки: бледный медно-красный цвет, металлический блеск. Наблюдается в парагенезисе с сульфидами других металлов. В зоне выветривания по никелину развиваются ярко-зеленые порошковатые массы и примазки анабергита. Происхождение гидротермальное.

Вольфрам и молибден

Общие сведения.

Применение. Вольфрам используется в металлургии для легирования сталей, (добавка его повышает твердость, и тугоплавкость стали), а в чистом виде – в электроосветительной

аппаратуре. Кроме того, вольфрам входит в состав жаропрочных и твердых сплавов.

Молибден применяется в металлургии высококачественных нержавеющих инструментальных и специальных сталей и сплавов. Металлический молибден используется в электро – радиотехнике. Соединения молибдена служат катализаторами при крекинге нефти, сырьем при производстве красок, химических реактивов, огнестойких пластмасс, удобрений.

Запасы и добыча. Общие запасы WO_3 (без СНГ) составляют 2,5 млн.т, достоверные – 1,8 млн.т. основная их часть (>65%)сосредоточена в США, Канаде, Турции, Австралии и Республике Корее. Располагают ими также Боливия, Португалия. Перу, Мьянма и др. Вольфрамитовые руды подвергаются обогащению для получения концентрата, содержащего не менее 60% WO_3, и удаления вредных примесей. Производство вольфрамовых концентратов достигает 28 тыс.т; их получают в основном в Республике Корея и Канаде, США, Австралии, Боливии, Бразилии, Австрии, Португалии.

Общие запасы молибдена (без СНГ) оцениваются в 11,4 млн.т, достоверные – 7,7 млн.т. Основная часть запасов приходится на США (40% достоверных запасов), Чили (26%), Канаду, Перу, Иран, Мексику. Добыча молибденовых руд – 84,3 тыс.т в пересчете на металл – сосредоточена преимущественно в США, Канаде и Чили. Цена 1 кг концентрата 7 долл.

По масштабам запасов принято следующее деление месторождений. Весьма крупные месторождения имеют запасы соответственно WO_3 и Mo (тыс.т) более 250 и более 100, крупные – 250 – 100 и 100 – 50, средние – 100 – 15 и 20 – 25, мелкие – менее 15 и менее 25.

СНГ обладает значительными запасами вольфрамовых и молибденовых руд. Крупные месторождения мономинеральных и комплексных руд известны в Казахстане, Узбекистане, в России: Забайкалье, Дальний Восток, Хакасия, Северный Кавказ.

Геохимия и минералогия. Кларк вольфрама 0,003%, коэффициент концентрации 5000, повышенное содержание характерно для кислых магматических пород. Вольфрам содержится в 20 минералах, из которых к промышленным

относятся вольфрамит (Fe, Mn) WO_4 (76,5%WO_3), ферберит Fe, WO_4 (76,3%), гюбнерит $MnWO_4$ (76,6%) и шеелит $CaWO_4$ (80,6%). Вольфрамовые руды часто содержат молибден, олово, бериллий, медь, висмут в количестве 0,01 – 0,1%, иногда присутствуют сурьма, ртуть, золото, мышьяк, сера, тантал, ниобий, скандий.

Типы руд и кондиции. Вольфрам получают из скарновых шеелитовых, кварц-шеелитовых и вольфрамитовых руд. Минимальное промышленное содержание WO_3 в рудах варьирует от 0,3 до 1 – 2% (в среднем 0,7%), в комплексных рудах может быть ниже. Для россыпей минимальное промышленное содержание вольфрама составляет 400 – 1000г/м^3.

Кларк молибдена 0,0011%. Концентрация 5000. Из более 10 минералов молибдена практическую ценность представляют молибденит MoS_2 (60%Mo), второстепенную роль играет молибдошеелит Ca $(Mo,W)O_4$ (0,5 – 15 %Mo). Содержание молибдена в рудах от 0,3до 0,9%.

Присутствует свинец, цинк, висмут, золото, серебро, селен, теллур.

Руды вольфрама, как правило, комплексные. В них часто присутствуют молибденит, касситерит, минералы висмута, реже встречаются золото, серебро, цинк и др. В вольфрамитах иногда в значительных количествах содержаться примеси тантала, ниобия, скандия, реже индия. Содержание WO_3 в рудах колеблется от 0,1 до 1-3%. Обогащение вольфрамитовых (гюбнеритовых, ферберитовых) руд производится обычно гравитационными методами, а шеелитовых – путем флотации и флотогравитационным способом. Методы извлечения из руд тунгстита не разработаны. Металлический вольфрам получают при переработке концентратов, содержащих 55 – 67% WO_3.

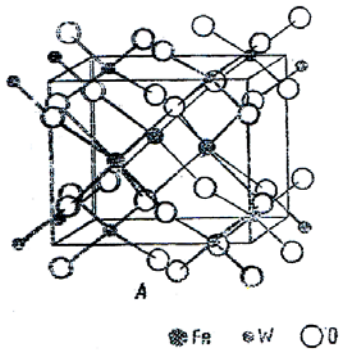


Рисунок 3.28– Кристаллическая решетка вольфрамита.

Вольфрамит (Fe, Mn) WO_4. Содержание WO_3 около 75%. Из примесей Ca, Nb, Ta, Mg, Sn и др.

Сингония моноклинная [L_2PC]. Образует кристаллы различной формы, чаще призматические и таблитчатые, но обычно массивные или таблитчатые агрегаты, сплошные зернистые массы.

Цвет темно-серый или коричневый до черного. Черта бурая, коричневая до черной. Блеск металлический, жирный, смолистый и алмазный. Хрупкий. Твердость 4 – 4,5. Плотность 7 – 7,2. Спайность, совершенная в одном направлении (О10). Отражательная способность 14 – 17 (возрастает по мере увеличения железа).

Показатель преломления Nm=2,22, Np=2,17, Nm – Np =0,05 – 0,10. Богатые железом разности слабо магнитны. Микротвердость Н – 232 – 626(50). Реактивы не действуют. П.п.тр. на угле при сильном дутье сплавляется в магнитный порошок. С бурой реагирует на Mn и Fe.

Диагностические признаки. Высокая плотность, таблитчатые кристаллы, совершенная спайность.

Парагенезис. Халькопирит, молибденит, пирит, сфалерит, в грейзенах ассоциирует с топазом, флюоритом, турмалином, бериллом, касситеритом.

Шеелит $CaWO_4$. Назван в честь шведского химика Шееле. Химический состав CaO 19,4%, WO_3 80,6%. Иногда примесь молибдена MoO_3 (до 10%), а также небольшая примесь Sr, Nb и Ta, а Ca замещается TR.

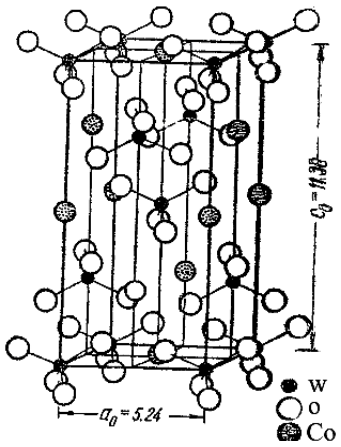


Рисунок 3.29 – Кристаллическая решетка шеелита

Сингония тетрагональная [L_4PC]. Облик дипирамидальный, чаще вкрапленность идиоморфных зерен, массивные зернистые агрегаты. Бесцветный, белый, коричневый, зеленый или желтый. Черта белая. Твердость 7,5. Хрупкий. Плотность 6. Спайность по {111} ясная. Излом неровный. Блеск жирноватый, алмазный.

Оптически положительный Nq =1.937, Nm=1.920; Nq – Nm =0,017. Обычна голубоватая люминесценция в ультрафиолетовых лучах. Растворимость весьма незначительная. П.п.тр. плавится трудно. Разлагается в HCl и HNO_3. Микротвердость Н – 392 – 412(50).

Диагностика. Микроскопически диагностируется трудно, наиболее характерна люминесценция в катодных лучах.

Парагенезис. Ассоциирует с гранатом, эпидотом, молибденитом, иногда также с пирротином, касситеритом, флюоритом.

Молибденит MoS_2. Название происходит от греческого слова молибдас – "свинец", из-за внешнего сходства со свинцом.

Синоним: молибденовый блеск.

Химический состав. Mo 60%, S 40%. Примеси Ti (до 2%) Re (до 1,8%), Se, Nb, V, Zn. Известны железосодержащие и медьсодержащие разности.

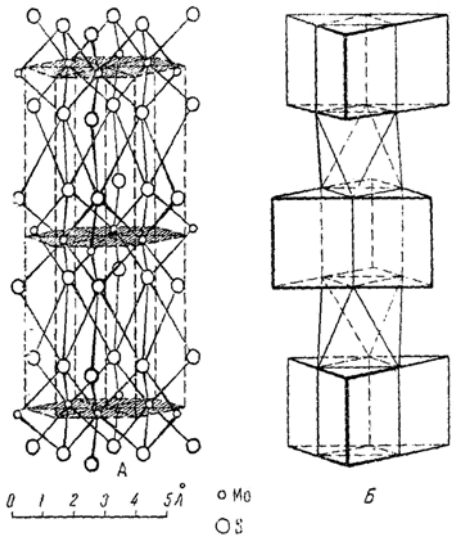


Рисунок 3.30 – Кристаллическая решетка молибденита

Сингония гексагональная [L66L26PC]. Обычно встречается в виде листовых, чешуйчатых агрегатов.

Чешуйки гибкие, но не упругие. Иногда встречаются сферолиты и скрытокристаллические агрегаты.

Цвет голубовато-серый, черта серая с зеленоватым отливом. Блеск металлический. Твердость 1. Жирен на ощупь. На бумаге оставляет черту как графит. Плотность 4,6 – 4,7. Спайность весьма совершенная по (0001). Электропроводность незначительная, повышается при повышении температуры. Температура плавления 1185о.

Двупреломление очень сильное. Анизотропия очень сильная. Микро-твердость 4 – 10 по (1010) и 33 – 74 по (0001). Оптимальная нагрузка 10 г.

Диагностические признаки. Низкая твердость, от графита блеском, от гранита твердостью. П.п.тр. не плавится. Окрашивает пламя в слабо желтый цвет. Разлагается концентрированной H_2So_4.

Парагенезис. Кварц, флюорит, турмалин, сульфиды Cu, Zn, и Fe, вольфрамит.

Из сульфидных медно-молибденовых руд флотацией получают коллективный медно-молибденовый концентрат,

который затем разделяют на медный и молибденовый путем дополнительной флотации молибденита. При обогащении кварц-вольфрамит-молибденитовых руд сочетают методы гравитации (производство вольфрамитовых концентратов) и флотации (получение молибденитовых концентратов). Из скарновых шеелит-молибденитовых руд флотацией вначале извлекают молибденит, а из хвостов молибденовой флотации – шеелит. При переработке руд во всех случаях путем флотации получают молибденитовый концентрат, содержащий 45 – 58% Mo.

Обогащение руд, содержащих гипергенные минералы молибдена (повелит и молибдит), представляет большие трудности. В настоящее время разработаны способы получения повеллитовых концентратов, а проблема обогащения руд, содержащих молибдит, до сих пор не решена.

Цветные металлы
Медь

Общие сведения.

Применение. Медь обладает высокой электро- и теплопроводностью, химической устойчивостью, ковкостью, тягучестью и поэтому используется в различных отраслях промышленности: электротехнической и средств связи (50%), машиностроительной, пищевой и химической(25%). Широко известны сплавы меди с оловом, свинцом, алюминием, кремнием, бериллием (бронзы), цинком (латунь), никелем (мельхиор) и т.д.

Запасы и добыча. Запасы меди в развитых странах и в развивающихся странах около 1 млрд.т. Распределение запасов по континентам и странам крайне неравномерное. Почти половина мировых запасов приходится на Южную Америку (Чили, Мексика, Перу). Примерно по 15% приходится на Северную Америку (США и Канада) и, наконец, почти 10% запасов меди в недрах Филиппин и Ирана.

Страны СНГ по запасам и добычи меди в числе ведущих, причем наибольшими запасами обладает Казахстан. Основные страны продуценты меди США (1,1 млн.т.), Канада (0,8 млн.т.), а всего добыча меди осуществляется в 37 странах, и достигла 6,5

млн.т. Цена меди на мировом рынке составляет 1300 – 1600 долл. за 1т.

Геохимия и минералогия. Кларк меди 0,01%, коэффициент концентрации – 200, известно 250 минералов меди.

Промышленными минералами меди являются сульфиды: халькопирит $CuFeS_2$(37% Cu), борнит Cu_5FeS_4 (63,3 Cu), халькозин Cu_2S (79,8%Cu),блеклые руды $3Cu_2S(Sb,As)_2S_3$ (52 – 57%Cu). В зоне гипергенеза сульфиды легко окисляются, образуются вторичные минералы: малахит $CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$ (57,4%Cu), азурит$2CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$(55,3Cu), хризоколла $CuSiO_3$(36%Cu)·nH2O, куприт Cu_2O(88,8%Cu), самородная медь Cu. Значительная часть меди растворяется в поверхностных водах, выносится из верхней части рудных тел на более глубокие уровни, где происходит отложение вторичных сульфидов (халькозина, ковеллина, борнита) и, таким образом, возникает зона вторичного сульфидного обогащения медноколчеданных и медно-порфировых месторождений. Основное промышленное значение имеют сульфиды – халькопирит, борнит, халькозин и кубанит. На них приходится около 90% мировых запасов и добычи меди.

Типы руд и кондиции. Медные руды по содержанию меди разделяются на весьма богатые (содержание меди более 3 – 5%), богатые (более 2% меди, а для руд медно – порфировых месторождений – более 1%), среднего качества, или рядовые (более 1%, для медно – порфировых – более 0,4%) и бедные (0,7 – 1%, для медно – порфировых – менее 0,2%). По степени окисления руды подразделяются на сульфидные, смешанные и окисленные.

Медные руды, как правило, являются комплексными. В них обычно присутствуют минералы железа, цинка, свинца, молибдена, мышьяка, сурьмы, содержатся золото, серебро, селен, теллур, рений, кадмий, германий, индий, галлий, таллий. При геолого-промышленной оценке месторождений и расчете кондиций учитывается ценность извлекаемых попутно компонентов.

Около 85% медьсодержащих руд подвергается обогащению методом флотации. Только небольшая часть богатых медно – никелевых и сплошных медно – колчеданных руд пригодна для непосредственной плавки. Медно – никелевые руды обогащаются по схемам селективной и коллективной флотации с получением

медного и медно – никелевого концентратов. Железо – медные руды в габброидах, карбонатитовые и скарновые, перерабатываются по схемам селективной флотации и магнитной сепарации с получением медного и железного (магнетитового) концентратов. Молибденово-медные руды медно-порфировых месторождений обогащаются способом коллективной флотации с последующим разделением полученного продукта на медный и молибденовый концентраты. Собственно медные руды месторождений медистых песчаников и сланцев, жильных, самородной меди перерабатываются по схемам селективной флотации с получением одного медного концентрата, причем при обогащении руд с самородной медью производится дополнительное извлечение способом гравитации на концентрационных столах. Медные, цинково-медные и медно-цинковые колчеданные руды перерабатываются по схемам прямой селективной либо коллективной и коллективно-селективной флотации с выпуском медного, цинкового и серного (пиритового) концентратов. Окисленные и смешанные руды при благоприятных условиях также перерабатываются с помощью флотации, но чаще способом химического и бактериального выщелачивания в чанах и кучного. Извлечение меди из руд различных типов колеблется в пределах 50 – 97%, содержание ее в концентратах – от 15 до 50% в зависимости от минерального состава руд, а также их структурных и текстурных особенностей. Наиболее высокие содержания меди (до 50%) характерны для концентратов, получаемых из борнитовых и халькозиновых руд, минимальные – из халькопиритовых.

Основные месторождения меди важнейших геолого-промышленных типов имеют геологический возраст от раннего докембрия до кайнозоя включительно и располагаются в пределах, как протяженных глобальных металлогенических поясов, так и обособленных рудных районов.

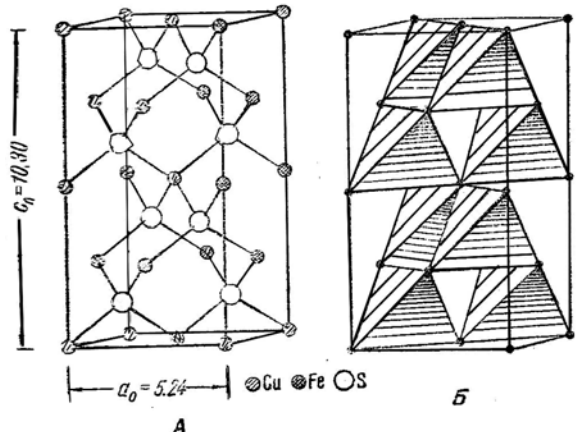
Халькопирит $CuFeS_2$. Халькос по-гречески «медь»; пир- «огонь». Синоним медный колчедан. *Химический состав* Cu 34,57%, Fe 30,54%, S 34,9%. В виде примесей встречается Mn (до 3%), As (до 1,5%), Sb (до1%), Zn, In, Bi и др.

Кристаллическая структура координационная, производная от структуры типа сфалерита.

Сингония тетрагональная [L42L22P]. Слагает в основном сплошные массы, кристаллы редки, преимущественно тетраэдры, реже скаленоэдры. Характерны двойники. Известны также колломорфные образования почковидной формы.

Цвет латунно-желтый с синей или пестрой побежалостью. Черта черная с зеленоватым оттенком. Блеск яркий металлический. Твердость 3 – 4. Плотность 4,1 – 4,3. Спайность несовершенная. Хрупкий с раковистым изломом. Двуотражение очень слабое. Микротвердость Н – 184 – 223(50).

Структурное травление. Пары царской водки в течение 10-20 секунд.



А – расположение центров ионов меди, железа и серы;
Б – та же решетка, изображенная в виде тетраэдра
Рисунок 3.31 – Кристаллическая решетка халькопирита.

Микрохимические реакции на Cu.

Диагностические признаки: от пирита меньшей твердостью, от пирротина отсутствием магнитности. П.п.тр. растрескиваясь сплавляется в магнитный шарик. С содой на угле дает порошок. Растворяется в азотной кислоте с выделением серы.

Парагенезис. Пирит, галенит, сфалерит, сульфиды никеля, сульфиды и оксиды меди (ковеллин, халькозин).

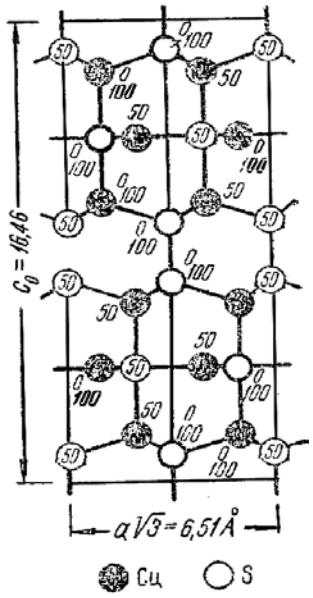
Ковеллин – CuS. Назван по имени итальянского минералога Ковелли. Синоним: медное индиго.

Химический состав. Cu 66,5%, S 33,5%. Химическими анализами устанавливаются примеси: Fe, Se, Ag и Pb.

Сингония гексагональная [$L_6 6 L_2 7 PC$]. Кристаллы встречаются чрезвычайно редко и имеют вид мелких тонких табличек. Кристаллическая структура. Ковеллин обладает оригинальной слоистой гексагональной решеткой.

Агрегаты. Обычно ковеллин наблюдается в виде тонких примазок ярко-синего цвета или синевато-черных порошковатых или сажистых масс.

Цвет ковеллина индигово-синий. Черта серая до черной. Непрозрачен. В тончайших листочках просвечивает зеленым цветом. Блеск металлический. Отражательная способность низкая (26 – 18). Обладает исключительно резко выраженной оптической анизотропией, часто иризирует. Твердость 1,5 – 2. Хрупок. В тонких пластинках несколько гибок. Спайность, совершенная по {0001}. Удельный вес 4,59 – 4,67.



Цифры, стоящие у ионов показывают относительные высоты их над плоскостью чертежа.

Рисунок 3.32– Кристаллическая решетка ковелина, спроектированная вдоль оси *a*.

Диагностические признаки. Легко узнается по ярко синему цвету, низкой твердости и ассоциации с сульфидами меди, а под микроскопом, кроме того, по сильной анизотропии. П.п.тр. легко плавится, загораясь голубым пламенем и выделяя So_2. В отличие от халькозина в запаянной трубке дает возгон серы. В горячей азотной кислоте растворяется с выделением серы; раствор приобретает зеленый цвет.

Парагенезис – сульфиды меди (халькопирит, борнит).

Свинец и цинк

Общие сведения

Применение. Свинец, благодаря химической стойкости, ковкости, мягкости, большой плотности и низкой температуре плавления используется в производстве аккумуляторов (40% объема выплавки), оболочек, кабеля, баббитов, типографского сплава, защиты от радиоактивного излучения. Цинк, обладающий антикоррозийными свойствами, применяется для оцинкования различных изделий (40%), получения латуни, бронзы, мельхиора, цинковых белил.

Запасы и добыча. Общие запасы свинца (без СНГ) оцениваются в 180 млн.т., цинка – 319 млн.т., достоверные соответственно равны 112 и 170 млн т. Большинство разведанных запасов свинца (80%) и цинка (75%) сосредоточены в США, Австралии, Канаде. Значительные запасы этих металлов также в Мексике, ЮАР, Иране, Испании, Перу. Годовая добыча свинца составляет 2,6 млн т., цинка – 5 млн.т.; она ведется в США. Австралии, Канаде, ЮАР, Перу, Мексике, Швеции. Цены на свинец и цинк на мировом рынке составляют соответственно 420 – 600 и 830 – 1000 долл. За 1т.

Запасы свинца и цинка в странах СНГ сосредоточены в многочисленных месторождениях Казахстана, Узекистана, Сибири, Дальнего Востока и Кавказа. По запасам (в млн.т.) месторождения делят на весьма крупные (>2), крупные (0,6 – 2), средние (0,2 – 0,6) и мелкие (<0,2).

Геохимия и минералогия. Кларк свинца 0,0016%, цинка 0,01%. Содержание свинца и цинка в различных толщах пород, соответственно: в ультраосновных – 0,00001 и 0,003, в основных 0,0008 и 0,013, в средних – 0,0015 и 0,0072 и в кислых – 0,002 и 0,006. Таким образом, кларк цинка не менее чем в 5 раз больше кларка свинца. Наиболее высокое содержание цинка связано с породами основного ряда. Содержания его от основных пород к кислым понижаются, а содержания свинца, наоборот, увеличиваются.

Промышленными минералами свинца являются галенит PbS (86,6% Pb), (55,4% Pb), джемсонит $Pb_4FeSb_6S_{14}$ (42,6% Pb), англезит $PbSO_4$, церрусит $PbCO_3$ и др. Главное промышленное значение принадлежит галениту.

Промышленные минералы цинка представлены сфалеритом ZnS (67%Zn), смитсонитом $ZnCO_3$ (52%Zn), каламином $Zn_4Si_2O_7[OH]_2xH_2O$ (53,7%Zn). Главное значение имеет сфалерит.

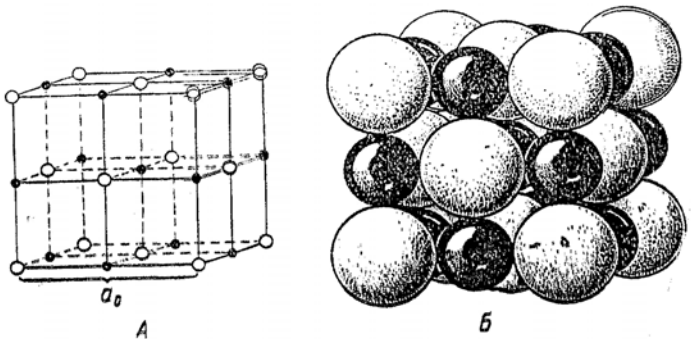
Типы руд и кондиции. Основным источником получения свинца и цинка служат сульфидные руды. Окисленные руды играют подчиненную роль. Свинцово – цинковые руды содержат, как правило, два основных полезных компонента – цинк и свинец. Широко распространены колчеданные медно – цинковые руды,

почти не содержащие свинца. Руды с преобладанием свинца встречаются реже.

По содержанию основных компонентов руды подразделяются на богатые (содержание свинца >4% или суммарное содержание свинца и цинка >7%), среднего качества, или рядовые (2 – 4% свинца или суммарно свинца и цинка 4 – 7%) и бедные (1,2 – 2% свинца или 2 – 4% суммарно свинца и цинка). По степени окисленности различают три типа руд: сульфидный, смешанный и окисленный. В окисленных рудах более половины свинца и цинка находится в оксидной форме. Свинцово – цинковые руды являются, как правило, комплексными и содержат примеси таких ценных компонентов, как золото, серебро, кадмий, висмут, сурьма, ртуть, индий, таллий, галлий, селен (месторождения) с запасами менее 0,5 млн.т суммы металлов обычно считаются мелкими, с запасами 0,5 – 2 млн.т – средними, 2 – 10 млн.т – крупными и более 10 млн.т – уникальными , поэтому их называют полиметаллическими.

Извлечение металлов в одноименные концентраты составляет, %: для свинца 66 – 89, цинка 73 – 94, при содержании цинка в цинковом концентрате 50-58, свинца в свинцовом 50 – 74. Повышение комплексности использования руд достигается попутным извлечением или доизвлечением при их переработке пирита, барита, олова, золота, серебра и некоторых других металлов или элементов, как в виде отдельных продуктов, так и в составе основных концентратов (Абрамов, 2004).

Технология переработки руд зависит от их минерального состава, степени окисления, комплексности, текстуры и структуры, крупности зерен, степени взаимного прорастания одних минералов другими и прочих факторов.



А – расположение центров ионов (черные кружочки-Pb, светлые-S); Б – кристаллическая структура, изображенная в виде шаров в том же масштабе

Рисунок 3.33– Кристаллическая структура галенита.

Галенит PbS. Название от латинского слова "галена" – свинцовая руда. Синоним свинцовый блеск.

Химический состав: Pb 86,6%, S 13,4%, часты примеси: Se, Ag, Bi, Sb, Sn, Zn, Fe, Cd и др.

Сингония кубическая.[$3L_4 4L_3 6L_2 9PC$] Структура координационная Pm3m. Кристаллическая структура типа NaCl (кубическая центрированная решетка). Наиболее часто встречается в виде зернистых и сплошных масс (свинчак), реже кубические кристаллы, а также чашечные колломорфные формы.

Цвет свинцово – серый. Черта серовато – серая. Отражательная способность сравнительно высокая – 43. Блеск металлический. Твердость 2 – 3. Хрупкий. Спайность весьма совершенная по (100). Плотность 7,4 – 7,6. Диамагнитен, проводник электричества. Микротвердость Н – 64 – 110 (10 – 20).

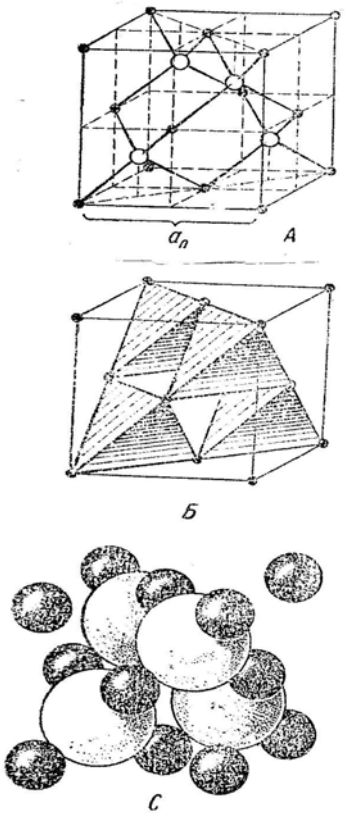
Диагностическое травление – с HNO_3, чернеет, иногда вскипает, HCl – призирует, буреет.

Структурное травление – H_2O_2+NH_4OH в течение 30 – 40с.

Микрохимические реакции – Pb, S.

Диагностические признаки. От молибденита по твердости, от других сульфидов по окраске и сильному металлическому блеску, реакции на Pb.

Парагенезис. Сфалерит, халькопирит, блеклые руды, пирит, пирротин, из нерудных минералов – кварц, барит.



А-расположение центров ионов цинка (черные кружочки) и серы (светлые кружочки); Б-та же решетка, изображенная в виде тетраэдров, внутри каждого из которых располагаются центры ионов серы; С-кристаллическая структура, изображенная в виде шаров

Рисунок 3.34– кристаллическая структура сфалерита.

Сфалерит ZnS. От греческого слова "сфалерос" – обманчивый. Синоним – цинковая обманка. Как правило, содержит примеси Fe(до 26%), Mn(до 8,4%), Cd(до 9,2%), Jn(до 2,5%), Sn(до 2%), Hg(до 35%), Ti(до 1%), Cu(до 8%), Co, Ag.

Сингония кубическая [$3L_4 4L_3 6P$]. Структура координационная, алмазоподобная. Чаще образует сплошные зернистые агрегаты, реже оолиты, сферолиты, полисинтетические двойники.

Цвет в чистом виде белый, обычно светло-коричневый или бурый, редко красный, зеленый, до черного (марматит). Черта светлоокрашенная в желтые или бурые оттенки, у железистых разностей – коричневая. Блеск алмазный N=2,37. Отражательная способность низкая – 17. Твердость 3,5 – 4. Плотность 3,9 – 4,1. Прозрачный и полупрозрачный. Спайность совершенная по (111). Богатые Fe разности парамагнитные, бедные Fe – диамагнитные. Микротвердость Н – 153 – 270(50). П.п.тр. растрескивается, но почти не плавится. Структурное травление – структура выявляется $KMnO_4+H_2SO_4$, в течение 15 сек.

Диагностические признаки. Алмазный блеск, от вольфрамита формой кристаллов, совершенная спайность.

Парагенезис. Сульфиды Pb, Cu, пирит, кварц, барит, флюорит.

Алюминий

Общие сведения.

Применение. Алюминий, благодаря низкой плотности, высокой электропроводности, большой коррозионной устойчивости и механической прочности применяется в авиации, автомобиле- и судостроении, электротехнической промышленности, в изготовлении предметов быта. В мировом производстве известно более 500 тыс. изделий, полученных на его основе. Почти со всеми металлами (кроме свинца) алюминий образует сплавы и химические соединения.

Запасы и добыча. Общие запасы бокситов — главного алюминиевого сырья — в капиталистических и развивающихся странах оцениваются в 57 млрд. т, достоверные — в 26,2 млрд. т. Около 90% запасов сосредоточено в странах тропического пояса, 75% приходится на Австралию, Гвинею, Бразилию, Суринам, Ямайку, Индию, а также Грецию, Францию. Добыча бокситов осуществляется в 28 странах и составляет 74,3 млн. т, 80% объема добычи дают Австралия, Ямайка, Гвинея, Суринам, Гайана, Греция, Франция, США. Мировое производство глинозема (без стран СНГ)

составляет 23—27 млн. т, алюминия 10—12 млн. т. Цены на алюминий в 1985—1990 гг. варьировали от 1200 до 2100 долл./т.

Страны СНГ имеют определенную сырьевую базу для производства алюминия. Основные месторождения бокситов расположены на Северном и Южном Урале, в Западной и Восточной Сибири, Казахстане, Ленинградской области. Месторождения нефелиновых руд имеются на Кольском полуострове, в Сибири, Казахстане. Месторождения бокситов по величине запасов (в млн. т) подразделяют на очень крупные (> 100), крупные (от 100 до 50), средние (от 50 до 15) и мелкие (< 15).

Геохимия и минералогия. Кларк алюминия 8,05%. Массовая концентрация алюминия в земной коре, по А.II. Виноградову, 8,05, в ультраосновных породах 0,45%, в основных 8,76%, в средних 8,85%, в кислых 7,70%, в осадочных 10,45%. Высокие содержания алюминия связаны с породами щелочного ряда. Так, например, в щелочных нефелиновых породах глинозема содержится 22—25 %, в связи с чем они могут служить рудой для получения алюминия.

Алюминий входит в состав 250 минералов. Промышленное значение из них имеют: бёмит и диаспор Al_2O_3 H_2O (85 % Al_2O_3), гиббсит (гидраргиллит) $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$ (65,4 %), нефелин $KNa_3[AlSiO_4]_4$ (34 %) и алунит $KAl_3[SiO_4]_2(OH)_6$ (27 %). Перспективными для получения алюминия считаются кианит, силлиманит, андалузит и каолинит.

В настоящее время в Российской Федерации промышленными минералами являются гиббсит, бёмит, диаспор, нефелин и алунит. Нефелин и алунит — минералы *гипогенные,* а гидроксиды алюминия образуются в экзогенных условиях и представляют собой основные компоненты бокситов. Таким образом, к промышленным типам руд алюминия относятся три типа: *бокситовые, нефелиновые* и *алунитовые.* Получение алюминия — сложный и энергоемкий процесс, включающий два основных производства: химическое (получение глинозема) и электролизное *(*получение металлического алюминия*).* Лучшим сырьем для производства глинозема являются бокситы. Боксит — руда, состоящая в основном из гидроксидов алюминия (гиббсит, бемит, диаспор), а также оксидов и гидроксидов железа и глинистых минералов, в которой отношение содержаний $A1_2O_3$: SiO_2

(кремневый модуль) не менее 2. Сопутствующие бокситам породы с кремневым модулем менее 0,85 называют *сиалитами,* а с модулем 0,85-2 — *аллитами.* Выделяют два основных типа бокситов — *моногидратный* (бемитовый и диаспоровый) и *тригидратный* (гиббситовый), обладающих различными технологическими свойствами, следует различать каменистые, рыхлые, глинистые и другие типы бокситовых руд. Вредными примесями в бокситах, кроме SiO_2, являются также TiO_2, S, CO_2, V, Cr, Ca, Cu, Fe^{2+}, органическое вещество.

Требования промышленности к бокситовым рудам определяются в зависимости от видов их потребления. Выделяют семь марок бокситов, которые отличаются по содержанию Al_2O_3 и по комплексному показателю качества (таблица – 3.10).

По содержанию углекислоты (CO_2) бокситы марок Б – 1, Б – 2, Б – 7 и Б – 8 выпускаются двух сортов, причем первый сорт с содержанием углекислоты не свыше 1,3% от веса сухого боксита. Кроме того, ГОСТ 972-80 предусматривает следующее:

а) в бокситах, предназначенных для производства глинозема, содержание серы не должно превышать: для марок Б – 1, Б–2, Б–7 и Б–8—0,7%; для марок Б – 3, Б – 4 и Б – 5 – 1,0%;

б) в бокситах, идущих для производства глинозема по способу спекания (марки Б-3, Б-4 и Б-5), допускается пониженное содержание окиси алюминия за счет увеличений содержания углекислого кальция;

в) в бокситах, предназначенных для производства электрокорунда, содержание окиси кальция не должно превышать: для бокситов марок Б – В и Б – 0 – 0,5%; для бокситов марки Б-1 —0,8%. Содержание серы допускается не более 0,3%.

г) в бокситах, идущих для мартеновского производства, содержание серы не должно превышать 0,2 %, фосфора – 0,6 % в расчете на P_2O_5.

д) в бокситах, используемых для производства плавленых огнеупоров, содержание окиси кальция не должно превышать 1,5 % и содержание серы – 0,5%.

е) в бокситах, идущих для производства глиноземистого цемента, содержание серы допускается не свыше 0,5%.

ж) содержание видимых разубоживающих примесей (глины, земли, известняка и т. п.) в боксите не должно превышать 1%.

Таблица 3.10– Промышленные требования к качеству бокситов (ГОСТ 972-80)

Марки боксита	Качественный состав		Примерное назначение
	содержание $A1_2O_3$ в пересчете на сухое вещество	весовое отношение $A1_2O_3$:SiO	
БВ Б-0	52 52	12,0 10,0	Производство электрокорунда
Б-1	49	9,0	Производство глинозема, электро-корунда и глиноземистого цемента
Б-2 Б-3	46 46	7,0 5,0	Производство глинозема, плавленых огнеупоров и
Б-4 Б-5	42 40	3,5 2,6	Производство глинозема и огнеупоров
Б-6	37	2,1	Производство огнеупоров, мартенов-ское производство
Б-7	30	5,6	Производство глинозема и глиноземис-того цемента
Б-8	28	4,0	Производство глинозема

Этот показатель выявляется для каждого месторождения конкретными технико-экономическими расчетами. Бокситы для производства глинозема должны иметь комплексный показатель качества не менее 6 и содержание Al_2O_3 не менее 28%.

Бокситы с небольшим содержанием кремнезема перерабатываются на глинозем гидрохимическим методом Байера (бокситы тонко размалываются и обрабатываются концентрированным раствором NaOH). Бокситы с повышенным содержанием кремнезема сначала подвергаются спеканию (шихта из боксита, известняка и соды) при температуре 1150—1250°С, а затем на них воздействуют оборотными щелочными растворами слабых концентраций.

При переработке бокситов по методу Байера ванадий и галлий в значительной мере переходят в алюминатные растворы, из которых они могут быть извлечены в промышленном масштабе. Ведутся лабораторные исследования по утилизации красных шламов, остающихся при переработке бокситов.

Нефелиновые руды являются важнейшим источником получения глинозема в России. Оценка нефелиновых пород как комплексного сырья производится на основе двух показателей — щелочного модуля, представляющего собой молекулярное отношение (K_2O+Na_2O): Ai_2O_3, и молекулярного отношения SiO_2: $A1_2O_3$. Наиболее рентабельна переработка пород со щелочным модулем, близким к 1, и молекулярным отношением SiO_2: $A1_2O_3$ не более 3,3—3,4. В России успешно перерабатываются нефелиновые концентраты и уртиты, которые смешиваются с известняком, спекаются во вращающихся печах, а затем выщелачиваются. При производстве 1 т глинозема попутно получают 1 т содопродуктов (соды и поташа) и 10 т цемента.

Алунитовые руды служат комплексным сырьем дня получения глинозема, калийных удобрений и серной кислоты.

Промышленные типы месторождений

Промышленными типами алюминиевых месторождений являются следующие: 1) бокситовые, включающие несколько подтипов (см. далее); 2) нефелиновые, объединяющие два подтипа - нефелин-апатитовые в расслоенных массивах щелочных пород и нефелиновые породы; 3) алунитовые гидротермальные. В зарубежных странах разрабатываются лишь бокситовые месторождения. В России кроме бокситов используются, как уже упоминалось, нефелиновые руды, которым принадлежит значительная доля (около 10 %) в производстве этого металла, и алунитовые, роль, которых невелика.

Гидрооксиды алюминия. К этой группе относятся гидраты глинозема: диаспор, белит и гидророаргиллит (гиббсит). Они имеют близкий состав, сходные свойства и исключительно тесно ассоциируют друг с другом в природе. Они являются основными компонентами бокситов.

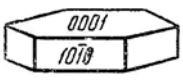


Рисунок 3.35– Кристалл гидраргиллита

Гидроаргиллит – $Al(OH)_3$ (название

происходит от греческих слов «гидро» - вода и «аргиллос» - белая глина).

Al_2O_3-65%, H_2O-35%. Примеси: SiO_2, Fe_2O_3, Ga_2O_3.

Моноклинная сингония $\{L_{22}P\}$. Структура слоистая. Основой структуры являются слои ионов алюминия, заключенных между слоями гидроксильных ионов. Гидроаргиллит образует преимущественно тонкочешуйчатые или скрытокристаллические массы. Встречаются натечные и радикально-лучистые агрегаты. Кристаллы в соответствии с особенностями структуры имеют шестиугольно-таблитчатый облик.

Физические свойства. Цвет белый. Иногда гидроаргиллит имеет серый, красный или зеленоватый оттенок. Блеск стеклянный до перламутрового. Твердость 2,5-3,5. Плотность 2,4. Спайность весьма совершенная по (001). Прозрачен, хрупок.

Диагностические признаки. Малая плотность, весьма совершенная спайность, стеклянный блеск. От диаспора по твердости (у диаспора - 6).

Парагенезис, бемит, диаспор, корунд, гидрооксиды железа.

Диаспор AlOOH (от греческого «Диаспора» - растрескивание, из-за растрескивания при нагревании). Теоретический состав: Al_2O_3 – 85%, H_2O – 15%. Часты изоморфные примеси Fe_2O_3 (до 11%), Cr_2O_3 (до 6,5%), в небольших количествах TiO_2, MgO, CaO, SiO_2.

Сингония ромбическая $3L_23PC$. Структура цепочечная. Вытянутость цепочек вдоль вертикальной оси обуславливают столбчатый и игольчатый облик кристаллов. Встречаются также в виде тонколистовых и чешуйчатых агрегатов. Кристаллы имеют столбчатый и таблитчатый облик.

Физические свойства. Цвет белый, фиолетовый, розовый. Черта белая. Блеск стеклянный, на плоскостях спайности близкий к алмазным. Твердость 6-7. Спайность совершенная; очень хрупкий, излом неровный. Плотность 3,4. Оптические константы Ng=1,750, Nm=1,722, Np=1,702, Ng-Np=0,048. Оптически положительный. Непроводник электричества.

П.п.тр. не плавится. В кислотах и щелочах не растворяется. Разлагается с трудом в H_2SO_4 (после прокалывания) и HF.

Диагностические признаки. Большая твердость и хрупкость, чешуйчатые агрегаты. При нагревании выделяет воду и переходит в корунд.

Парагенезис. Совместно с корундом, в жилах с флогопитом, пиритом, во вторичных кварцитах с корундом, каолинитом, алунитом, рутилом, гематитом.

Бемит $Al(OH)_3$ (назван по фамилии первооткрывателя И.Бема). Полиморфная модификация диаспора.

Структура слоистая. $3L_23PC$ Бемит обычно образует скрытокристаллические агрегаты, также в виде землистых, тонкочешуйчатых агрегатов, кристаллы редки.

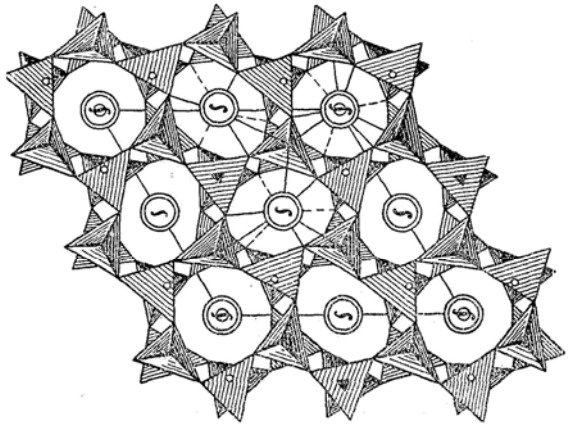
Физические свойства. Цвет белый, часто окрашен механическими примесями в желтоватый и зеленоватый цвета. Черта белая. Твердость 3,5. Плотность 3,1. Прозрачный, полупрозрачный, хрупкий. Спайность совершенная по (010). Оптические константы Ng=1,654; Np=1,640; Ng-Np=0,014. П.п.тр. не плавится, в кислотах не растворяется.

По *диагностическим признакам* сходен с диаспором, но обладает значительно меньшей твердостью. Уверенно диагностируется только рентгеноструктурным анализом.

Парагенезис с другими гидрооксидами алюминия.

Нефелин – Na, K [$AlSi_2O_4$] (Na_2O – 16%, Al_2O_3 – 33%, K_2O – 5-6%) или $Na_2O{\cdot}Al_2O_3{\cdot}2SiO_2$; от греческого «нефели» – облако. Постоянно присутствуют K_2O (5 – 20%), а также примеси CaO, иногда Fe_2O_3, H_2O, редко Ga_2O_3 (до 0,01 %) и BeO (0,01 – 0,1 %) Ga, Mg, Ti.

Сингония гексагональная. Кристаллы



Тетраэдры каждого слоя поочередно направлены вершинами кверху и книзу. Двойные полые круги в полостях решетки – ионы натрия (два друг над другом или один ион кальция)

Рисунок 3.37– проекция кристаллической решетки нефелина на плоскость (0001).

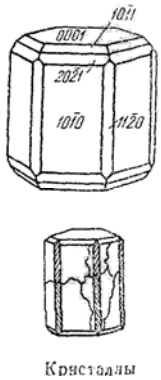


Рисунок – 3.36 кристаллы нефелина

Rb,

редки, чаще – круп-ные зерна и блоки кристаллов, в основном мелко- среднезернистые агрегаты. Главное развитие имеют призма (1010) и дипирамида (1111).

Физические свойства. Цвет серый, реже мясо-красный, грязно-зеленый, редко минерал бесцветный. Блеск на плоскостях кристаллов стеклянный, в изломе жирный. Иногда полупрозрачен. Твердость 5,5-6. Плотность 2,55 – 2,65. Оптические константы: оптически отрицательный Nm=1,532 – 1,547, Np=1,529 – 1,542; Nm-Np=0,003 – 0,005. Плавится при температуре 1100 °С. Разлагается кислотами.

Диагностические признаки. По высокой плотности, призматической формой кристаллов и очень характерными псевдоквадратными поперечными срезами.

Парагенезис. Апатит, циркон, ильменит, сфен.

Ртуть

Общие сведения.

Применение. Ртуть способна находится в жидком состоянии и обладает свойствами растворять металлы, излучать в парообразном состоянии ультрафиолетовые лучи, пропускать электрический ток в одном направлении, образовывать самовзрывающиеся соединения и др. Используется в производстве взрывчатых материалов, в электро- и радиотехнической промышленности, энергетике (как поглотитель тепла), химической и фармацевтической промышленности, сельском хозяйстве.

Основные месторождения ртути расположены в Испании (90 тыс. т), Италии (12 тыс. т), Турции, Мексике, США, Канаде. Основная добыча ртути – 3,7 тыс. т. в год приходится на Испанию (40%), Италию, Мексику, Канаду, США, Турцию, Алжир. Цены на ртуть подвержены значительным колебаниям и составляют в настоящее время соответственно 8-10 долл. за 1 кг.

СНГ имеет надежную минерально-сырьевую базу ртути. Ведущие по запасам биметальные месторождения расположены в Средней Азии, Казахстане, Сибири, на Дальнем Востоке, а ртутные, кроме того, на Кавказе, в Закавказье, Карпатах. По масштабам запасов (в тыс. т) месторождения разделяют на очень

крупные, (> 25Hg), крупные (10—25 Hg), средние (< 3Hg), мелкие (<3Hg).

Геохимия и минералогия. Кларк ртути 0,000003%. Коэффициент концентрации исключительно высокий – 1 000 000. Повышенные содержания металлов характерны для базальтоидов. Из 20 ртутных минералов самым распространенным является промышленный минерал – киноварь HgS (86,2%).

Выделяются два типа руд: *собственно ртутные,* в которых киноварь сопровождается небольшими количествами метациннабарита, самородной ртути и других ртутных минералов; комплексные (сурьмяно-ртутные, ртутно-сурьмяные, ртутно-сурьмяно-флюоритовые, ртутно-мышьяковые). Кроме того, ртуть извлекается попутно из некоторых полиметаллических руд и видов минерального сырья. Попутное извлечение ртути преследует цели не только комплексного использования сырья, но и охраны окружающей среды.

По содержанию ртути (в *%) в монометалльных рудах* выделяют три промышленных сорта: штуфные (> 1), богатые (0,3-1) и рядовые (0,04-0,3). Переработка их осуществляется пирометаллургическим способом. Образующиеся при обжиге печные газы и пары ртути охлаждаются в системе труб, в результате чего получают металлическую ртуть и заводской полупродукт - ступпу, содержащую до 80% этого элемента. Вредными примесями ртутных руд считаются сурьма, мышьяк, органические (углеродистые) соединения, а в ртутно-сурьмяных рудах также сульфиды Fe, Cu, Zn и Pb.

Ртутно-сурьмяные руды перерабатываются комбинированным способом. Сначала руды обогащаются гравитационно-флотационным или флотационным методом, а затем производится пирометаллургическая переработка коллективного ртутно-сурьмяного концентрата. Вредными примесями в этих рудах являются реальгар и аурипигмент, сульфиды железа, меди, свинца, цинка.

Ртутно-сурьмяно-флюоритовые руды (содержащие более 10% флюорита) также перерабатываются комбинированным способом. Сначала осуществляется флотация сульфидов, а затем из

хвостов флотируется флюорит. Технология переработки этих руд очень сложна.

Качество получаемой ртути оценивается *по нелетучему остатку после* возгонки испытываемой пробы металла.

Промышленные типы месторождений. В качестве промышленных *типов месторождений выделяются следующие:* 1) комплексные флюорит-сурьмяно-ртутные в джаспероидах; 2) ртутные преимущественно пластообразные, включающие два подтипа: в песчаниках и в вулканогенно-осадочных породах; 3) жильные и жилообразные ртутные, также объединяющие два подтипа: лиственитовый и карбонатный. Основными в СНГ являются месторождения двух первых типов.

Киноварь HgS. Впервые назван Теофастом около 315 г. до н.э. Название пришло из Индии. *Химический состав*. Hg-86,2%; S-13,8%. Примеси не характерны.

Сингония тригональная [$L_3 3L_2$]. *Облик кристаллов.* Мелкие толстотаблитчатые иногда ромбоэдрические кристаллы, редко двойники. *Агрегаты.* Обычно тонкозернистые, плотные, а также землистые агрегаты, в виде корок и вкрапленности в породе.

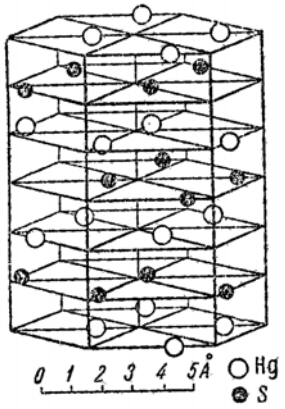


Рисунок –3.38 кристаллическая решетка киновари

Физические свойства. Цвет красный до коричневато-красного. Черта красная. Блеск алмазный, когда киноварь чистая; тусклый землистый, когда с примесями. Полупрозрачна. Оптически положительна. Показатели преломления высокие: Ng-3,272, Nm-2,913. Твердость 2-2,5. Хрупка. Спайность по (1010) совершенная. Плотность 8,1. П.п.тр. на угле возгорается без остатка. Отражение λ - 30 – 26. Двуотражение слабое. Анизотропия сильная. Микротвердость H – 64 – 98 (10 – 20). Растворяется в царской водке, хлоре.

Диагностические признаки. Ярко красная окраска, низкая твердость.

Парагенезис. В жилах с пиритом и сульфидами меди, в низкотем-пературных гидротермальных месторождениях с кварцем, кальцитом, редко сульфидами As и Sb.

Практическое значение. Единственная руда на ртуть (имеет более 2000 областей применения, в частности, компонент взрывчатых материалов).

Олово

Общие сведения.

Применение. Олово широко применяется благодаря легкоплавкости, мягкости, ковкости, химической устойчивости и способности давать высококачественные сплавы. Олово используется для приготовления белой жести и фольги (до 50% производства), припоя, бронзы, для лужения, а также для получения баббита (для подшипников трения), типографских сплавов, эмалей.

Запасы и добыча. Общие запасы олова в капиталистических и развивающихся странах составляют 7,3 млн т, достоверные 4 – млн т. Основная часть их сосредоточена в Индонезии (0,7 млн т) Малайзии (0,6 млн т), Боливии и Бразилии (по 0,5 млн т), Таиланде (0,4 млн т). Производство олова в концентрате (достигает 190 тыс. т) приходится в основном на Малайзию (63), Индонезию (29), Таиланд (34), Боливию (30), Австралийский Союз (11), Бразилию (7) и др. СНГ имеет прочную минерально-сырьевую базу олова. Группы месторождений располагаются в Магаданской области, республике Саха (Якутия), Забайкалье, Приморье, Киргизии. По запасам металла (в тыс: т) месторождения олова делятся на весьма крупные (> 100), крупные (25—100), средние (5—25), мелкие (5). Цена 1 кг олова на мировом рынке 12—14 долл.

Геохимия и минералогия. Кларк олова 0,025%. Массовая концентрация олова в земной коре, по А.П. Виноградову, составляет 0,00025%, в ультраосновных породах 0,00005%, в основных 0,00015% и в кислых 0,0003%. Таким образом, содержание олова от основных пород к кислым резко возрастает. Известно около 90 минералов олова, из которых промышленное значение имеют касситерит SnO_2 (78,62%) и станнин $CuFeSnS_4$ (27,5%).

Типы руд и кондиции. Олово извлекают из касситерит-силикатных, касситерит-сульфидных и касситерит-вольфрамитовых руд. Касситерит-силикатные руды сложены касситеритом, турмалином, кварцем хлоритом. Руды вкраплены, полосчатые, брекчиевидные, легкообогатимые, извлечение 75-80%. Касситерит-сульфидные руды состоят из касситерита, пирротина, туита, сульфиды цинка, свинца, олова, сурьмы. Руды труднообогатимые, извлечение олова ≈ 40%. Касситерит-вольфрамитовые руды, в которых кроме касситерита и вольфрамита могут присутствовать также топаз, флюорит, кварц. Руды обычные, массивные средне и мелкозернистые, легкобогатимые, извлечение олова 75-80%.

По содержанию металла оловянные руды разделяют на богатые (> 1%), средние (0,4—1%) и бедные (0,2—0,4%). Минимальное промышленное содержание олова составляет 0,1%, в коренных месторождениях и 200 г/м^3 - в россыпях.

Касситерит (оловянный камень) **SiO_2** (Sn-78,8%) содержит примеси Fe, Nb, Ta, W. Название от греческого слова «касситерос» - олово. Спектроскопически устанавливаются Sc, Hf, Ga, Jn.

Сингония тетрагональная [$L_4 4L_2 5PC$]. Кристаллы призматического вида, дипирамидальные, редко изометричные, характерны двойники. Встречается также в виде желваков и натечных форм. Натечные плотные формы касситерита бурого цвета, похожие на древесину, называются «деревянным» оловом.

Цвет, в зависимости от примесей, бурый, коричневый, желтый, белый, иногда черный, изредка почти бесцветный. Черта у темных разностей обычно слабо окрашенная в буроватые оттенки, светло-коричневая. Блеск металловидный или алмазный, в изломе слегка жирный. Твердость 6,5 – 7. Микротвердость Н – 731 – 1528 (200). Плотность 6,8 – 7,0. Труден для диагностики. Оптически положительный Ng=2,09, Nm=1,99; Ng-Nm=0,10. Касситерит весьма устойчив к химическим воздействиям. Характерной реакцией для распознания касситерита – с соляной кислотой: грани зерна становятся светло-серыми за счет восстановления металлического олова.

Диагностические признаки. Сильный блеск, высокая плотность, тетрагональный облик кристаллов.

Парагенезис: с турмалином и гранатом в грейзенах; в жилах с кварцем, флюоритом, арсенопиритом; иногда с галенитом и сфалеритом.

Повышенные количества олова (до 25%) в виде примеси, приобретающие промышленное значение, также содержатся в силикатных минералах, вредные примеси сурьма, ртуть, мышьяк.

Однако оловянные руды большей частью комплексные и содержат в переменных количествах вольфрам, медь, серебро, тантал, ниобий, индий, кадмий.

Редкоземельные металлы
Тантал и ниобий

Общие сведения

Применение. Тантал и ниобий близки по свойствам. Они широко используются для производства жаропрочных и нержавеющих сталей, сверхтвердых и сверхтугоплавких сплавов, применяемых в ракето-, авиастроении, атомной энергетике, радиоэлектронике, химическом машиностроении. Значительная часть тантала используется для производства электролитических конденсаторов для ракет, космических кораблей.

Запасы и добыча. Мировые запасы (без стран СНГ) оцениваются в 15—20 млн. т Nb_2O_5 и 0,15 млн. т Ta_2O_5. Крупные месторождения имеют запасы более 500 тыс. т Nb_2O_5 и более 15 тыс. т Ta_2O_5, средние соответственно 500—100 и 15—2 тыс. т, мелкие — менее 100 и менее 2 тыс. т. Богатые месторождения содержат более 0,4% Nb_2O_5 и 0,025% Ta_2O_5, бедные соответственно 0,1—0,15 и 0,012—0,015%. Крупные и богатые месторождения ниобия находятся в Бразилии (Борейро-де-Араша), тантала — в Канаде (Берник-Лейк). Мировое производство (без стран СНГ) ниобиевых концентратов (50—55% Nb_2O_5) составляет 16 тыс. т, танталовых (60 % Ta_2C_5) — около 700 т. Кроме того, тантал извлекают, при переработке шлаков оловоплавильных заводов (Таиланд, Малайзия, Конго). Цена 1 кг Nb_2O_5 изменяется от 9,4 долл. в колумбитовом до 7,16 долл. в пирохлоровом концентрате (60% Nb_2O_5), а цена 1 кг Ta_2O_5 в танталитовом концентрате составляет 60 долл.

Геохимия и минералогия. Кларк Nb $2 \cdot 10^{-3}$%, Ta $2{,}5 \cdot 10^{-4}$%. Повышенные содержания их характерны для гранитов, нефелиновых сиенитов, ультраосновных щелочных пород и карбонатитов. Коэффициент концентрации обоих металлов около 50 Известно более 50 минералов ниобия и тантала. Главное промышленное значение из них имеют минералы групп танталита — колумбита (Fe, Mn). $(Nb, Ta)_2O_6$ (75—86% Nb_2O_5 + Ta_2O_5) пирохлора — микролита $(Na, Ca)_2$. $(Nb,Ta)_2O_6(OH, F)$ (30—70% Nb_2O_5 + Ta_2O_5) и лопарит (Na, Ca) $(Ti, Nb, Ta)O_3$ (8—20% Nb_2O_5 + Ta_2O_5).

Типы руд и кондиции. Рассматриваемые металлы в месторождениях встречаются обычно совместно, образуя общие минералы. Соотношение Ta_2O_5/Nb_2O_5 колеблется в широких пределах — от 3:1 до 1:1000. Поэтому выделяются руды танталовые, танталониобиевые и ниобиевые. Минимальные содержания Nb_2O_5 — 0,1%, Ta_2O_5 — 0,01%. Присутствуют примеси Fe, Si, Zr, Th, Mg, Mn, Al (до 10%), Sc (до 1,6%).

В зависимости от генетического типа руды содержат также минералы фтора, циркония, стронция, редких земель, урана, тория и бериллия. Большинство попутных компонентов при обогащении извлекаются в селективные или коллективные концентраты.

Важнейшими промышленными минералами являются для ниобия – пирохлор, а для тантала – танталит.

Пирохлор ($NaCaNb_2O_6F$) от греческого «пир» и «хлорос».

Сингония кубическая.[$3L_44L_36L_29PC$] Обычно мелкие (до 10-15 см) кристаллы и мелко-кристаллические агрегаты. Окраска зеленовато-бурая до черной. Черта черная. Блеск стеклянный со смоляным отливом. Твердость 4-5. Спайности нет, редко отдельность. Излом раковистый. Плотность 3,7-5,0. Содержание Nb_2O_3 в нормальном кристаллическом пирохлоре до 73%, а в измененных разностях снижается до 40-50%. Некоторые разновидности пирохлора потенциальные источники Та и редких земель. Прозрачный до просвечивающего.

Визуальная диагностика затруднена.

Парагенезис – апатит, магнетит, касситерит, вольфрамит, берилл.

Танталит – минерал семейства титано-танталониобатов. Под названием танталит объединяются члены изоморфного ряда колумбит-танталит, содержащие до 40% Ta_2O_5 (т.е. при Ta_2O_5:Nb_2O_5>1); промежуточные члены содержат Ta_2O_5 от 20-25% до 50-55%.

Часто содержит изоморфные примеси Ti и Sn, Mg и Ca, реже W, U и др.

Сингония ромбическая.[3$L_2$3PC] Структура слоистая. Кристаллы таблитчатые, коротко призматические, игольчатые.

Цвет черный. Непрозрачен или полупрозрачен. Блеск на гранях металлический. Спайность ясная в одном направлении. Твердость 6,5–7. Микротвердость 630–1–70. Плотность 6,2–8,2. Хрупкий. Визуальная диагностика затруднена.

Микрохимия Fe, Mn. *Травление.* Обычные реактивы не действуют.

Парагенезис – колумбит, апатит, нефелин, топаз и др.

Химическое и агрохимическое сырье
Фосфорное сырье

Общие сведения.

Основное промышленное значение. Как фосфатное сырье имеют апатиты и фосфориты.

Апатит – минерал переменного состава с общей формулой **Ca_5 [PO_4]$_3$ (F, Cl, OH)**. Членами изоморфного ряда апатита являются фтор-, хлор - и гидроксил-апатиты. В качестве примесей присутствуют стронций, барий, магний, редкие земли и др. Апатит — распространенный минерал, но основное промышленное значение имеют его концентрации в щелочных и ультраосновных щелочных породах и в связанных с ними постмагматических образованиях.

Фосфориты — это осадочные горные породы (глинистые, карбонатные, смешанные), содержащие фосфаты, близкие по составу фторапатиту. Фосфориты обогащены такими элементами-примесями, как уран, редкие земли, стронций; реже они содержат ванадий, титан, цирконий, золото и др. Чистые фосфориты имеют белый цвет, но за счет примесей обычно окрашены в серый и черный цвет.

Подавляющая масса фосфатного сырья используется для производства фосфорных и комбинированных удобрений, из которых наиболее широко распространены простой и двойной суперфосфаты; их получают химической переработкой, при которой нерастворимые соединения фосфора переходят в хорошо растворимые.

Запасы и добыча. Запасы фосфатного сырья за рубежом превышают 100 млрд. т. Из них на долю фосфоритов (20 – 45% P_2O_5) приходится 99% запасов и лишь 1% - на долю апатитов (до 10 % P_2O_5). Крупнейшие месторождения находятся в Марокко, Египте, Алжире, Тунисе, Сирии, Уганде, США. В СНГ запасы фосфатного сырья составляют около 15 млрд. т, в т.ч. 2 млрд. т. в комплексных железорудных и редкометальных месторождениях, а на долю апатитовых руд приходится более 40 % промышленных запасов фосфатного сырья. Добыча фосфатного сырья в капиталистических и развивающихся странах превысила 100 млн. т. Основными добывающими странами (70% добычи) являются США и Марокко. Цены на фосфатное сырье колеблются в зависимости от его качества; 1 т. фосфоритовой руды (30% P_2O_5) стоит около 30 долл. Мировая добыча фосфатов в 1974 г. составила 110,2 млн.т. США, СНГ и Марокко производят 73% всей, мировой добычи фосфатов.

Требования промышленности к фосфатам

Требования промышленности к качеству фосфоритов определяются в зависимости от их обогатимости, от технологии производства и от назначения продукта — различны.

Фосфориты применяются, главным образом, для производства удобрений и в небольшом количестве в металлургии, а также для получения фосфорной кислоты и элементарного фосфора. Последние два вещества используются и для приготовления концентрированных удобрений.

Обогатимость фосфоритов зависит от величины частиц чистого фосфата и примесей и от степени их срастания. Фосфоритные желваки, залегающие в рыхлых песках и глинах, очищаются путем промывки на грохотах, в бутарах и других аппаратах. При этом содержание P_2O_5 в исходной руде может быть небольшое, около 5%. Полученный концентрат первичного

обогащения должен содержать: для суперфосфата — P_2O_5 не менее 25,3%, R_2O_3 не более 6,5%; для преципитата P_2O_5 не менее 23,5%, для фосфоритной муки не менее 19% P_2O_5.

Дальнейшее обогащение фосфоритов производится флотацией. Хорошо флотируются такие фосфориты, при измельчении которых до 0,1 мм получаются чистые фосфатные зерна, не содержащее сростков и более тонких примесей. Для производства элементного фосфора могут применяться низкосортные песчанистые фосфориты, но с содержанием не менее 18% P_2O_5. В случае использования богатых фосфоритов приходится добавлять к ним кварцевый или кварцитовый щебень.

Таким образом, при оценке качества фосфоритов в них, прежде всего, необходимо определять содержание P_2O_5. При этом для оценки возможности их химической переработки следует дополнительно определять Al_2O_3, Fe_2O_3 и MgO. Эти три элемента являются вредными примесями, так как они затрудняют получение рассыпчатого суперфосфата. Необходимо, чтобы отношение ($Fe_2O_3 \cdot 100$): P_2O_5 не превышало 12,0.

Апатит – $Ca_5[PO_4]_3(F,Cl,OH)$, химический состав; P_2O_5 40 – 43%, CaO – 54–55%. Изоморфные примеси марганца, магния, редких земель. Конкреционные формы скопления апатита в осадочных породах получили название фосфоритов.

Сингония гексагональная. [L_6PC] Кристаллы обычно в виде комбинации гексагональной призмы и дипирамиды, размер их от очень мелких, видимых только под микроскопом, до гигантских весом в 50 кг. Также характерны сплошные зернистые сахаровидные массы.

Цвет желто-зеленый, голубой, иногда бесцветен. Твердость 5, удельный вес 5.2, спайность несовершенная, блеск стеклянный.

Диагностические признаки – хорошо определяется по форме кристаллов или сахаровидной структуре.

Парагенезис. В магматических породах совместно с нефелином, пироксеном, сфеном, магнетитом, в пегматитовых килах ассоциирует с кальцитом и мусковитом.

Практическое применение. Главной областью применения (до 90%) апатита и фосфоритов является приготовление искусственных удобрений (суперфосфатов и термофосфатов).

Апатит применяют в смеси с железной рудой для выплавки феррофосфора, а также в качестве присадки к шихте при доменной плавке железных руд для получения томасовского чугуна или литейного фосфористого чугуна.

Апатит – нефелиновую руду применяют в литейном деле для производства ковкого чугуна и автоматной стали, а также при получении фосфористой меди. Апатит используется для припыла моделей и форм при литье черных и цветных металлов. Содержание $P_2 0_5$ в концентрате должно быть не менее 39%.

Серное сырье

Общие сведения.

Среднее содержание серы в земной коре 0,03%. Лишь небольшая часть ее встречается в природе в самородном виде. Другими источниками этого элемента являются сульфиды металлов, сульфаты (гипс и ангидрит), сероводород природных горючих газов, сернистые нефти, битуминозные песчаники. Серу получают попутно при коксохимическом производстве и металлургической переработке руд цветных металлов. Природная самородная сера бывает кристаллической и аморфной. При температуре 114—119 °С она плавится, превращаясь в подвижную жидкость. Это свойство используют при обогащении серных руд и при добыче серы методом подземного расплавления.

Применение. Основное количество серного сырья (70—90%) используется для получения серной кислоты; она применяется при производстве фосфорных, азотных и калийных удобрений, различных химикатов, служит для очистки нефтепродуктов, получения красок и пигментов, синтетических волокон, взрывчатых веществ, моющих средств, пластмасс. Кроме того, сера и ее соединения используются в целлюлозно-бумажной, фармацевтической, пищевой и текстильной промышленности, в сельском хозяйстве — как удобрение и как средство для борьбы с вредителями сельского хозяйства.

Запасы и добыча. Общие запасы самородной серы за рубежом составляют около 650 млн. т, подтвержденные — около 350 млн. т. Они сосредоточены в Ираке, США, Чили, Мексике, Японии, Италии, Иордании. Запасы пирита — 1,9 млрд. т —

связаны с месторождениями Саудовской Аравии, Испании, Японии, Индии, Канады, Норвегии, Около 70% общих запасов серы, содержащейся в нефти и горючих газах (1,25 млрд. т), приходится на месторождения стран Ближнего Востока. Крупные ресурсы серы выявлены в месторождениях ископаемых углей (22 млрд. т), гипса и ангидрита (7 млрд т), битуминозных песков (2 млрд. т).

Мировая добыча серы превышает 54 млн. т. За рубежом из общего объема производства серы (около 39 млн. т) 22,8%, получено из месторождений самородной серы (США, Мексика, Иран), 11% — из пирита (Испания, Япония, Италия, ЮАР), 44,4% — из газов и нефти (Канада, США, Франция), 15,6% — из металлургических газов (Канада, США, Австралия, Япония, Финляндия). Цена технической серы варьирует от 100 до 140 долл. за 1 т.

Месторождения самородной серы относятся к крупным при запасах более 10 млн. т, средним — 1—10, мелким — менее 1 млн. т. По содержанию серы руды делятся на богатые (> 25%), средние (10—25%) и бедные (5—10%). По составу сероносных пород различают известняковый, глинистый, мергелистый, песчаниковый и гипсовый типы руд самородной серы. Текстурные разновидности их следующие: полосчатые, вкрапленные, прожилково-, гнездово-вкрапленные и дисперсные. Вредными примесями являются гипс, битумы, мышьяк, селен. Технические требования к элементной сере регламентируются государственными стандартами.

Месторождения самородной серы эксплуатируются карьерами или методом подземной выплавки. Минимальная рабочая мощность пласта серных руд обычно составляет 0,5— 1м, а коэффициент вскрыши достигает 20—40м.

Минимальное содержание серы в пиритовых рудах 25%. Крупные, средние и мелкие месторождения имеют запасы пирита соответственно более 5, 0,7—5 и менее 0,7 млн. т. Сернистый ангидрит извлекается также из отходящих газов металлургических заводов при содержании 3% и более. Кроме того, серу получают из природных газов (содержание до 20%) и нефти (1—5%). Она отличается высокой чистотой, дисперсностью и низкой себестоимостью. Второстепенное значение как источник серы

имеют ископаемые угли (содержание от 0,5 до 9,5%), битуминозные пески, месторождения гипса и ангидрита, которые эксплуатируются лишь в некоторых странах.

Самородная сера S. Примеси As, Se, Te. Встречается в кристаллическом, коллоидном, жидком и газообразном состояниях. Из нескольких полиморфных модификаций наиболее устойчива ромбическая сера [$3L_2 3PC$]. Кристаллы толстотаблитчатые, агрегаты, зернистые, порошковидные, шаровые.

Цвет серо-желтый, редко бурый. Черта светло желтая. Блеск жирный. Твердость 1-2. Плотность 2,1. Излом неровный до раковистого. Прозрачна. Во всех жидких и твердых состояниях диамагнитна. Диэлектрик. Сера легко плавится и при t 270°, горит синим пламенем с выделением SO_2.

Диагностические признаки. Жирный блеск, малая твердость, от серпантина – по цвету и хрупкости.

Парагенезис. В природе встречается в самородном состоянии и в составе многочисленных минералов, из которых наибольшее значение имеют сульфиды (пирит, сфалерит, галенит, пирротин) и сульфаты (гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, ангидрит $CaSO_4$, барит $BaSO_4$ и др.) Довольно часто сера присутствует в твердых и жидких горючих ископаемых.

Минеральные соли

Общие сведения.

Минеральными солями называют водорастворимые хлориды, сульфаты и карбонаты щелочных и щелочноземельных металлов, а также соединения смешанного состава. Наиболее важную, практическую роль играют следующие минералы: галит NaCl, сильвин KCl, карналлит $KCl \cdot MgCl_2 \cdot Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$, мирабилит $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O \cdot 6H_2O$, природная сода.

В природе минеральные соли образуют соляные породы, название которых дается по преобладающему минералу (более 60%), и рассолы (рапа). Все соляные породы в разных количествах содержат галит, гипс, ангидрит, карбонаты и глинистые минералы. Практическое значение имеют каменная соль, сильвинит, карналлит.

Каменная соль используется как пищевая (до 65% добычи), в качестве консерванта и в химической промышленности для получения каустической и кальцинированной соды, хлора, соляной кислоты, нашатыря, хлористого аммония и др. Общепринятых требований к качеству поваренной соли не имеется, для каждого месторождения устанавливаются собственные кондиции для подсчета запасов. Для пищевой соли содержание хлористого натрия должно быть не менее 97% (II сорт), для технической — 97,5—98%, а для кормовой – 90—95%. Требованиями промышленности ограничено содержание вредных примесей: кальция, магния, калия, сульфатов, нерастворимого остатка.

Калийные соли применяются при производстве удобрений (95% добычи), хлористого, сульфатного и каустического калия, поташа и других химических препаратов. Промышленность перерабатывает калийные руды с содержанием хлористого калия 20—35% и более. При наличии примесей хлористого магния и карбонатно-глинистых пород руды подвергаются флотации или химической переработке.

Соли магния используются для получения металлического магния и его химических соединений. Сульфаты натрия применяются в химической, стекольной, целлюлозно-бумажной и текстильной промышленности, при обработке фотоматериалов. Из прозрачных кристаллов сильвина изготавливают призмы для ИК-спектроскопии.

Мировые ресурсы каменной соли составляют 10 трлн. т, добыча превышает 170 млн. т; она сосредоточена в СНГ, КНР, США, Великобритании, Германии, Индии, Польше. Мировые ресурсы калийных солей достигают 67 млрд. т (в пересчете на K_2O), подтвержденные запасы — 5,3 млрд. т. Основные месторождения расположены в СНГ, Канаде, Германии, Израиле, Иордании и США. Мировая добыча калийных солей составляет более 100 млн. т и в наибольшем объеме ведется в СНГ, Канаде, Германии, Франции, США. Разработка месторождений каменной и калийных солей осуществляется подземным способом и частично подземным выщелачиванием. Цена 1т калийных солей колеблется от 70 до 80 долл.

Калийные соли (а. potash salts, potassium salts; н. Kalisalz'e; ф. sels potassiques; и. sales potasicas) — группа генетически связанных легкорастворимых в воде калиевых и калиево-магниевых минералов и пород. В химическом составе которых основную роль играют катионы K^{+}, Mg^{2+} и анионы Cl^{-1}, SO_4^{2-}. Элементы К и Mg образуют простые (например, КСl — сильвин), двойные [K_2Mg_2(SO4)з — лангбейнит] и тройные [K_2MgCa_2 $(SO_4)_4 2H_2O$ — полигалит] соли, а также различные их кристаллогидраты. В калийных солях, как породообразующий минерал, всегда присутствует галит, в виде примесей — ангидрит, гипс, карбонаты, алюмосиликаты. Вместе с каменной солью калийные соли образуют горные породы, залегающие в виде пластов мощностью от нескольких см. до десятков м и распространённые на площадях от нескольких см до тысяч $км^2$ (месторождения, бассейны). В зависимости от содержания SO_4 в составе калийных солей месторождения могут быть сульфатные, хлоридные или смешанные. В смешанных месторождениях (сульфатно-хлоридные, хлоридно-сульфатные) пласты сульфатных и хлоридных (разновозрастные). Калийные соли кристаллизовались из растворов и осаждались на дне солеродных бассейнов, после выпадения в осадок основные массы галита на завершающей фазе галогенеза. Поэтому месторождения и бассейны калийных солей всегда расположены внутри обширных соленосных бассейнов и резко подчиняются им в количественном отношении. По примерным подсчётам геологические запасы калийных солей составляют около 0,01% суммы запасов вмещающей их каменной соли. В целом, история накопления калийных солей выделяется в несколько циклов, каждый из которых начинался эпохой развития только хлоридных месторождений калийных солей и завершался эпохой совместного развития хлоридных, сульфатных и смешанных месторождений. Обширные соленосные бассейны, в частности, Норильско-Хатангский в СНГ, могут быть перспективными на обнаружение только хлоридных месторождений. Калийные месторождения и бассейны с калийными солями пространственно расположены внутри континентов и на их окраинах. Типичные представители солеродных бассейнов пассивных окраин — Припятско-Днепровско-Донецкий, Зап.-Португальский,

Верхнерейнский, Персидского залива, Марокканский и др.; активных окраин — Предкарпатский, Предуральский, Предкавказский, Среднеазиатский и др.

Содержание K_2O в промышленных залежах 12—30%. Крупные промышленные месторождения калийных солей с запасами 1 млрд. т и выше встречаются сравнительно редко. Общие мировые запасы калийных солей оцениваются в 100 млрд. т K_2O, из них на территории СНГ приходится около 25 млрд. т, остальная часть (млрд. т): Канада — 14, ФРГ — 0,5, США — 0,3, Иордания — 0,3, Таиланд 0,1 (1984). Более 95% добываемых калийных солей используется для калийных удобрений, остальная часть — для производства моющих средств и различных химикатов.

Сильвин – минерал класса хлоридов **KCl**. Содержит 52,5% K (по массе). В качестве примесей Na, NH_4.

Сингония кубическая. [$3L_4 4L_3 6L_2 9PC$] Структура координационная типа галита. Формы выделения плотные зернистые массы, шестоватые и волокнистые агрегаты, натеки в пещерах. Бесцветен, часто прозрачен, нередко за счет примеси гематита приобретает красную окраску. Блеск стеклянный. Спайность совершенная по {100}. Твердость 2. Плотность 2. Хрупок. Вкус горько-соленый. Легко растворим в воде. Сильно гигроскопичен. Излом неровный, раковистый.

Диагностические признаки. От галита отличается по окраске и горько-соленому вкусу.

Сильвин один из главных компонентов сильвинита, важнейшего сырья для производства калийных удобрений. Содержание отдельных компонентов: KCl 12 – 60%, NaCl – 22 – 80%, MgCl до 2,5%, $CaSO_4$ – 0,2 – 12%. Присутствуют примеси K_2SO_4 (0,1-4,0%), $MgSO_4$ (2,5-26%) и глинистых минералов.

Карналлит (в честь немецкого горного инженера Карнолия Р.) **$KMgCl_2 \cdot 6H_2O$**. Часто примеси NH_4, Pb,Cs, Ti, Fe.

Сингония ромбическая. [$3L_2 3PC$] Структура слоистая. Характерно образование зернистых масс в смеси с галитом, волокнистых агрегатов. Бесцветный, белый, лимонно-желтый. Блеск стеклянный, жирный. Твердость 2,5. Плотность 1,6. Прозрачен. На вкус горько-соленый до жгуче-соленого. Легко растворяется. П.п.тр. легко плавится.

Диагностические признаки. От похожих минералов – по характерной мясо-красной окраске и горько-соленому вкусу.

Парагенезис. В природе встречается с другими хлоридами калия, магния и натрия. В карналлите встречаются также мельчайшие чешуйки гематита, иглы гетита, выделения гидрооксидов железа.

3.5 Основные показатели качества, состава и свойств горючих ископаемых

Состав угля

Петрографический состав

При макроскопическом изучении углей выделяют (в основном по блеску) **литотипы** (таблица 3.4.1), а также их разновидности. Для этого используют форму, размер и характер чередования отдельных линз и слойков угля, отличающихся по блеску, трещиноватости и рельефу поверхности излома. К отдельному литотипу относят слои угля мощностью не менее 20 мм. При определении принадлежности угля к тому или другому литотипу принимают во внимание степень его метаморфизма, так как при увеличении последнего блеск угля непрерывно возрастает.

Таблица 3.11 – Составные части угля, визуально различимые в пластах

Литотип	Участие в сложении угольных пластов
Литотипы сложного состава	
Блестящий – кларен Полублестящий – дюрено-кларен Полуматовый – кларено-дюрен Матовый - дюрен	Образуют пласты или почти угля; в пределах последних нередко прислаиваются друг с другом
Литотипы простого состава	
Витрен Фюзен	Широко встречается в пластах угля в виде прослоев и линз мощностью от n· 0,1 до 3 см Слагает линзы мощностью от n·0,1 до 3 мм, редко отдельные прослои в пластах угля

При макроскопическом петрографическом исследовании углей в первую очередь выявляют наличие в них литотипов простого состава – витрена и фюзена. Полублестящий и полуматовый литотипы угля – дюрено-кларен и кларено- дюрен по блеску занимает промежуточное положение между кларено и дюреном.

В процессе метаморфизма угля увеличивается не только интенсивность блеска (точнее – отражательная способность ветрена), но и его характер; у бурого угля блеск витрена тусклый или смоляной. У каменного он изменяется от жирного до сухого стеклянного. Антрацитам присущ металлический блеск.

Многие свойства углей и их внешний облик обусловлен количественным соотношением слагающих их микрокомпонентов. Микрокомпонентам или мацералом, называется элементарная составная часть углей, образовавшаяся из одинакового исходного материала в сходных условиях, микрокомпоненты разделяются на органические и не органические (минеральные).

Примерный микрокомпонентный состав литотипов приведен в таблице.

Таблица 3.12 –Микрокомпонентный состав литотипов угля

Литотип	Содержание, %	
	Витринита	Интертинита, липтинита и минеральных примесей
Витрен	100	--
Блестящий – кларен	>75	<25
Полублестящий – дюрено-кларен	60 – 75	25 – 40
Полуматовый – кларено-дюрен	45 – 60	40 – 55
Матовый – дюрен	45	>55
Фюзен	--	100 (Интертинита)

Элементный состав

Под элементным составом в химии угля понимают содержание основных элементов углерода, водорода, кислорода,

азота и органической серы - в его органической части. Образуя сложные по молекулярному строению вещества, перечисленные элементы присутствуют во всех видах твердых горючих ископаемых. Кроме них в состав органической массы угля входит фосфор и некоторые редкие элементы, содержание которых обычно не превышает тысячных, а иногда и миллионных долей процента.

Прямым химическим анализом устанавливается содержание углерода, водорода, серы и азота. Количество кислорода, как правило, рассчитывается по разностям. Содержание углерода от бурых углей к антрацитам возрастает от 69 до 96 %. Концентрация водорода в гумусовых углях изменяется от 1,3 до 6,5 %, при этом в бурых углях она колеблется от 4 до 6,5 %; в каменных – от 3,5 до 6% и в антрацитах – от 1,3 до 3 % и существенно зависит от их петрографического состава: увеличивается с ростом количества липтинита и уменьшается в фюзинитовых разностях. Максимальная концентрация водорода (до 7,5 – 10,5%) отмечается в сапропелитовых углях.

Содержание кислорода в углях следующее (в %): в бурых – 20 – 30, каменных – 2 – 18, антрацитах – 0,1 – 2. Концентрация азота в гумусовых углях изменяется от 0,3 до 3,0%.

Сера в ископаемых углях присутствует в трех типах соединений - сульфидах (в основном пирит), органических веществах (меркоптан, тиофен и др.) и сульфатах. Соотношение ее в углях (в форме неорганических и органических соединений колеблется в широких пределах) европейской части России отличаются преимущественно высокой сернистостью угли бассейнов (>1,5%); в частности в углях отдельных бассейнов ее количество варьирует в следующих пределах (в %): Кизеловском – 5 – 7,5; Подмосковном – 3 – 7,8. К малосернистым (<1 %) относится большая часть углей Канско-Ачинского, Кузнецкого и Южно-Якутского бассейнов (Миронов).[29]

При энергетическом использовании сернистых углей сера (кроме сульфатной) переходит в SO_2 и удаляется с дымовыми газами, вызывая загрязнение атмосферы, а также коррозию котлов, дымоходов и аппаратуры. При коксовании

значительная часть серы из угля попадает в кокс, что существенно снижает его качество.

Фосфор в углях, также как и сера, является вредной примесью. Его концентрация редко превышает сотые доли процента, однако в некоторых случаях даже при содержании 0,02 % угли не могут применяться для получения специальных сортов металлургического кокса. Угли Кузбасса обычно содержат фосфор до 0,02 %. При коксовании фосфор переходит в кокс, из которого в доменном процессе переходит в метал и придает ему хладоломкость.

Физические и физико-механические свойства углей

Физические свойства углей в основном определяют возможности и эффективность применения тех или иных процессов для их обогащения. Разнообразие физических свойств чистых углей (без механических примесей) позволяет рассмотреть только те их основные свойства, которые могут иметь значение при выборе существующих процессов обогащения и для разработки новых перспективных направлений совершенствования техники и технологии обогащения.

Гранулометрический состав - количественная характеристика угля по размеру кусков - нормируется для всех направлений использования.

Разделение угля на классы крупности (таблица 3.13) производится путем сортировки (грохочения) на ситах с отверстиями соответствующих размеров.

В скобках указаны допустимые изменения размеров кусков в классах. Верхний предел крупности плитного класса 300 мм распространяется только на уголь, добытый открытым способом. Условные обозначения класса присоединяются к символу марки угля, например: БК – бурый крупный, АСШ – антрацит семечко со штыбом и т. п.

Гранулометрический состав добываемых углей в немалой степени зависит от эндогенной трещиноватости, а она в свою очередь – от петрографического состава и стадии метаморфизма угля. Наибольшей эндогенной трещиноватостью характеризуются угли средних стадий

метаморфизма (III, IV,V), при их разработке в добытом угле преобладают куски размером менее 6 мм.

Т а б л и ц а 3.13 – Классификация углей по размеру

Классы	Условное обозначение	Пределы крупности кусков, мм	
		нижний	верхний
С о р т о в ы е			
Плитный	П	100 (80)	200; 300
Крупный	К	50 (40)	100 (80)
Орех	О	25 (20)	50 (40)
Мелкий	М	13 (10)	25 (20)
Семечко	С	6 (5; 8)	13 (10)
Штыд	Ш	0	6 (5;8)
С о в м е щ е н н ы е и о т с е в ы			
Крупный с плитным	КП	50 (40)	200; 300
Мелкий с орехом	КО	25 (20)	100 (80)
Семечко с мелким	ОМ	13 (10)	50 (40)
Семечко с штыбом	МС	6 (5; 8)	25 (20)
Мелкий с семечком и штыбом	СШ	0	13 (10)
Орех с мелким семечком и штыбом	МСШ	0	25 (20)
	ОМСШ	0	50 (40)
Р я д о в о й	Р	0	200; 300

Для углей предназначаемых к сжиганию в пылевидном состоянии важное значение имеет их размолоспособность, которая оценивается по затратам энергии на измельчение.

Угли классов с нижним пределом крупности кусков более нуля относятся к *сортовым,* с нижним пределом равным нулю - к *отсевам.* В основных сортовых классах (П, К, О, М, С) отношение между предельными отношениями крупности кусков

составляет 1:2, в совмещенных (ПК, КО и др.) превышает 1:4. Содержащиеся в том или ином классе угля куски с размерами ниже установленного нижнего предела, а также размером менее 6 мм в рядовом угле называется *мелочью.* Ее допустимое содержание в грохоченных и рядовых углях нормируется потребительскими стандартами.

Влажность. В угле выделяются несколько разновидностей влаги: поверхностная, общая (состоящая из внешней влаги и влаги воздушно сухого угля), пирогенетическая и гидратная.

Поверхностная влага находится на внешней поверхности частиц измельченного при добыче угля свободно стекает при его хранении и транспортировке.

Общая влага выделяется из угля при высушивании его до постоянной массы при температуре 105 – 110 °С. Внешняя влага представляет собой ту ее часть, которая испаряется из измельченного угля при высушивании его в лабораторных условиях до воздушно-сухого состояния, а влага воздушно-сухого угля - ту, которая остается в угле после доведения его до воздушно-сухого состояния.

Гидратной называется влага, входящая в состав минеральных примесей.

Общая влага рабочей массы W_t^r является одним из основных показателей качества угля. В землистых бурых углях массовая доля ее достигает 60 % в плотных бурых снижается до 16 %, в каменных – до 4 – 6 %, но в антрацитах несколько повышается по сравнению с каменными углями – до 5 – 8 %.

Внешняя влага служит причиной смерзаемости углей при транспортировке в вагонах в зимнее время (при ее содержании в угле более 5 %), а также слеживаемости угля в бункерах и слипания угольной мелочи при классификации по крупности. От содержания в угле внешней влаги зависит метод выделения из угля перед гравитационными процессами обогащения пылеватого материала крупностью менее 0,5 мм. При содержании внешней влаги до 5 – 5,5 % удаление такого материала осуществляется по методу обеспыливания или обеспыливания с последующим обесшламливанием угля. При более высокой влажности угля применяется обесшламливание.

Влажность угля определяет также возможность применения пневматического обогащения мелких его классов. При содержании внешней влаги в угле свыше 4-5 % пневматическое обогащение дает неудовлетворительные результаты и поэтому без предварительной подсушки угля применяться не может.

Оптические свойства. Цвет ископаемых углей изменяется от желтовато-коричневого до серовато-черного и черного. Некоторые сапропелевые угли характеризуются оливково-зеленым цветом. Блеск угля варьирует в широких пределах и тесно связан с петрографическим составом. Наибольшим блеском характеризуются витрен и кларен. Дюрен и фюзен отличаются матовым блеском. Блеск одних и тех же составляющих угля существенно возрастает при метаморфизме. Так, витрен в бурых углях имеет тусклый смоляной блеск, в каменных средних стадий метаморфизма – стеклянная, а в антрацитах – ярко металлический.

Основным показателем оптических свойств углей, нашедшим широкое применение для определения степени их метаморфизма является отражательная способность витринита. Витринит занимает промежуточное положение, его отражательная способность считается в настоящее время наиболее надежным показателем степени метаморфизма угля.

Оптические свойства углей (цвет, блеск, прозрачность, отражательная способность и др.) определяются молекулярной структурой органического вещества и закономерно изменяются в зависимости от изменения этой структуры на разных стадиях метаморфизма. Так, разные микрокомпоненты углей имеют различную отражательную способность, возрастающую от липтинита к инертиниту. Это позволяет использовать показатель отражения как одну из наиболее важных оптических характеристик для диагностики компонентов угля.

Оптические свойства углей могут быть использованы при разработке специальных методов обогащения, в частности для разделения блестящих (группа инертинита) микрокомпонентов, а также для выделения из крупнококсового блестящего угля пустой породы.

Электрические свойства углей характеризуются проводимостью электрического тока. Электрическое

сопротивление угля зависит от его химического и минерального состава, а также влажности и температуры.

В целом ископаемые угли могут быть отнесены к полупроводникам. Удельное электрическое сопротивление каменных углей и антрацитов, определенное в порошке при комнатной температуре и атмосферном давлении, составляет: 10^{10} - $2 \cdot 10^{10}$ Ом · см – для донецких углей марок Г и Ж; $5 \cdot 10^{5}$ – $2 \cdot 10^{6}$ Ом · см – для донецких антрацитов. Влажность углей, а также содержание в воде растворимых солей значительно изменяют их электрическое сопротивление. Чем выше влажность угля и чем больше его минеральные примеси растворимых в воде солей, тем значительнее снижается электрическое сопротивление.

Нагревание каменных углей приводит к снижению электрического сопротивления до минимальных значений, определяемых температурой 1000-1300 º С. Различия в электропроводимости кусков угля и породы используется для механизированной выборки породы в электрических породовыборных сепараторах.

Диэлектрические свойства углей определяются диэлектрической проницаемостью, зависящей от природных свойств углей и их влажности. С увеличением содержания влаги диэлектрическая проницаемость увеличивается.

Диэлектрические свойства углей могут быть использованы для разработки новых процессов и аппаратов глубокого сухого обогащения углей (электрическая сепарация и пылеулавливание). Эти же свойства используются в настоящее время в различных приборах-влагометрах для контроля и автоматизации технологических процессов обогащения углей.

Магнитные свойства углей характеризуются магнитной восприимчивостью, которая для чистых углей закономерно возрастает с увеличением стадии метаморфизма.

Угольное вещество является диамагнитным. Удельная магнитная восприимчивость магнитных тел отрицательная ($\chi < 0$). Минеральные примеси в углях характеризуются парамагнитными свойствами; их удельная магнитная восприимчивость положительная и находится в пределах 10^{-9} – 10^{-5} $м^3$/кг.

Различия в магнитных свойствах угольного вещества и минеральных примесей позволяют в принципе использовать магнитный метод для обогащения угля. Особенно следует считать перспективным магнитное обессеривание углей удалением пирита, удельная магнитная восприимчивость которого в пределах $1{,}2 \cdot 10^{-8}$ $м^3/кг$, что значительно выше магнитной восприимчивости других парамагнитных примесей, например кварца ($\chi = 0{,}2 \cdot 10^{-8}$ $м^3/кг$).

Магнитная восприимчивость для чистых углей закономерно возрастает с увеличением степени метаморфизма. Угольное вещество является диамагнитным ($\chi < 0$). Минеральные примеси в углях характеризуются парамагнитными свойствами ($\chi > 0$). Различия в магнитных свойствах угольного вещества и минеральных примесей позволяют считать перспективным магнитное обессеривание углей посредством удаления пирита (χ в пределах $1{,}2 \cdot 10^{-8}$ $м^3/кг$).

Плотность угля. В естественном состоянии и извлеченный из недр уголь обычно разбит трещинами м включает поры (пустоты) различной формы и размеров. Объем пор и трещин единицы массы и объема угля, представленных порами и трещинами, сообщающимися с внешней средой, называют *открытой*, а не сообщающимися с внешней средой *закрытой пористостью.* Различают плотности: действительную(P_d) и кажущуюся (Pk).

Действительная плотность угля $\rho_д$ – отношение массы тела, лишенного воздуха и свободной (несвязанной) влаги, к его объему без пор и трещин.

Плотность каменных углей, антрацита, горючих сланцев и природных прослойков определяются по ГОСТ 2160-82 (СТ СЭВ 2615-80).

Действительная плотность, пересчитанная на сухое беззольное вещество ρ_o, называется плотностью органической массы углей. Плотность органической массы и других компонентов углей зависит от его природы, петрографического состава и стадии метаморфизма (таблица 3.14).

Таблица 3.14 – Изменение плотности углей с повышением степени метаморфизма

Типы углей	V_o^{daf},%	C_o^{daf},%	$d_г$ г/см^3	Типы углей	V_o^{daf},%	C_o^{daf},%	$d_г$ г/см^3
Бурые	64	62	1,46		30	85	1,28
	-	65	1,45		26	87	1,27
	57	67	1,44	Камен-	23	89	1,30
	50	70	1,42	ные	15	90	1,31
	48	73	1,39		13	92	1,34
Камен-	44	75	1,37	Антраци	7	93	1,42
ные	40	78	1,35	-ты	5	94	1,50
	37	80	1,33		2	95	1,80
	34	82	1,31				

Так, плотность органической массы каменных углей возрастает от длиннопламенных к тощим и антрациту, у углей Донецкого бассейна изменяется от 1160 до 1590 кг/м^3. Плотность минеральных примесей, содержащихся в этих углях, может изменяться от 2700 (глинистые минералы, кварц) до 5000 кг/м^3 (пирит).

Кажущаяся плотность $\rho_к$ (в дальнейшем именуемая как плотность ρ) – это масса единицы объема пористого (натурального) тела. Кажущаяся плотность всегда меньше действительной; для органической массы каменных углей она находится в пределах 1200 – 1350 кг/м^3. Действительная плотность определяется пикнометрическим методом, кажущаяся – взвешиванием в воде и в воздухе запарафинированых (покрытых влагонепроницаемой пленкой) кусков угля.

Насыпная плотность – отношение его массы к объему, заполненному свободной или уплотненной насыпкой (плотность массы угля в штабеле, вагоне, бункере или в других емкостях). Она изменяется в довольно широких пределах и зависит от плотности, размера кусков, гранулометрического состава и влажности углей. Многочисленными исследованиями установлена тесная корреляционная связь между плотностью углей и их зольностью.

Для углей любой стадии метаморфизма характерно увеличение плотности при увеличении зольности.

Различия в плотностях компонентов добытой угольной массы – определяющий фактор применения для их разделения гравитационных процессов обогащения.

Физико-механические свойства углей, эти свойства определяют прочность, трещиноватость, метаноносность, выбросоопасность наряду с другими фактами (мощность, угол падения угольных пластов и пр.), обусловливают основные проектные показатели и выбор оборудования и машин для добычи.

Механическая прочность — способность угля сохранять размеры кусков при ударах и истирании. Изучается для углей, предназначенных к использованию для газификации, получения термоантрацитов, в электродном и литейном производствах. Определяется путем разрушения углей во вращающихся (большом или малом) барабанах в соответствии с установленными стандартом условиями. Показатель (индекс) *механической прочности* - остаток (в процентах) массы кусков определенной крупности от массы испытуемой пробы после испытания дробимости угля во вращающемся барабане. Механическая прочность устанавливается также методом толчения-дробления пробы угля гирей, сбрасываемой с постоянной высоты, и последующего определения объема образующейся мелочи (размером менее 0,5 мм).

Механическая прочность углей характеризуется дробимостью, хрупкостью, твердостью, временным сопротивлением сжатию, а также термической стойкостью (для антрацитов). Наиболее общий показатель прочности углей – индекс механической прочности. Для определения индекса механической прочности пробу угля крупностью от 13 до 100мм разрушают во вращающемся закрытом барабане. По истечении заданного времени измельчения определяют оставшуюся неразрушенной массу кусков крупностью более нижнего предела для соответствующих классов грохоченного угля и крупностью более 13 мм для рядовых углей, выраженных в процентах от массы загруженного в барабан угля, принимают за показатель (индекс) механической прочности угля.

Механическая прочность каменных углей зависит от состава органической массы и минеральных примесей. Она наиболее высока у длиннопламенных и газовых углей, резко снижается у жирных, коксовых и некоторых тощих углей.

Антрацит относится преимущественно к механическим прочным и очень прочным углям, а большинство бурых углей обладают самой низкой прочностью.

Механическая прочность обуславливает гранулометрический состав добываемых углей, его изменение и шламообразование при транспортировании, складировании и обогащении. Она является одним из факторов, влияющих на выбор процессов и схем обогащения углей.

С прочностью углей в пластах связано также такое явление, как внезапные выбросы газа и пыли в шахтах. Установлено, что при прочности угля в пласте с выше 1,96 усл. ед. (по шкале М. М. Протодьяконова) пласт можно отнести к невыбросоопасным.

Влияние петрографического состава на прочностные свойства углей при их добыче, транспортировании и переработке обусловливается взаимосвязью петрографического состава с одной стороны и трещиноватости, пористости и прочности материалов, слагающего уголь, - с другой.

Трещиноватость углей определяет такое важное их свойство как дробимость. От нее зависит состав углей по крупности при их добыче транспортировании и на подготовительных стадиях процесса переработки, чем однороднее уголь тем труднее он раскалывается по плоскостям наслоения.

Теплота сгорания угля - важнейшая характеристика, используемая для сопоставления теплотехнических свойств углей различных месторождений, марок между собой и с другими видами топлива, а также классификационный показатель слабометаморфизованных и окисленных углей. Пересчет значений теплоты сгорания для различных состояний угля выполняется по формулам. *Высшая теплота сгорания,* пересчитанная на сухое беззольное состояние угля Q_s^{daf}, характеризует природный тип угля, степень его углефикации, вещественный состав. *Низшая теплота* сгорания рабочей массы

угля Q_t' выражает количество тепла, которое с учетом балласта (влаги и золы) может быть практически реализовано при сжигании.

Величина ее определяется пересчетом по формуле:

$$Q_t^r = Q_s^r - \gamma (W_t^r + 8.94 H^r),$$

где Q_s^2-высшая теплота сгорания; W_t^2-массовая доля общей влаги; H' – содержание водорода, рассчитанное на рабочее состояние угля; T – коэффициент, учитывающий тепло, выделившееся за счет испарения воды (5,86 при выражении результатов определения в ккал/кг; 24,62 при выражении результатов определения в кДж/кг)

Для сравнения теплового эффекта от сжигания разных видов топлива и углей различного качества используется понятие об условном топливе. За условное принимается топливо с низшей теплотой сгорания 29,3 МДж/кг (7000 ккал/кг). Усредненные величины теплоты сгорания и некоторых других показателей качества углей России различной стадии метаморфизма приведены в таблице 3.15.

Смачиваемость углей определяется краевым углом смачивания 0, изменяющимся от 0 до 180º. Меньшие значения краевых углов имеют хорошо смачиваемые (гидрофильные) поверхности частиц. Наоборот частицы, поверхность которых слабо удерживает воду, являются гидрофобными. На свойстве смачиваемости основан флотационный метод, широко применяемый для обогащения самых разнообразных полезных ископаемых, в том числе углей.

Чистое угольное вещество является гидрофобным, а минеральные примеси – в большинстве случаев гидрофильными. Однако гидрофобность органического вещества углей зависит от их химического состава и стадии метаморфизма, что в принципе позволяет осуществлять избирательное разделение петрографических компонентов методом флотации.

Коэффициент трения углей – один из важных расчетных показателей при определении угла наклона желобов и других транспортных устройств для рядовых углей и продуктов обогащения. Коэффициент трения также существенно влияет на результаты разделения некоторых процессов (например, при

обогащении на концентрационных столах, противоточной сепарацией, по трению, при обезвоживании в центрифугах и др.).

Таблица 3.15 - Усредненные значения теплоты сгорания угля и некоторых других показателей качества угля различной степени метаморфизма (По Миронову)

Марки угля	Стадии метам	C^{daf},%	W_t^r,%	V^{daf},%	Q_s^{daf},МДж/кг	Q_t^r,МДж/кг
Бурый 1 Б	O_1	63-71	40-58	50-60	25,53-28,88	6,07-13,81
2 Б	O_2	65-76	30-40	33-50	25,53-29,72	9,04-15,90
3 Б	O_3	68-77	17-30	33-50	27,63-33,07	15,49-18,83
Каменные:						
Длиннопла-менный Д	I	74-80	8-16	35-50	30.56-33.49	21.98-24.91
Газовый Г	II	79-83	6-10	33-46	32.23-34.74	23.44-25.58
Газово-жирный ГЖ	II-III		5-8	31-40	33.49-35.16	25.95-27.21
Жирный Ж	III	83-87	4-7	25-37	34.53-35.19	25.33-26.58
Коксово-жирный КЖ	III-IV		4-6	13-33	34.74-36.00	25.95-27.21
Коксовый К	IV	87-90	4-5	17-27	34.74-36.84	26.37-28.47
Отощенно-спекающийся	V	87-90	3-5	14 -27	35.37-36.63	26.58-27.84
ОС Тощий Т	VI	90-92	3-6	8-20	34.53-36.21	25.95-27.63
Антрацит А	VII-VIII	89-98	4-6	1-10	33.49-35.16	23.86-31.00

Склонность углей к окислению и самовозгоранию взаимосвязана с их вещественным составом. При открытой разработке, в целиках, оставляемых в шахтах, при транспортировании и хранении угли окисляются кислородом воздуха и нередко самовозгораются. Кроме того, при окислении изменяются технологические свойства углей вплоть до полной

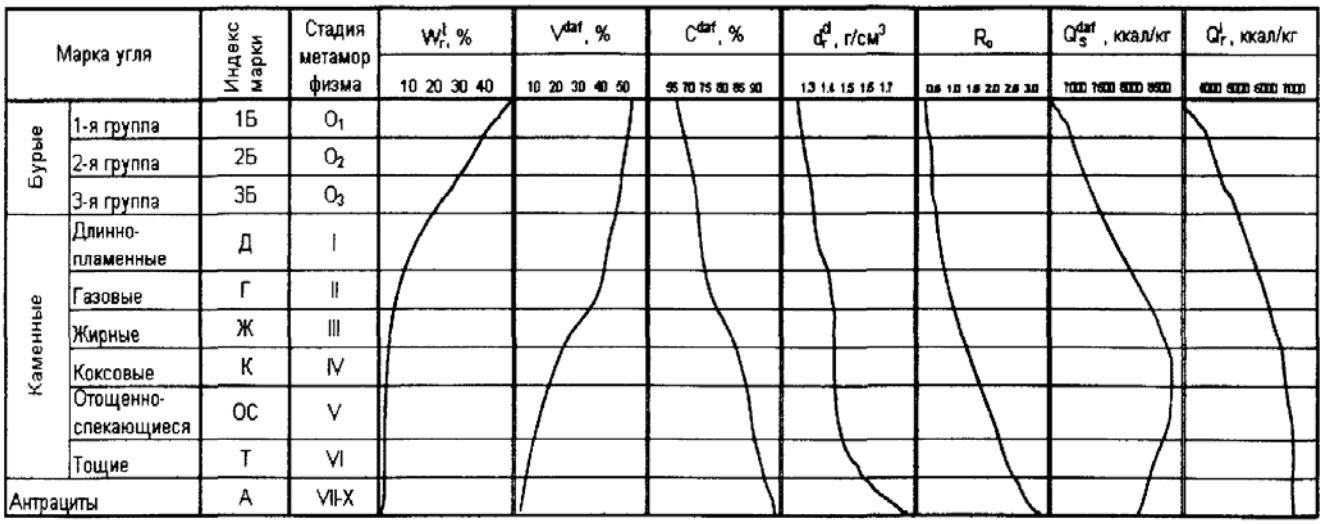
потери пригодности их для определенных видов потребления (например для коксования).

На самовозгорание углей также оказывает большое воздействие и степень их метаморфизма. В общем случае, чем ниже стадия метаморфизма угля, тем большую склонность он имеет к самовозгоранию. Петрографический состав углей влияет также на количество поглощаемого кислорода и выделяющихся при окислении угля (при t =200 °С) CO_2 и CO.

Влагоемкость углей – свойство поглощать влагу – важный показатель, особенно для характеристики размокаемости вмещающих пород. Поскольку процессы обогащения углей в основном осуществляются в одной среде, их размокаемость обуславливает шламообразование, чистоту оборотной воды и другие параметры технологического процесса.

Максимальную влагоемкость W_{max} бурых, каменных углей и антрацитов определяют ГОСТ 8858-76. Сущность метода определения максимальной влагоемкости заключается в выдерживании воздушно-сухой пробы угля крупностью 13 – 50 мм в воде в течение 2 ч и последующем определении содержания общей влаги в угле после стекания воды в течение 20 мин.

Ниже приводятся графики изменения основных свойств угля в процессе метаморфизма (рисунок3.39)



Изучение свойств угля при термическом воздействии

Спекаемость - свойство угля переходить при нагревании без доступа воздуха в пластическое состояние с образованием связанного нелетучего остатка. Свойство угля спекать инертный материал с образованием такого остатка называется спекающей способностью. При нагреве углей определенного петрографического состава и степени углефикации выше 300 °С без доступа воздуха из них выделяются паро-газовые и жидкие продукты. Часть этих продуктов удаляется из зоны реакции, оставшаяся - образует совместно с твердыми продуктами пластическую или вязкотекучую массу. При температуре 500 – 550°С эта масса затвердевает, образуется спекшийся твердый остаток -*полукокс*. При дальнейшем увеличении температуры (до 1000°С и более) в полукоксе снижается содержание кислорода, водорода и серы, последовательно возрастает содержание углерода. Полукокс переходит в твердый углеродистый продукт - *кокс*. Каменные угли I и VI стадий метаморфизма в зависимости от петрографического состава дают порошкообразный или слабоспекающийся нелетучий остаток. Бурые угли и антрациты спекаемостью не обладают.

Спекаемость угля - основа переработки его для получения кокса. В некоторых процессах переработки и использования угля (газификация, получение синтетического топлива, производство адсорбентов и др.) она является отрицательным фактором и поэтому изучается для всех каменных углей. Для ориентировочной оценки спекаемости используется характер нелетучего остатка (королька), получаемого из угля после отгона летучих веществ.

Коксуемость - свойство измельченного угля спекаться с последующим образованием кокса с установленной крупностью и прочностью кусков - исследуется прямыми и косвенными методами.

Прямые методы заключаются в коксовании углей в полузаводских печах и ящичном коксовании. Полузаводские печи в России рассчитаны на загрузку 150–200 кг угля или шихты, нагрев производится при режимах, соответствующих режиму промышленных печей. Ящичное коксование производится путем коксования углей (шихты) в железных ящиках емкостью 70 – 80 кг,

закрываемых крышками с отверстиями для выхода газов, помещаемых в камеру заводской печи. Ящик выдается совместно с готовым коксом (коксовым пирогом). Прочность полученного в полузаводских условиях и ящичном коксовании кокса испытывается в малом барабане, другие физико-механические свойства его в соответствии с действующими стандартами.

При нагреве углей до t = 500 – 550 C^0 без доступа воздуха (полукоксовании) образуются:

смола (первичный деготь T_{sK} конденсирующихся при температуре 20-30 °С жидких органических продуктов - парафинов, производных ароматических углеводородов, эфиров, фенолов, кетонов, карбоновых кислот, сернистых, азотистых и других соединений. Она используется для получения моторных топлив, смазочных масел и других целей;

пирогенетическая (подсмольная) вода W_{sK}. в которой содержатся аммиак, цианистые соединения, уксусная кислота и др.;

газ полукоксования G_{sk} - смесь различных неконденсирующихся газов (CH_4, H_2, CO, CO_2), используемая как топливо;

полукокс sK – твердый нелетучий остаток, используемый как облагороженное (бездымное) топливо или добавка в коксовую шихту. Наибольший выход продуктов полукоксования свойственен бурым и слабометаморфизованным каменным углям. Из 1 т сухого каменного угля I стадии метаморфизма образуется (в % к массе сухого угля) полукокса 70 – 75%, смолы 8 – 10, газа 10 – 12, подсмольной воды 5 – 6. Выход смолы из некоторых бурых углей достигает 25% и более.

Результаты определения выхода продуктов полукоксования используют-ся для установления пригодности исследуемых углей как сырья для полукоксования, а также для оценки их поведения в других технологических процессах. Выход смолы полукоксования T_{sK}^{daf} – массы жидких продуктов разложения единицы массы угля в установленных стандартом условиях - один из основных параметров промышленных классификаций бурых углей.

Летучие продукты, получаемые при коксовании, представлены сырым бензолом, каменноугольной смолой, аммиаком, газами (сероводород, двуоксид углерода, непредельные

углеводороды и др.), пирогенетической водой. Условия лабораторного определения выхода и состава продуктов коксования регламентированы ГОСТ 18635-73. Результаты испытаний используются при составлении балансов продуктов коксования на разведанных месторождениях коксующихся углей.

Зольность - выход негорючего остатка (золы) после выжигания горючей части топлива и удаления летучих соединений. Негорючий остаток(зола) образуется в результате прокаливания и полного окисления минеральных составляющих топлива или частично элементов, входящих в состав их органических соединений. Для углей различают внутреннюю и внешнюю золы.

Внутренняя зола формируется за счет химически связанных с органическим веществом золообразующих компонентов или минеральных примесей, находящихся в органическом веществе угля в тонкодисперсном состоянии.

Внешняя зола возникает за счет более крупных минеральных включений в угольных пластах, а также за счет пород, находящихся в виде прослоев и вмещающих угольные пласты. Эти породы попадают в уголь при добыче и приводят к «разубоживанию». Содержание внутренней золы в наиболее чистых разностях углей Кузбасса составляет 1,9 – 5,9 %. Внешняя зольность в углях может достигать нескольких десятков процентов. Повышение зольности в углях снижает тепловой эффект при сжигании, отрицательно влияет на эффективность их переработки, в частности, на технологию коксования и качество кокса.

Температура воспламенения углей - переход окисления их в горение -обычно не определяется и условно принимается: для бурых углей – 250 – 450°С, каменных с V^{daf} более 20% - 300 – 350°С, с V^{daf} менее 20% - 500 °С тощих и антрацитов – 650 – 800 °С.

Выход летучих веществ. При нагревании угля без доступа воздуха органическая его масса разлагается с образованием газо- и парообразных продуктов (летучие вещества) и твердого нелетучего остатка. Масса (или объем) летучих продуктов, выражаемая в процентном отношении к единице массы испытуемого угля в

определенных стандартом условиях (температура нагрева t =850±10 °С в течении 7 мин.), называется выходом летучих веществ (V).

Состав летучих продуктов: первичный деготь (из бурых углей) или каменноугольная смола (из каменных), газы - CO, CO_2, H_2, CH_4, легкие углеводороды и их производные, вода. Выход летучих веществ и различных компонентов зависят от петрографического состава углей. Определения производятся на пробах угля с зольностью A^d не более 10 %; при большей зольности пробы угля должны подвергаться предварительному обогащению.

Выход летучих веществ в пересчете на сухое беззольное состояние V^{daf} используется как один из основных параметров промышленных класси-фикаций каменных углей, характеризуют состав и строение их органического вещества. Для антрацитов с $V^{daf} < 9$ % в качестве классификационного параметра используется *объемный* выход летучих веществ $V_\sigma{}^{daf}$, определяемый по их объему ($см^3$), выделяемому из навески угля в 1г, нагреваемой без доступа воздуха при t=900±10 °С в течении 15 минут. В интервалах значений V^{daf} от 1.5 до 9 % величина $V_\sigma{}^{daf}$ изменяется от 60 до 320 $см^3$/г.

Твердый нелетучий остаток состоит из углерода и продуктов разложения минеральных примесей, находящихся в угле. Бурым углям и антрацитам свойствен неспекающийся порошкообразный остаток, каменным углям средних стадий метаморфизма - сплавленный вспученный. Характер нелетучего остатка позволяет дать ориентировочную оценку спекаемости углей.

Аналитические исследования углей

Элементный анализ включает определение содержания в органической массе основных элементов: углерода, водорода, азота, кислорода и органической серы. Углерод, водород и кислород содержаться также в минеральной части углей, входят в состав карбонатов, оксидов, а также содержатся в гидратной воде силикатов. Соответственно различают содержание этих элементов: общее (C_t, H_t, и O_t,), в органической массе (C_o, H_o и O_o) и в минеральной части углей ($C_м$, $H_м$ и $O_м$)

Установленные зависимости количественной характеристики состава органического вещества угля от особенностей протекания

процесса углеобразования и тесная взаимосвязь ее с физическими и технологическими свойствами углей используются для предварительных расчетов некоторых показателей их качества – теплоты сгорания, теоретической температуры горения, выхода и состава продуктов сжигания и термического разложения. Элементный состав органического вещества учитывается также при разработке генетических и промышленных классификаций углей.

Технический анализ

Объединяет определения основных показателей качества угля, предусмотренных техническими требованиями: влажности, зольности, содержания серы, в необходимых случаях фосфора, выхода летучих веществ и теплоты сгорания. В случаях, когда направление использования углей конкретного месторождения определено в достаточной степени, производится сокращенный технический анализ, включающий определения только зольности углей, влажности и выхода летучих веществ. Качество углей Кузбасса отражено в таблице 3.16. (Шпайхер).[5]

Обогатимость углей устанавливается на основе определения гранулометрического (ситового) и фракционного состава.

При выявлении гранулометрического состава уголь рассеивается на свитах с круглыми отверстиями диаметром 150, 100 и 50 мм и с квадратными отверстиями 25×25, 6×6, 1×1 и 0,5×0,5 мм. Фракционный анализ выполняют путем расслоения проб углей на отдельные классы в тяжелых жидкостях плотностью 1,3, 1,4, 1,5, 1,6 и 1,8 г/см^3 (водный раствор хлористого цинка). Фракционный анализ угля с крупностью частиц менее 1 мм производится методом центрифугирования.

По результатам фракционного анализа определяются выход отдельных фракций угля и их качество. Степень обогатимости угля условно устанавливают по суммарному выходу средних (промежуточных) фракций плотностью 1,4 – 1,8 г/см^3 , выраженному в процентах и отнесенному к беспородной массе (с плотностью менее 1,8 г/см^3).

Уголь различных категорий обогатимости характеризуется следующим выходом промежуточных фракций (в %): легкой –

менее 4, средней – 4 – 10, трудной – 10 – 17 и очень трудной – более 17.

Характеристика крупности угля и зольность отдельных его классов оказывают влияние на выбор метода и глубины обогащения. При высоком содержании класса крупнее 6 мм более выгодным является обогащение в суспензиях, а при низком – обогащение отсадкой или в суспензионных циклонах.

Содержание в угле класса менее 0,5 мм и зольность этого класса влияют на выбор глубины обогащения коксующихся углей. При низкой зольности класса менее 0,5 мм и малом выходе появляется возможность его подшихтовки к концентрату. В этом случае класс менее 0,5 (менее 1) мм в обогащение не вступает. Он выделяется в виде пыли, которая присоединяется к концентрату.

Характеристика вкрапленности минеральных примесей в угле влияет на выбор числа стадий обогащения. Если в угле не содержится загрязняющих примесей в виде мелких выделений или содержание их в этой форме незначительно, то могут применяться одностадийные схемы обогащения, т.е. схемы без дополнительного дробления промпродуктов. В противном случае промпродукты подвергают додрабливанию. При обработке высокосернистых коксующихся углей с мелкими включениями серного колчедана дополнительному дроблению должен подвергаться не только промпродукт, но и концентрат, выделяемый при обогащении крупного класса.

Характеристика вкрапленности минеральных примесей влияет также на максимальную крупность угля, поступающего в обогащение. При крупных включениях породы в обогащение поступает уголь крупностью до 100 – 300 мм. При более мелкой вкрапленности крупность угля, поступающего в обогащение, снижается до 50 мм, а в некоторых случаях и до 12 мм.

Микроэлементы в углях

В органической и минеральной частях углей содержатся соединения цветных металлов, редкие и рассеянные элементы суммарная концентрация которых обычно не превышает 1 % сухой массы угля. Они - объединяются условным понятием - «малые» элементы. Содержание подавляющего числа этих

элементов не превышает фоновых значений, но на некоторых месторождениях отдельные из них приобретают значение как объекты попутного извлечения и промышленного использования или как вредные (токсичные) примеси.

Наибольшее практическое значение для извлечения имеют уран и германий. Повышенные концентрации этих элементов в углях переводят некоторые угольные месторождения в разряд самостоятельных угольно-урановых или угольно-германиевых, изучаемых и осваиваемых по специальным программам. Попутное извлечение германия при переработке углей производится на многих месторождениях - на некоторых извлекаются галлий и ванадий. Перспективны для извлечения молибден, рений, серебро. Извлечение других элементов (свинца, цинка и др.) с повышенной концентрации, выявленной на локальных участках, вследствие небольших количеств, низкого в целом крайне изменчивого содержания, а также наличия других источников сырья признано нецелесообразным.

Многие «малые» элементы, образующие при добыче, переработке и использовании углей, токсичные и загрязняющие окружающую среду соединения, являются вредными примесями.

Для определения содержания в углях «малых» элементов используются полуколичественные и количественные спектральные, спектрофотометрические, активационные и атомно-абсорбционные методы. Выбор методов исследований зависит от свойств изучаемых элементов и поставленных целей. В большинстве случаев содержание этих элементов дается расчете на золу, реже в пересчете на сухое состояние угля.

Для определения содержания германия, одним из основных источников промышленного извлечения которого является уголь, используется фотоколориметрический метод, галлия-колориметрический метод. Направление использования углей приведено в таблице 3.16.

Таблица 3.16 – Направление использования углей различных технологических марок, групп и подгрупп.

Направление использования	Марки, группы и подгруппы
I Технологическое	
1.1 Слоевое коксование	Все группы и подгруппы марок: ДГ, Г, ГЖО, ГЖ, Ж, КЖ, К, КО, КСН, КС, ОС, ТС и СС
1.2 Специальные процессы подготовки к коксованию	Все марки, группы, подгруппы углей, используемые для слоевого коксования, а также марок Т и Д (подгруппы ДВ)
1.3 Производство генераторного газа в газогенераторах стационарного типа:	
смешанного газа	Марки: КС, СС, группы: ЗБ, 1ГЖО, подгруппы: ДГФ, ТСВ, 1ТВ
водяного газа	Группа 2Т, а также антрациты всех марок, групп и подгрупп
1.4 Производство синтетического жидкого топлива	Марка ГЖ, группы: 1Б, 2Г, подгруппы: 2БВ, 3БВ, ДВ, ДГВ, 1ГВ Марка ДГ, группы: 1Б, 1Г, подгруппы: 2БВ, 3БВ, ДВ
1.5 Полукоксование	Группы: 2П, 3А, подгруппы: 2ТФ и 1АФ
1.6 Производство углеродистого наполнителя (термоантрацита) для электродных изделий и литейного кокса	Все группы и подгруппы антрацитов, а также подгруппа 2ТФ
1.7 Производство карбида кальция, электрокорунда	Все марки, группы, подгруппы бурых углей и антрацитов, а также неиспользуемые для коксования все марки, группы, подгруппы каменных углей. Для факельно-слоевых топок антрациты всех групп, подгрупп не используются
II Энергетическое	
2.1 Пылевидное и слоевое сжигание в стационарных котельных установках	Марка ДГ, подгруппы: 1Г, 1СС, 2СС Марки: Д, ДГ, СС, Т, А и неиспользуемые для коксования:
2.2 Сжигание в отражательных печах	марки: Г, ГЖ, Ж, КЖ, группа 1ГЖО
2.3 Сжигание в топках судов	Марки: Д,ДГ,Г, группы: 2СС, 3СС, подгруппа 3БВ

Продолжение таблицы 3.16 – Направление использования углей различных технологических марок, групп и подгрупп.

Направление использования	Марки, группы и подгруппы
2.4 Сжигание в топках энергопоездов Сжигание в топках паровозов и используемых как топливо для коммунальных и бытовых нужд	Все марки, группы и подгруппы буровых углей и антрацитов, а также неиспользуемые для коксования все марки, группы и подгруппы
III Производство строительных материалов, в том числе: 3.1 Извести	Марки: Д, ДГ, СС, А, группы: 2Б и 3Б; а также неиспользуемые для коксования марки – ГЖ, К и группы 2Г, 2Ж
3.2 Цемента	Марки: Б, ДГ, СС, ТС, А, Т, подгруппа ДВ и неиспользуемые для коксования марки КС, КСН, группы 2Г и ГЖО
3.3 Кирпича	Неиспользуемые для коксования угли всех марок, групп, подгрупп
IV Прочие 4.1 Производство углеродных абсорбентов	Подгруппы: ДВ, 1ГВ, 1ГЖОВ, 2ГЖОВ
4.2 Производство активированного угля	Группа 3СС, подгруппа 2ТФ
4.3 Агломерация руд	Подгруппы: 2ТФ, 1АВ, 1АФ, 2АВ, 3АВ

Библиографический список

1. В.В. Авдонин, В.Е. Бойцов, В.М. Григорьев и др.- 2-е издание исправленное и дополненное.- М.: Академический проект, Трикста, 2005, 720с.
2. Агошков М.И. Развитие идей и практики комплексного освоения недр, - М.:ИПКОН АН СССР, 1989.
3. Альбов М. Н., Опробование месторождений полезных ископаемых, М., «Недра», 1975, 232с.
4. Атлас текстур и структур руд, М.: Недра, 1974, 267с.
5. Багдасаров И.Б., Вергеба А.О., Польтов И.И., Справочник горного инженера геологоразведочных работ. – М.: Недра, 1986, 306с.
6. Барский Л.А. Основы минералургии. М.1984.
7. Барский Л.А. Как ископаемые становятся полезными, М.: Недра, 1987, 84с.
8. Барский Л.А. Безотходные технологии переработки минерального сырья, М.: Недра, 2001, 170с.
9. Берлинский А.И. Разделение минералов 2-е издание, переработанное и дополненное.- М.: Недра, 1988 – 229с.
10. Богданова И.П., Нестерова Н.А., Федорченко В.С. Обогащение полезных руд. Справочное пособие.- М.:Недра,1989, 158с.
11. Вахромеев С.А. Месторождения полезных ископаемых.- М.:Недра,1979.
12. Виноградов В.С. Экономическая оценка комплексного минерального сырья.- М.: Недра,1978, 223с.
13. Геология и разведка месторождений полезных ископаемых. Учебник для вузов. Под редакцией В.В. Ершова.- М.: Недра, 1989, 389с.
14. Геология полезных ископаемых. Учебник для высшей школы.- М.: Академический проект, 2004. 512с.(«Gaudeamus», «Классический университетский учебник»)
15. Глембицкий В.А., Дмитриева Г.М. Влияние генезиса минералов на их флотационные свойства.- М.: наука, 1985, 112с.

16. Дунаев В.А. Состояние и проблемы промышленного освоения МСБ черной металлургии России.- М. Горный журнал №5, 2004, с. 117-121.
17. Журавлев С.И. Обогащение магнетитовых руд контактово и гидротермально-метасамотического генезиса. М.: Недра, 1978, 152с.
18. Жабин А.Г. Жизнь минералов. – М: «Сов.Россия», 1976, 224с.
19. Келина И.М. Обогащение руд. М.: Недра, 1979, 221с.
20. Козловский В.А. Россия: минерально-сырьевая политика и национальная безопасность.- М.: Издательство МГТУ, 2002, 856с.
21. Курехин В.В., Масаев Ю.А., Першин В.В. Зарождение горного дела и этапы его развития.- Кемерово, 2002, 226с.
22. Кяббим М.Э. Экономический механизм комплексного освоения недр.- М.: Недра, 1984, 176с.
23. Лавцевич В.П. Охрана недр. Учебное пособие.- Новокузнецк, 2004, 48с.
24. Ласкорин Б.Н. Безотходная технология переработки минерального сырья. М.: «Недра» 1984, 412с.
25. Малецкий Н.А. Комплексное использование минерально-сырьевых ресурсов при обогащении руд черной металлургии. Недра, 1986, 201с.
26. Месторождения полезных ископаемых: Учебник для вузов/ В.А. Ермолов, Г.Б. Попова, В.В. Мосейкин и др., под редакцией В.А. Ермолова, 2-е издание.- М.: Издательство МГТУ, 2004, 507с.
27. Методы изучения осадочных пород. Том II. Недра, 1957, 560с.
28. Минералогическая энциклопедия.- М.: Недра, 1985, 512с.
29. Миронов К.В. Справочник геолога-угольщика.- М.: Недра, 1982, 412с.
30. Молчанов В.И., Юсупов Т.С.Физические и химические свойства тонкосперсных минералов.- М.: Недра, 1981, 160с.
31. Новиков А.А., Яситржемский И.Э., Благутин Ю.Л. Перспективы развития сырьевой базы металлургии в России. Горный журнал №7 2002.
32. Новиков Э.А. Человек и литосфера. Издание 2-е переработанное и дополненное. М.: Недра, 1994, 192с.
33. Обогатимость железных руд, .- М.: Недра 1989,216с.

34. Орлов В.П. О повышении экономической эффективности использования и изучения.- Минеральные ресурсы России, №4, 1999.
35. Паркер Р. Природа предъявляет счет (Охрана природных ресурсов США).- М.: Прогресс, 1989, 568с.
36. Переработка, обогащение и комплексное использование полезных ископаемых. Издательство МГТУ, 2004, - 510с.
37. Пожидаев Ю.В. Кривошеина Н.Г. Подготовка и переработка минерального сырья. Учебное пособие/СибГИУ.- Новокузнецк, 2005, 186с.
38. Полькин С.Н., Адамов З.В. Обогащение руд цветных металлов.- М.: Недра,1983, 400с.
39. Подобедов С.Н. Природные ресурсы Земли и охрана окружающей среды.- М.: Недра, 1985, 236с.
40. Проблемы рационального использования минерального сырья и охраны природы, Новосибирск, СНИГГиМС, 1990, 94с.
41. Птицин А.М., Дюдин Ю.К., Полонский Т.В. Состояние МСБ Российской металлургии и меры по ее укреплению. Горный журнал, №3, 2004, с. 45-52.
42. Родыгина В.Г. Начало минераграфии. Учебное пособие. Томск: Издательство ТГУ, 1990, 175с.
43. Спичак Ю.Н., Ткачев В.А., Китко А.Э. Охрана окружающей среды и рациональное использование месторождений полезных ископаемых.– М.: Недра,1993, 275с.
44. Старостин В.И., Игнатов П.А. Геология полезных ископаемых.- М.: Академический проект, 2004, 420с.
45. Торопов И.А., Булак Л.Н. Лабораторный практикум по минералогии. Москва, Высшая школа, 1969, 241с.
46. Трифонова Т.А. Прикладная экология. Учебное пособие для вузов. Академический проект. Традиция, 2005, 384с.
47. Тулеев А.Г., Павленко С.И., Луханина Т.М. Техногенные месторождения минеральных ресурсов – перспективное сырье для многих отраслей промышленности. Кемерово, 2005.
48. Фишман М.А.Практика обогащения руд цветных металлов.- М.: Недра, 1967,170с.
49. Фишман С.Э.Обогащение полезных ископаемых.- М.: Недра,1985, 186с.

50. Экология, охрана природы и экологическая безопасность/под редакцией В.И. Данилова-Данильяна. Учебное пособие.- М.: МНЭПУ, 1997, 744с.
51. Юшко С.А. Методы лабораторного исследования руд.- М.: Недра, 1984, 383с.
52. Шпайхер Е.Д., Гутак Я.М., Епифанцев О.Г., Лукин К.Д. Геологическое строение и полезные ископаемые Кемеровской области.- Новокузнецк СибГИУ, 2006, 170с.
53. Шпайхер Е.Д., Салихов В.А. Месторождение полезных ископаемых и их разведка. Издание 2^{oe} , дополненное. Новокузнецк СибГИУ, 2003, 238с.
54. Шпайхер Е.Д., Салихов В.А. Геолого-разведочные работы и геолого-экономическая оценка месторождений полезных ископаемых.- Новокузнецк, СибГИУ, 2003, 331с.

Приложение А

Краткие сведения о минералах (по А.И. Берлинскому)

Приложение А1 - Химический состав и свойства минералов

Минерал	Химическая формула	Плот-ность, г/см^3	Твёрдость по шкале Мооса, механические свойства
Азурит	$2CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$	3,7-3,9	3,5-4 хрупкий
Алмаз	C	3,2-3,5	0 хрупкий
Альмандин	$Fe_3Al_2[SiO_4]_3$	3,4-4,3	6,5-7,5
Андрадит	$Ca_3Fe_2[SiO_4]_3$	3,1-4,3	6,5-7,0 хрупкий
Антимонит	Sb_2S_3	4,5-4,6	2-2,5 хрупкий
Арсенопирит	FeAsS	5,9-6,2	5,5 хрупкий
Барит	$BaSO_4$	4,3-4,7	4 хрупкий
Борнит	Cu_3FeS_4	4,9-5,2	3 хрупкий
Вольфрамит	(Fe,Mn)Woy	6,7-7,5	4,5-5 хрупкий
Галенит	PbS	7,4-7,6	2-3 хрупкий
Гематит	Fe_2O_3	5-5,3	5,5-6 хрупкий
Гетит	$Fe_2O_3 \cdot H_2O$	4-4,5	4,5-5,5 хрупкий
Гипс	$CaSO_4 \cdot 2\ H_2O$	2,3-2,4	6,5-7,5
Гроссуляр	$Ca_3\ Al_2[SiO_4]_3$	3,1-4,3	6,5-7
Диаспор	$Al_2\ O_3 \cdot H_2O$	3,3-3,5	6,5-7очень хрупкий
Доломит	$Ca,Mg[Co_3]_2$	2,9	3,5-4 хрупкий
Ильменит	$FeTi\ O_3$	4,7	5-6
Кальцит	$CaCO_3$	2,7-2,8	3 хрупкий
Карналлит	$KCI \cdot MgCI_2.6H_2O$	1,6	2,5 хрупкий
Касситерит	SnO_2	6,8-7	6-7 хрупкий
Кварц	SiO_2	2,6	7 хрупкий
Киноварь	HgS	8-8,2	2 режется ножом
Корунд	Al_2O_3	3,7-4,1	9 хрупкий
Магнезит	$MgCO_3$	2,9-3,1	4 хрупкий
Магнетит	Fe_2O_4	4,9-5,2	4-4,5 хрупкий
Молибденит	MoS_2	4,7-4,8	5,5-6,5 хрупкий
Пентландит	$(Fe,Ni)_9S_8$	4,6-5	1,0 режется ножом
Пирит	FeS_2	4,9-5,1	6

Приложение А1 - Химический состав и свойства минералов

Минерал	Химическая формула	Плотность, г/см^3	Твёрдость по шкале Мооса, механические свойства
1	2	3	4
Пиролюзит	MnO_2	4,3-4,8	6-6,5 хрупкий
Пирротин	FeS	4,5-4,6	2-4
Полевые	$K,Na[AlSi_3O_8].Ca(Al_2Si_2O_8)$	2,54-2,76	6
Псиломелан	$MnO\cdot MnO_2\cdot nH_2O$	4,4-4,7	3,5-4,5 хрупкий
Реальгар	AsS	3,4-3,6	1,5-2
Рутил	$Ti\ O_2$	4,2-4,3	6-6,5
Сера самородная	S	1,9-2,1	1-2 хрупкий
Сильвин	KCI	1,9-2	2 хрупкий
Смитсонит	$ZnCO_3$	4,1-4,5	5 хрупкий
Сфалерит	ZnS	3,9-4,1	3,5-4 хрупкий
Тальк	$3MgO_4SiO_3.H_2O$	2,6-2,8	1 режется ножом
Уголь		2,9-3,2	7-7,5 хрупкий
каменный	C до 90%	1,4-1,7	2,5
Флюорит	CaF_2	3-3,2	4 хрупкий
Халькозин	Cu_2S	5-5,5	2,5-3 ковкий
Халькопирит	$CuFeS_2$	4,1-4,3	3,5-4срав. хрупк.
Хромит	$FeOCr_2O_3\ Fe\ Cr_2O_4$	4,5-4,8	5,5-6,5
Церуссит	$PbCO_3$	6,4-6,6	3-3,5
Циркон	$ZrSiO_4$	4,5-4,7	7-8
Шеелит	CaWoy	5,8-6,2	4,5-5 хрупкий

Приложение А 2 - Растворимость минералов в кислотах и щелочах

Минерал	Плотность	Растворимость				
		HNO_3	H_2SO_4	HF	KOH	NAOHq
Азурит	3,7-3,9	-	-	+	-	-
Алмаз	3,2-3,5	-	-	-	-	-
Англезит	6,1-6,4	+	+	-	+++	++
Апатит	3,1-3,2	++	++	++	-	-
Арсенопирит	5,9-6,2	+++	+	+	-	-
Барит	4,3-4,7	-	-	+?	-	-
Боксит	2,5-3,5	-	-	-	-	-
Борнит	4,9-5,2	+	-	-	-	-
Браунит	4,7-5,0	+	+?	-	-	-
Вольфрамит	6,7-7,5	-	+	+	-	-
Галенит	7,4-7,6	++	-	-	-	-
Гаусманит	4,8	++	++	-	-	-
Гематит	5,0-5,3	-	-	+	-	-
Гетит	4,0-4,5	-	-	-	-	-
Гипс	2,3	-	+	+?	-	-
Доломит	2,9	-	-	-	-	-
Ильменит	4,7	-	-	-	-	-
Кальций	2,7	+++	++	++	+	-
Касситерит	6,8-7,0	-	-	-	-	-
Кварц	2,65	-	-	++	++	++
Киноварь	8,0-5,2	-	-	-	-	-
Куприт	6,0-6,2	+++	-	-	-	-
Лимонит	3,3-4,0	-	-	-	-	-
Магнезит	2,9-3,1	+	+	+	-	-
Магнетит	4,9-5,2	+	-	-	-	-
Молибденит	4,7-4,8	++	-	-	-	-
Нефелин	2,5-2,6	++	++	++	++	-
Пиролюзит	4,7-5,0	++	-	-	-	-
Псиломелан	3,4-4,4	-	-	-	-	-
Сидерит	3,7-3,9	-	-	-	-	-
Сфалерит	3,9-4,1	++	++	+	-	-
Флюорит	3,0-3,2	-	+	-	-	-
Халькопирит	4,1-4,3	+	+	-	-	-
Хромит	4,5-4,8	-	-	-	-	-
Шеелит	5,8-6,2	++	-	-	-	-

Условные обозначения:

- нерастворимые; + растворимые;

++ легко растворимые; +++ очень легко растворимы.

Таблица - 3 - Классификация минералов по электропроводности (Берлинский, 1984)

Хорошие проводники	Средние и слабые проводники	Непроводники
Антимонит Арсенопирит Галенит Гематит Графит Золото Ильменит Ковеллин Магнетит Манганит Молибденит Пирит Пиролюзит Пирротин Титаномагнетит Халькозин Халькопирит	Боксит Вольфрамит Кааганит Касситерит Киноварь Корунд Лимонит Сидерит Сфалерит Хромит Циркон	Алмаз Апатит Барит Гипс Кальций Карналлит Кварц Магнезит Нефелин Полевой Шпат Турмалин Флюорит Шеелит

Таблица - 4 – Классификация минералов по магнитным свойствам (по А.И.Берлинскому)

Сильномагнитные	Среднемагнитные	Слабомагнитные	Немагнитные
Магнетит Титаномагнетит Пирротин Магнитная платина	Вольфрамит Гематит Ильменит Лимонит Пиролюзит Псиломелан Хромит	Турмалин Халькопирит	Азурит Алмаз Антимонит Апатит Корунд Малахит Молибденит Пирит Сидерит Смитсонит Сфалерит * Флюорит Халькозин Церуссит Шеелит

* Сфалерит железистый (марматит) сильно магнитен

Таблица - 5 – Растворимость минералов в соляной кислоте (по А.И.Берлинскому)

Элемент	Растворимость минералов			
	На холоде	С подогревом	Плохо растворимые	Нерастворимые
1	2	3	4	5
Барий			Барий	
Вольфрам			Шеелит Вольфрамит	
Железо	Почти все	Сидерит		
Марганец	Все			
Медь	Малахит			Халькопирит Халькозин Ковеллин Борнит
Молибден				Молибденит
Мышьяк				Арсенопирит
Никель				Пентландит
Олово				Касситерит
Ртуть				Почти все
Свинец	Церуссит			Галенит Англезит
Титан			Ильменит	
Фосфор	Почти все			
Фтор				Флюорит
Хром				Хромит
Цинк	Почти все	Сфалерит		
Цирконий				Циркон
Другие минералы	Кальцит Серпентин Нефелин Лазурит Пирротин	Доломит Магнезит Оливин		Кварц Полевые шпаты Корунд Гранат Тальк Гипс Ангидрит Сера Пирит Графит

Приложении Б. Глоссарий (словарь-справочник)

Пособие составлено с целью оказать помощь студентам специальности 130405 «обогащение полезных ископаемых», изучающих вещественный состав полезных ископаемых и представляет собой словарь-справочник, состоящий из основных терминов и понятий, расположенных в алфавитном порядке и их краткого разъяснения.

Пособие не заменяет учебников по дисциплинам, которые последовательно изучаются студентами на первом и втором курсах. Оно лишь дополняет учебники, облегчает восприятие большого количества новых терминов и дает возможность в необходимой степени овладеть профессиональным языком. Большую помощь пособие окажет студентам на самостоятельных занятиях, в контроле знаний при подготовке к зачетам и экзаменам.

А

АБРАЗИВЫ – минералы и горные породы высокой твердости, применяемые для шлифовки, полировки, резания и точки различных изделий.

АБСОЛЮТНЫЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ВОЗРАСТ – время, прошедшее от какого-либо геологического события до современной эпохи, исчисляемое в миллионах и тысячах лет. Определяется радиационными методами, а также по скорости накопления осадков.

АККУМУЛЯЦИЯ – экзогенный процесс – накопление минерального вещества или органических остатков в пониженных частях рельефа земной коры. Различается НАЗЕМНАЯ **АККУМУЛЯЦИЯ** – гравитационная, речная, ледниковая, морская, озерная, эоловая, биогенная, вулканическая, техногенная; **ПОДВОДНАЯ АККУМУЛЯЦИЯ** – оползневая, вулканическая, площадная (с образованием терригенных и вулканических остатков).

АЛЛОХТОНИЯ – накопление исходного растительного материала углей со значительным его переносом от первоначального места

произрастания растений-углеобразователей. Аллохтонные угли являются, как правило, высокозольными.

АЛЬГИНИТ – микрокомпоненты углей, образовавшиеся в процессе битуминизации одиночных или колониальных водорослей в застойном озере. В проходящем свете в шлифах имеют желтый цвет.

АНИЗОТРОПНОСТЬ (неравносвойственность) – свойство кристаллического вещества (наряду с однородностью и способностью самограняться), характеризующее различие значений физических параметров кристалла по разным направлениям.

АНТРАЦИТ – наиболее метаморфизованный уголь с ярким металлическим блеском, раковистым изломом и редкими трещинами.

АТОМНЫЙ (ИОННЫЙ) РАДИУС – минимальное расстояние, на которое центры атомных (или ионных) сфер могут приближаться к сферам соседних атомов или ионов.

Б

БАССЕЙН ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ – область распространения твердых пластовых осадочных, а так же жидких и газообразных полезных ископаемых.

БИТУМИНИЗАЦИЯ - процесс биохимического разложения растительного и животного планктона в застойных озерах с образованием сапропеля.

БОРОЗДА ПУНКТИРНАЯ – способ отбора проб, когда в пробу берутся кусочки полезного ископаемого, расположенные по определенной линии (борозде) на расстоянии 3-5 см друг от друга.

БОРТОВОЕ СОДЕРЖАНИЕ ПОЛЕЗНОГО КОМПОНЕНТА – минимальное содержание полезного компонента в крайней (фланговой) пробе, по которой оконтуривается тело полезного ископаемого, при этом среднее содержание полезного компонента в

пределах оконтуренного тела или его участка должно быть не ниже минимального промышленного и приближается к содержанию полезного компонента в хвостах обогатительной фабрики.

БУРЫЙ УГОЛЬ – группа наименее метаморфизованных гумусовых углей обычно бурого цвета или черного цвета, но с бурой чертой. Содержат около 75% углерода, 5% водорода, 20% кислорода.

В

ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ГОРНЫХ ПОРОД – минералы (зерна или кристаллы); вулканическое стекло; обломки минералов и горных пород; цементирующее вещество; органические остатки – вещества, которые могут входить в состав горной породы.

ВИТРЕН (от латинского - стеклянный) – наиболее блестящий ингредиент гумусовых углей; отмечается в виде отдельных линз или слоев мощностью 1-30мм. Витрен образовался из коры или древесины. Зольность наименьшая по сравнению с другими составляющими (3-5 %). Спекаемость наибольшая.

ВИТРЕНОВЫЙ УГОЛЬ – петрографический тип ярко блестящего гумусового угля, состоящий на 90-100% из витринита.

ВИТРИНИТ – микрокомпонент гумусовых углей, образовавшийся в процессе гелификации лигниноцеллюлозных тканей высших растений. В прозрачном шлифе под микроскопом имеет красный цвет. Относится к плавким компонентам при коксовании углей.

ВЛАЖНОСТЬ – количество влаги, получаемое в результате нагрева угля до температуры 105° С, отнесенное к массе топлива, поступившего на анализ (Wp%).

ВЛАЖНОСТЬ УГЛЕЙ – содержание влаги в углях, выражаемое в процентах; выделяется влага РАБОЧАЯ, АНАЛИТИЧЕСКАЯ и ГИГРОСКОПИЧЕСКАЯ.

ВНУТРЕННЯЯ СТРУКТУРА МИНЕРАЛОВ – строение мономинеральных участков в минеральном парагенезисе,

выявляемое с помощью поляризованного света или структурного травления.

ВОДНО-ШЛАМОВАЯ СХЕМА– содержит данные о соотношении воды и твердого в продуктах обогащения. В водно-шламовых схемах указывается количество твердого (т/сут, т/ч) и количество жидкого (м7сут$_г$ м^3/чК поступающих в каждую технологическую операцию и уходящих с получаемыми продуктами. Количество жидкого в операциях в водно-шламовой схеме может указываться также в виде соотношения массовых количеств жидкого и твердого (Ж:Т), в виде удельного расхода жидкого на единицу твердого (м^3/т) и в процентах (массовых).

ВРЕДНЫЕ ПРИМЕСИ – элементы и природные химические соединения, содержащиеся в ископаемых и оказывающие отрицательное влияние на качество ценных компонентов.

ВУЛКАНОГЕННО-ОСАДОЧНЫЕ (КОЛЧЕДАННЫЕ) МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ – класс месторождений магматогенно-седиментационной группы, образующихся в результате воздействия гидротермальных минерализованных растворов, исходящих из вулканических очагов на определенной стадии извержения вулкана, на вулканогенно-осадочные горные породы.

ВЫВЕТРИВАНИЕ – экзогенный процесс, при котором происходит физическое, химическое и биохимическое изменение и разрушение минералов и горных пород в поверхностной части земной коры под воздействием относительно неподвижных атмосферных агентов.

ВЫХОД ЛЕТУЧИХ ВЕЩЕСТВ – смесь газообразных и парообразных веществ, которые выделяются при разложении угля при его нагревании до 850°С без доступа воздуха. Этот показатель рассчитывают:

- на единицу сухой общей массы угля V^c, %;
- на единицу сухой обеззоленной массы, $V^{dat(}$, %. (Кузбасс 17-30 %).

ВЫХОД ПРОДУКТА– показатель, характеризующий, какую часть массы перерабатываемого полезного ископаемого составляет тот

или иной продукт обогащения. Выход любого продукта обогащения (γ) выражают в процентах, реже в долях единицы.

Г

ГЕЛИФИКАЦИЯ – процесс биохимического разложения остатков лигниноцеллюлозных тканей высших растений в анаэробных условиях болотных вод с pH меньше 7.

ГЕНЕЗИС – происхождение каких-либо геологических образований (горных пород, месторождений и т.п.).

ГЕНЕТИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ГОРНЫХ ПОРОД – разделение горных пород на три группы по происхождению: МАГМАТИЧЕСКИЕ, ОСАДОЧНЫЕ и МЕТАМОРФИЧЕСКИЕ.

ГЕНЕТИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ – иерархическая группировка месторождений по процессам и условиям их образования. Выделяются СЕРИИ, в пределах серий – ГРУППЫ, затем КЛАССЫ и ПОДКЛАССЫ.

ГЕНЕТИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ УГЛЕЙ – разделение ископаемых углей по условиям их происхождения на три группы: **ГУМОЛИТЫ** – из остатков высших растений; САПРПЕЛИТЫ – из остатков низших растений; САПРОГУМОЛИТЫ – смешанные.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ РАЗМЕЩЕНИЯ (ЛОКАЛИЗАЦИИ) И ОБРАЗОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ – сочетание различных геологических условий (факторов), благоприятных для образования и пространственного размещения тел и месторождений полезных ископаемых. Различают факторы МАГМАТИЧЕСКИЕ – пространственная и генетическая связь месторождений с определенными комплексами изверженных горных пород; ЛИТОЛОГИЧЕСКИЕ – приуроченность постмагматических месторождений к горным породам определенного состава и физико-химических свойств; СТРАТИГРАФИЧЕСКИЕ – связь экзогенных месторождений со стратиграфически определенными частями геологического разреза; ТЕКТОНИЧЕСКИЕ – приуроченность месторождений к

определенным тектоническим структурам, их частям или комбинациям.

ГЕОЛОГИЯ – комплекс наук о строении Земли, ее развитии и происхождении, изучающих состав, строение и историю развития земной коры. Термин ГЕОЛОГИЯ употребляется также для обозначения строения какого-либо участка земной коры.

ГЕОСИНКЛИНАЛЬНВЫЙ ТИП УГОЛЬНЫХ БАССЕЙНОВ (МЕСТОРОЖДЕНИЙ) – один из членов структурно-тектонической классификации угольных бассейнов и месторождений, приурочен к подвижным участкам земной коры (геосинклинальным областям). Угленосная толща характеризуется значительной мощностью (до нескольких десятков) угольных пластов относительно малой мощности (обычно менее 3-3,5м) и высоким качеством угля.

ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКАЯ ШКАЛА – шкала, показывающая расположение в возрастной последовательности условных отрезков времени (эр, периодов, эпох и веков), на которые делится геологическая история Земли.

ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ – класс месторождений магматогенной группы, образующихся в результате осаждения рудных минералов из горячих рудных растворов, отщепляющихся от магматического очага. В зависимости от источников растворов выделяются подклассы: ПЛУТОНОГЕННЫЕ (ГЛУБИННЫЕ) и ВУЛКАНОГЕННЫЕ (ПРИПОВЕРХНОСТНЫЕ).

ГНЕЗДО – небольшая (менее 10 м) изометричная залежь сплошного или густо вкрапленного минерального вещества.

ГРАВИТАЦИОННЫЙ МЕТОД ОБОГАЩЕНИЯ основан на использовании различий в плотностях минералов. К этому методу относят следующие процессы: обогащение в тяжелых средах

(жидкостях и суспензиях); отсадку; обогащение в струе воды, текущей по наклонной плоскости (концентрационные столы и др.); обогащение в центробежном поле; противоточную сепарацию и др.

ГРАВИТАЦИОННОЕ ПОЛЕ – физическое поле Земли, создаваемое массой Земли. Количественной характеристикой является величина ускорения силы тяжести в данной точке земной поверхности.

ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ ГОРНЫХ ПОРОД – характеристика горной породы, указывающая распределение частиц различного размера (крупности), выраженное в весовых или объемных процентах.

ГРОХОЧЕНИЕ (сортировка) — операция разделения сыпучей массы по крупности путем просеивания ее через одно или несколько решет (сит) с отверстиями различного размера. В результате этой операции получаются два или несколько классов различной крупности. Отношение размеров наибольшего и наименьшего кусков называется шкалой классификации. Грохочение *с* целью обезвоживания получило широкое распространение на обогатительных фабриках с применением мокрых процессов обогащения. Первичное обезвоживание угольных концентратов, содержащих большое количество воды, почти всегда производится на грохотах.

ГРУППИРОВКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПО СЛОЖНОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ - распределение месторождений для целей разведки на четыре группы (месторождения простого, сложного, очень сложного и весьма сложного строения) в зависимости от степени выдержанности качества, мощности, внутреннего строения и условий залегания, а также степени равномерности распределения полезных компонентов.

ГУМИТЫ – класс углей, образовавшихся из остатков лигниноцеллюлозных тканей высших растений.

ГУМОЛИТЫ – группа углей, образовавшихся из остатков высших растений, разделяются на классы: ГУМИТЫ - из остатков лигниноцеллюлозных тканей (древесина, корни и пр.) и ЛИПТОБИОЛИТЫ – из остатков покровных тканей (кора, пробка, споры и пр.)

Д

ДАЙКА – плитообразное вертикальное или крутопадающее тело обычно изверженных пород, ограниченное примерно параллельными стенками и имеющее большую протяженность при сравнительно небольшой мощности.

ДЕНДРИТЫ – тонкие пленки минералов древовидной формы, образующиеся по стенкам трещин (плоские дендриты) или в пустотах (объемные дендриты).

ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МИНЕРАЛОВ – комплекс простейших оптических, механических, химических и других свойств, характерных для данного минерала и позволяющих определить его без специальных анализов и приборов.

ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ МАГМЫ – процессы разделения магмы по составу. Различают КРИСТАЛЛИЗАЦИОННУЮ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЮ – разделение за счет кристаллизации в разное время тех или иных минералов; ГРАВИТАЦИОННУЮ – разделение в твердой или жидкой фазе под действием силы тяжести; ЛИКВАЦИОННУЮ – разделение в жидкой фазе (в расплаве) на несмешивающиеся жидкости (расплавы).

ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ МЕХАНИЧЕСКАЯ – процессы разделения друг от друга разных по величине и удельному весу частиц породы или минералов и последовательное их осаждение из воды.

ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ ХИМИЧЕСКАЯ – процессы химически последовательного осаждения растворенных в воде веществ под влиянием изменения реакции среды и последовательного пресыщения раствора.

ДРОБЛЕНИЕ И ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ применяют при обогащении полезных ископаемых, а также для разъединения (раскрытия) сростков полезных и породных минералов, содержащихся в исходном сырье, и доведения исходного материала до необходимой крупности или гранулометрического состава. Пределы крупности дробления и измельчения определяются размером вкрапленности извлекаемых ценных минералов.

ДРОБЛЕНИЕ ИЗБИРАТЕЛЬНОЕ – один из компонентов материала отличается незначительной прочностью и разрушается эффективней другого, с их последующим разделением по крупности.

ДРОБЛЕНИЕ ПОДГОТОВИТЕЛЬНОЕ — продукты дробления получают заданной крупности и подвергают последующей переработке. Например, дробление руд для последующего обогащения.

ДРОБЛЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЕ — продукты дробления являются конечными (товарными) и не подвергаются дальнейшей обработке. Например, дробление углей, горных пород для получения щебня и др.

ДРУЗА – форма выделения минералов. Представляет собой незакономерные сростки кристаллов, нарастающих на общее основание. В том случае, когда соприкасающиеся кристаллы вытянуты более или менее параллельно, агрегаты называются гребенчатыми или щитковидными. Ориентировка отдельных кристаллов определяется законом геометрического отбора. В виде друз встречаются: кварц (пьезокварц, горный хрусталь), барит, флюорит, берилл.

ДЮРЕН – ингредиент матового прочного гумусового угля; отмечается в виде отдельных линз, прослойков или основной массы, обычно без трещин. Дюрен содержит больше золы, чем другие компоненты углей.

Ж

ЖИЛА – плитообразное тело полезного ископаемого, представляющее собой заполненные минеральным веществом трещины в горных породах. По морфологическим особенностям различают жилы простые, камерные, четковидные (бусоподобные), лестничные, седловидные, сетчатые и др.

З

ЗАКОНОМЕРНЫЕ СРОСТКИ КРИСТАЛЛОВ – сростки кристаллов по определенным кристаллографическим направлениям. Различают: ДВОЙНИКИ – сросток двух кристаллов. ТРОЙНИКИ – сросток трех кристаллов, ПОЛИСИНТЕТИЧЕСКИЕ ДВОЙНИКИ – сросток большого числа кристаллов.

ЗАПАСЫ ПОЛЕЗНОГО ИСКОПАЕМОГО (ПОЛЕЗНОГО КОМПОНЕНТА) – количество полезного ископаемого (полезного компонента) определенной степени изученности и народнохозяйственного значения, содержащееся в недрах без учета потерь всех видов при добыче, транспортировке и переработке.

ЗЕМЛИСТЫЙ АГРЕГАТ – форма выделения минералов в виде порошковатой слабосцементированной массы, в которой отдельные минеральные зерна неразличимы невооруженным глазом.

ЗЕРНИСТЫЙ АГРЕГАТ – совокупность минеральных зерен разной формы и размера, образовавшихся при одновременной кристаллизации из растворов или расплавов. Различают по размерам – крупно -, средне -, мелко – и тонкозернистые; по форме – изометричные, вытянутые (игольчатые, шестоватые, столбчатые и др.) и уплощенные (таблитчатые, листоватые, чешуйчатые и др.); по соотношению размеров – равномерно- и неравномернозернистые.

ЗОЛЬНОСТЬ – количество золы от сгорания единицы сухой массы угля (A^{c}%) или рабочего топлива (A^{p}%) отнесенное к массе топлива, поступившего на анализ.

И

ИЗВЛЕЧЕНИЕ — показатель, обозначающий, какая часть всего количества полезного компонента, содержащегося в обогащаемой руде, перешла в концентрат или другой продукт обогащения. Извлечение выражается в процентах, реже в долях единицы и вычисляется как отношение массы компонента в данном продукте к его массе в обогащаемой руде.

ИЗЛОМ – разрушение куска в результате его изгиба при ребристой форме дробящих поверхностей;

ИЗБИРАТЕЛЬНОЕ ГРОХОЧЕНИЕ применяется в тех случаях, когда различные классы угля отличаются по качеству. Этот вид грохочения можно называть операцией *обогащение по крупности.*

ИЗОМОРФИЗМ – явление взаимного замещения атомов и ионов в кристаллических решетках минералов без нарушения их внутреннего строения. Различают: ПОЛНЫЙ – смесимость компонентов в любых количественных соотношениях; НЕПОЛНЫЙ – количественные соотношения ограничены, ИЗОВАЛЕНТНЫЙ – замещение ионов с одинаковыми зарядами; ГЕТЕРОВАЛЕНТНЫЙ – замещение ионов с разными зарядами.

ИНЕРТИНИТ (синоним ФЮЗИНИТА) – микрокомпонент гумусовых углей, образовавшийся в процессе фюзенизации лигниноцеллюлозных тканей высших растений; в шлифах под микроскопом имеет черный цвет. При коксовании относится к неспекающимся (отощенным) компонентам.

ИНТЕРПОЛЯЦИЯ – способ оконтуривания тел полезных ископаемых, заключающийся в проведении контура через непосредственно установленные точки контакта полезного ископаемого разведочными выработками.

ИОННАЯ СВЯЗЬ – связь между атомами и кристаллической решетке минералов, возникает в результате взаимной ионизации атомов путем передачи одним из них валентных атомов электронов другому.

ИСТИРАНИЕ — разрушение кусков скользящей рабочей поверхностью машины, при котором внешние слои куска подвергаются деформации сдвига и постепенно срезаются.

К

КАМЕННЫЙ УГОЛЬ – общий собирательный термин для обозначения группы среднеметаморфизованных углей разных марок: Д,Г,Ж,К,ОС и Т.
Цвет в штуфе черный, черта также черная.
КАУСТОБИОЛИТЫ – горючие осадочные горные породы органического происхождения.

КАЧЕСТВО ПОЛЕЗНОГО ИСКОПАЕМОГО – совокупность свойств, определяющая способность удовлетворять требования промышленности в соответствии с назначением полезного ископаемого. Качество полезного ископаемого зависит от вещественного состава (минерального и химического), характера распределения полезного ископаемого и полезных компонентов в объеме месторождения, текстурно-структурных особенностей и условий залегания полезного ископаемого, а также физико-механических и физико-химических свойств.

КАЧЕСТВЕННАЯ СХЕМА – сведения о качественных изменениях полезного ископаемого в процессе его переработки (изменение крупности продуктов и содержания отдельных компонентов), а также данные о режиме отдельных технологических операций.

КВАРТОВАНИЕ – способ сокращения вещества проб делением на 4 части, из которых две (через одну по кругу) берутся в сокращенную пробу, а две идут в отвал или в дубликат пробы.

КИСЛЫЕ ОГНЕУПОРЫ – силикатные или алюмосиликатные минералы оксиды Si и Al. (Боксит, кварц).

КЛАРЕН(франц. - блестящий) – сложный ингредиент в виде блестящей или полублестящей составной части угля, отмечается в форме отдельных слоев или образует основу угля, которая

цементирует простые ингредиенты. Формируется из обломков древесины и коры. Кларен является

носителем спекаемости в средних марках ископаемых углей.

КЛАРЕНОВЫЙ УГОЛЬ – петрографический тип блестящего гумусового угля, состоящего на 80-90% из витринита.

КЛАРК – среднее содержание химического элемента в земной коре, выраженное в весовых процентах.

КЛАССИФИКАЦИЯ МИНЕРАЛОВ – объединение минералов в группы по какому-либо признаку: химическому составу и внутреннему строению – КРИСТАЛЛОХИМИЧЕСКАЯ; происхождению – ГЕНЕТИЧЕСКАЯ; промышленному применению – ПРОМЫШЛЕННАЯ.

КОКС – продукт, образующийся при нагревании угля без доступа воздуха до температуры 900 - 1100° С. в промышленных условиях нагревание длится 14-16 часов.

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ СХЕМА – количественные данные о распределении полезного ископаемого по отдельным технологическим операциям и выход получаемых продуктов. Количественные показатели выражаются в единицах массы (т/сут, т/ч) и в процентах от исходной руды, количество которой принимается за 100%.

КОНТАКТОВО-МЕТАСОМАТИЧЕСКИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ – класс месторождений магматогенно-метаморфогенной группы, образующихся под воздействием газоводных минерализованных растворов в приконтактовой зоне интрузивов, кристаллизующихся на сравнительно небольших (менее 5 км) глубинах.

КОНТУР – граница полезного или другого геологического тела, проведенная на графических материалах. Различают типы контуров: ЕСТЕСТВЕННЫН, обусловленные природными причинами, и ИСКУССТВЕННЫЕ. Выделяют виды контуров: НУЛЕВОЙ – линия полного прекращения полезного ископаемого; СОРТОВОЙ –

граница различных сортов полезного ископаемого; ПРОМЫШЛЕННЫЙ – контур, за пределами которого разработка полезного ископаемого нецелесообразна; ВНУТРЕННИЙ – контур, проведенный через выработки, пересекшие полезное ископаемое; ВНЕШНИЙ – контур, проведенный за пределами выработок.

КОНДИЦИИ – комплекс требований промышленности к минеральному сырью, устанавливающих границы экономической целесообразности его использования. Требования предъявляются к качеству, количеству и горнотехническим условиям.

КОНКРЕЦИЯ – минеральный агрегат шарообразной формы, образующийся за счет отложения минерального вещества вокруг какого-либо центра кристаллизации. Рост идет от центра к периферии. Возникает конкреция в рыхлых осадочных породах и особенно характерны для фосфорита, сидерита, марказита. Размер ее от миллиметров до первых метров.

КОНЦЕНТРАТ – продукт обогащения ископаемых с повышенным содержанием полезных содержанием полезных или пониженным содержанием вредных компонентов. Различают концентраты КОЛЛЕКТИВНЫЕ, содержание несколько полезных компонентов, и СЕЛЕКТИВНЫЕ, содержащие один полезный компонент или минерал.

КОЭФФИЦИЕНТ УГЛЕНОСНОСТИ – частное от деления суммарной мощности угольных пластов на мощность всей угленосной толщи (%).

КРИСТАЛЛ – твердое тело, атомы или молекулы которого образуют упорядоченную периодическую структуру (кристаллическую решетку).

КРИСТАЛЛИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО – вещество, материальные частицы в котором (атомы, молекулы, ионы) расположены закономерно в виде узлов пространственной решетки. Основные свойства кристаллического вещества – АНИЗОТРОПНОСТЬ, ОДНОРОДНОСТЬ и СПОСОБНОСТЬ САМООГРАНЯТЬСЯ.

ЛИКВАЦИЯ – разделение магмы в жидком состоянии на два несмешивающихся расплава.

ЛИНЗА – плитообразное тело полезного ископаемого или горной породы, у которого мощность постепенно уменьшается от центра к флангам.

ЛИПТИНИТ – микрокомпонент гумусовых углей, образовавшийся за счет биохимического разложения устойчивых покровных тканей высших растений (оболочки семян, смола, воск, кора и пр.) Относится к плавким компонентам при коксовании.

ЛИПТОБИОЛИТЫ – класс углей группы гумолитов, образовавшихся из устойчивых к разложению покровных тканей высших растений.

ЛИТОСФЕРА – твердая оболочка Земли. Включает в себя земную кору и часть верхней мантии до глубины 100-200 км от поверхности. Вещество в литосфере находится в твердом кристаллическом состоянии.

М

МАГМА – огненно-жидкий расплав-раствор, насыщенный парами и газами, преимущественно силикатного состава. Образуется в верхней мантии (первичные очаги) или в толще земной коры.

МАГМАТИЗМ – эндогенный геологический процесс возникновения, передвижения и застывания магмы.

МАГМАТИЧЕСКИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ – класс месторождений магматогенной группы, образующихся в результате кристаллизации магматического расплава.

МАРКИ УГЛЕЙ – условное название групп углей с близкими химико-технологическими свойствами, обусловленными их составом и степенью метаморфизма углей. Выделяются: Б1 – бурый матовый рыхлый, Б2 – бурый матовый плотный, Б3 – бурый плотный, Д – длиннопламенный, Г – газовый, ГЖ – газово-жирный,

Ж – жирный, КЖ – коксово-жирный, К – коксовый, ОС – отощенно-спекающийся, СС – слабоспекающийся, Т – тощий, А – антрацит.

МАСШТАБ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ – количество запасов в данном месторождении с учетом распространенности полезного компонента. По масштабу выделяются месторождения уникальные, крупные, средние и мелкие. Для каждого вида полезного ископаемого своя классификация месторождений по масштабу.

МЕСТОРОЖДЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ – скопление в земной коре полезной минерализации, которое по условиям залегания, количеству и качеству пригодно для промышленного использования (разработки) при современном состоянии техники и технологии добычи и переработки.

МЕТАЛЛИЧЕСКАЯ СВЯЗЬ – тип связи кристаллической решетки минералов – возникает между атомами путем обобществления валентных электронов и превращения самих атомов в катионы.

МЕТАЛЛОГЕННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ – химические элементы, способные, несмотря на высокие или даже очень малые Кларки, образовывать в земной коре скопления, достаточные для их промышленного использования.

МАГНИТНЫЙ МЕТОД ОБОГАЩЕНИЯ основан на использовании различий в магнитной восприимчивости минералов. Он включает процессы магнитной сепарации и магнитной флокуляции.

МЕТАМОРФИЧЕСКИЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ образуются в недрах земной коры путем преобразования ранее существовавших осадочных или изверженных пород в результате воздействия температур, давления, а также приноса и выноса минерального вещества высоко температурными растворами и газами. В результате метаморфизма изменяются минеральный, а иногда и химический состав, структура и текстура пород.

МЕТАМОРФИЗМ—процессы изменения и преобразования (перекристаллизации в твердом состоянии) горных пород под влиянием различных эндогенных геологических факторов (температуры, давления, химически активных веществ), действующих в течение геологического времени. Различают виды метаморфизма: РЕГИОНАЛЬНЫЙ, КОНТАКТОВЫЙ и ДИНАМОМЕТАМОРФИЗМ.

МЕТАМОРФИЗМ КОНТАКТОВЫЙ — процесс перекристаллизации горных пород на границе (контакте) магматического очага с окружающими породами в результате воздействия химически активных веществ и тепла.

МЕТАМОРФИЗМ РЕГИОНАЛЬНЫЙ—перекристаллизация горных пород под воздействием высоких температур и давления, проявляющихся на больших пространствах в связи с формированием геосинклинальных зон.

МЕТАМОРФИЗМ УГЛЕЙ—процессы изменения внутреннего строения, химического состава, физических и технологических свойств углей. Синоним УГЛЕФИКАЦИИ.

МЕТАМОРФИЗОВАННЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ—класс месторождений метаморфогенной группы, в которых данное полезное ископаемое содержалось в исходной горной породе и претерпело перекристаллизацию в результате метаморфизма.

МЕТАМОРФИЧЕСКИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ—класс месторождений метаморфогенной группы, в которых полезное ископаемое является результатом метаморфизма; исходная порода или содержала полезное ископаемое другого вида, или не содержала вообще.

МИКРОКОМПОНЕНТЫ УГЛЕЙ—мелкие (менее 1мм) составные части углей, различаемые под микроскопом по морфологическим, физическим и химико-технологическим свойствам. Выделяется 7 групп: ВИТРИНИТ, СЕМИВИТ-РИНИТ,

ИНЕРТИНИТ (ФЮЗИНИТ), ЛИПТИНИТ, МИКСТИНИТ, АЛЬГИНИТ и МИНЕРАЛЬНЫЕ ПРИМЕСИ.

МИКРОКОМПОНЕНТЫ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПРИРОДНЫХ ВОД—растворенные в воде твердые неорганические вещества, не являющиеся макрокомпонентами.

МИНЕРАЛ—природное химическое соединение или самородный элемент, которые однородны по составу и внутреннему строению.

МИНЕРАЛЬНЫЙ АГРЕГАТ—скопление минеральных зерен.

МОНОМИНЕРАЛЬНЫЙ—состоящий из зерен одного минерала.

ПОЛИМИНЕРАЛЬНЫЙ — состоящий из зерен разных минералов.

МИНЕРАЛЬНЫЙ ПАРАГЕНЕЗИС — это совместное образование минералов в определенный отрезок времени из расплавов или растворов при определенных физико-химических и термодинамических условиях.

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ТИПЫ ТЕЛ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ— типы форм тел полезных ископаемых, выделяемых по соотношению их размеров: ИЗОМЕТРИЧНЫЕ, ПЛИТООБРАЗНЫЕ и ТРУБООБРАЗНЫЕ.

МОРФОЛОГИЯ ТЕЛ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ— понятие, характеризующее форму, размеры по простиранию и падению, условия залегания, мощность, характер контактов и выклинивания, а также изменчивость и нарушенность этих параметров тел полезных ископаемых.

МОЩНОСТЬ (геологического тела, пласта и т. п.) —кратчайшее расстояние между подошвой и кровлей (между лежачим и висячим боком). Кроме истинной (нормальной) мощности различают также ВИДИМУЮ - расстояние между подошвой и кровлей по любому произвольному направлению; ВЕРТИКАЛЬНУЮ - расстояние между подошвой и кровлей по вертикали; ГОРИЗОНТАЛЬНУЮ - расстояние по горизонтали.

О

ОГНЕУПОРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ — минералы, которые имеют высокие температуры плавления (огнеупорность). Они устойчивы к деформации и не размягчаются при высоких температурах.

«Основные» огнеупоры — карбонаты(доломит, магнезит), и хром-магнезиальные рудные концентраты.

Потребители огнеупоров — черная металлургия, печи для обжига цемента, керамических, индукционных печей, других теплотехнических агрегатов.

ОБРАБОТКА (ПОДГОТОВКА) ПРОБ —совокупность последовательных операций (дробление, измельчение, смешивание, сокращение, выпиливание, сортировка и пр.) по подготовке вещества пробы к последующим испытаниям, исследованиям, анализам.

ОДНОРОДНОСТЬ — свойство кристаллического вещества, заключающееся в том, что любые два участка одного и того же кристалла обладают одинаковы-ми свойствами (по параллельным направлениям). Это одно из трех (наряду с анизотропностью и способностью самограняться) основных свойств кристаллического вещества.

ООЛИТЫ (яйцевидные камни) — сферические образования небольших размеров, имеющие концентрически-скорлуповатое строение, размером не боле 5мм. Оолиты типичны для пиролюзита, кальцита, боксита. Отдельные шарики бывают или сцементированы минеральным веществом сходного состава, или находятся в рыхлом состоянии.

ОПРОБОВАНИЕ —система операций, обеспечивающих исследование качества полезных ископаемых и горных пород. Как правило, включает в себя три стадии: отбор проб, подготовка (обработка) и исследования (испытания, анализы).

ОПРОБОВАНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКОЕ — определение качества полезных ископаемых и горных пород, основанное на различии

физических свойств полезного ископаемого и вмещающих горных пород.

ОПРОБОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ — определение физико-механических свойств полезного ископаемого и горных пород.

ОПРОБОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ — выявление технологических свойств полезного ископаемого для разработки или уточнения схемы обогащения и передела минерального сырья.

ОПРОБОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОЕ – определение химического состава (элементного и фазового) полезного ископаемого и горных пород.

ОСАДОЧНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ– класс месторождений седиментационной группы, формирующихся в процессе осадконакопления в пониженных частях рельефа. В зависимости от характера осадков и условий их накопления выделяют подклассы МЕХАНИЧЕСКИХ, ХИМИЧЕСКИХ и БИОХИМИЧЕСКИХ ОСАДКОВ.

ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ МОКРОГО И СУХОГО ОБОГАЩЕНИЯ: гравитационный, флотационный, магнитный, электрический и специальные. Каждый из этих методов включает ряд процессов, основанных на общих физических или физико-химических свойствах, по которым производится разделение материала, и отличающихся друг от друга использованием дополнительных разделяющих сил и соответствующими конструкциями машин и аппаратов.

ОТБОР ПРОБ – отделение от массива или навала горной массы порций полезного ископаемого или горной породы по определенным правилам. Различают следующие способы отбора проб: БОРОЗДОВЫЙ, ШТУФНОЙ, ТОЧЕЧНЫЙ, ЗАДИРКОВЫЙ, ВАЛОВЫЙ, КЕРНОВЫЙ, ШЛАМОВЫЙ.

П

ПАРАГЕНЕЗ (ПАРАГЕНЕЗИС) – совместное нахождение минералов, возникающее при одновременном или последовательном образовании в результате единого геологического процесса.

ПЕГМАТИТОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ – класс месторождений магматогенной группы, формирующихся на завершающей стадии затвердевания глубинных (более 3 км) интрузивов.

ПЕТРОГЕННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ– химические элементы, слагающие основную массу земной коры (кремний, алюминий, кислород, кальций, калий, натрий, железо, магний и др.).

ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЙ ТИП УГЛЯ – природные ассоциации ингредиентов, образующих отдельные слои мощностью более 3 см и различающиеся между собой по внешнему виду, микрокомпонентному составу и химико-технологическим свойствам. В гумусовых углях различают ВИТРЕНОВЫЙ, КЛАРЕНОВЫЙ, ДЮРЕНО-КЛАРЕНОВЫЙ, КЛАРЕНО-ДЮРЕНОВЫЙ, ДЮРЕНОВЫЙ и Липтинитовый типы.

ПЛАСТ— плитообразное тело, обычно осадочного происхождения, ограниченное более или менее ПАРАЛЛЕЛЬНЫМИ ПЛОСКОСТЯМИ напластования (подошвой и кровлей).

ПЛАСТООБРАЗНЫЕ ЗАЛЕЖИ напоминают по форме пласты, но образуются путем замещения вмещающих пород в результате эндогенных процессов, (магматических или постмагматических), а также явлений эпигенеза в осадочных толщах.

ПЛОТНОСТЬ ГОРНОЙ ПОРОДЫ — масса единицы объема горной породы естественного сложения и влажности.

ПЛОТНОСТЬ МИНЕРАЛА — масса единицы объема минерала.

ПОДГОТОВИТЕЛЬНОЕ ГРОХОЧЕНИЕ УГЛЯ— производится с целью получения класса, предназначенных для последующих

операций обогащения. Оно повышает эффективность процесса, а также обеспечивает более равномерную загрузку обогатительной аппаратуры.

ПОДСЧЕТ ЗАПАСОВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ (ПОЛЕЗНЫХ КОМПОНЕНТОВ) —комплекс мероприятий и работ по определению количества запасов полезных ископаемых и полезных компонентов с оценкой их качества, горнотехнических и экономико-географических условий.

ПОЛЕЗНОЕ ИСКОПАЕМОЕ — природное минеральное образование, которое используется в народном хозяйстве в естественном виде или после предварительной обработки (переработки).

ПОЛЕЗНЫЕ ПРИМЕСИ — отдельные химические элементы или их природные соединения, которые входят в состав полезного ископаемого в небольших количествах и могут быть выделены и использованы совместно с основным ценным компонентом, улучшая его качество.

ПОЛИМОРФИЗМ — свойство минералов образовывать различные структуры при одинаковом химическом составе (графит - алмаз и др.).

ПОРОДООБРАЗУЮЩИЕ МИНЕРАЛЫ — минералы, слагающие горные породы. Различают: ГЛАВНЫЕ минералы - определяют принадлежность горной породы к определенному виду и ее название; ВТОРОСТЕПЕННЫЕ - встречаются в подчиненных количествах; АКЦЕССОРНЫЕ - встречаются в единичных зернах, но обязательные для данного вида породы.

ПОСТМАГМАТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ — СОВОКУПНОСТЬ минерало- и рудообразующих процессов, связанных с магмой и следующих после ее кристаллизации.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ГРОХОЧЕНИЕ — производится с целью отделения от рядового угля наиболее крупных кусков для их последующего дробления.

ПРЕДСТАВИТЕЛЬНОСТЬ ОПРОБОВАНИЯ — степень соответствия показателей качества, установленных на основании всей системы опробования, качеству в массиве месторождения полезных ископаемых.

ПРЕДСТАВИТЕЛЬНОСТЬ ПРОБЫ — степень соответствия показателей качества в пробе в объеме массива, характеризуемого пробой.

ПРОБА БОРОЗДОВАЯ — единичная проба постоянного поперечного сечения, длина которой существенно превышает ее поперечные размеры.

ПРОБА ВАЛОВАЯ — проба, в которую отбирается вся горная масса или ее значительная часть, полученная при проходке определенного интервала горной выработки.

ПРОБА ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ — определенное количество материала, отобранное от изучаемого объекта (полезного ископаемого или горной породы), предназначенное для определения состава и свойств. Пробой также считается отдельный задокументированный замер, произведенный геофизическими методами и характеризующий качество или свойства полезного ископаемого или горной породы.

ПРОБА ЗАДИРКОВАЯ — проба, отобранная с поверхности обнажения путем снятия одинакового по мощности слоя полезного ископаемого или горной породы.

ПРОБА КЕРНОВАЯ — проба, отобранная из керна. В пробу может идти весь керн или его часть, полученная при раскалывании (распиливании) керна вдоль его оси.

ПРОБА ТОЧЕЧНАЯ — проба, составленная из отдельных небольших порций вещества, не подлежащих самостоятельному анализу и отобранных из массива или навала горной массы по определенной сетке.

ПРОБА ШЛАМОВАЯ — проба, отобранная из шлама и мути, полученных при бурении скважин и шпуров.

ПРОБА ШТУФНАЯ — единичная проба, отобранная в виде куска полезного ископаемого или горной породы.

ПРОВИНЦИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ —крупный участок земной коры, относящийся к структурным элементам первого порядка, со свойственными ему и размещенными в его пределах месторождениями полезных ископаемых.

ПРОГНОЗНЫЕ РЕСУРСЫ — количество полезного ископаемого и полезных компонентов в недрах, определенное по предварительным или предположительным параметрам. Выделяются три категории: P_1 ,P_2, P_3 .

ПРОДУКТИВНОСТЬ МЕСТОРОЖДЕНИЯ — количество запасов полезного ископаемого и полезных компонентов на единицу площади или объема месторождения.

ПРОМПРОДУКТЫ — продукты, получаемые при обогащении полезных ископаемых и представляющие смесь зерен, содержащих полезные компоненты, с зернами пустой породы. Промпродукты характеризуются более низким по сравнению с концентратами и более высоким по сравнению с хвостами содержанием полезных компонентов.

ПРОМЫШЛЕННАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ — классификация месторождений по направлениям их промышленного использования.

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ЗАПАСЫ — часть балансовых запасов полезного ископаемого или полезных компонентов за вычетом потерь всех видов.

ПРОМЫШЛЕННЫЙ ТИП РУДЫ — обусловлен содержанием в руде промышленно-ценных — продуктивных минеральных парагенезисов и характеризуется определенными морфологическими и генетическими типами текстур.

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ РЕШЕТКА — геометрический образ кристаллического вещества, отвечающий совокупности узлов (атомов и молекул), расположенных в вершинах параллелепипедов.

ПСЕВДООЛИТЫ — образования по форме аналогичные оолитам, но не имеющие концентрически-скорлуповатого строения. Они характерны для бурых железняков.

ПУСТАЯ ПОРОДА — минералы, не содержащие ценных компонентов, при обогащении они удаляются в хвосты совместно с вредными примесями.

Р

РАЗВЕДОЧНАЯ СЕТЬ—регулярное расположение разведочных выработок. Существует два основных вида: ПРОФИЛЬНАЯ-расположение выработок по линиям (профилям, разрезам) и ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ -расположение выработок в узлах геометрической сетки (квадратной, прямоугольной, треугольной или ромбической).

РАЗДАВЛИВАНИЕ— разрушение в результате сжатия куска между двумя дробящими поверхностями, наступающее после перехода напряжений за предел прочности на сжатие.

РАСКАЛЫВАНИЕ — разрушение в результате расклинивания куска между остриями дробящих поверхностей и последующего его разрыва.

РОССЫПНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ —месторождения подкласса механических осадков, образующиеся благодаря концентрации ценных минералов среди обломочных отложений в процессе разрушения и переотложения вещества горных пород и месторождений полезных ископаемых, непременным условием образования россыпных месторождений является механическая и химическая стойкость полезных минералов.

РУДА — полезное ископаемое, содержащее ценные полезные компоненты (элементы, их соединения) или минералы в количестве, достаточном для промышленного извлечения при современном состоянии экономики, техники и технологии. Руды делятся на металлические и неметаллические.
К металлическим относят руды, являющиеся сырьем для получения черных, цветных, редких, драгоценных и других металлов, к неметаллическим — асбестовые, баритовые, апатитовые, фосфоритовые, графитовые, тальковые и другие.
К нерудным относится сырье для производства строительных материалов(песок, глина, гравий, строительный камень, цементное сырье и некоторые другие).

С

САПРОКОЛЛИТЫ — класс углей группы сапропелитов, которые сложены из сильно разложившихся водорослей в виде основной однородной, бесструктурной цементирующей сапропелевой массы характерного желтого цвета в прозрачных шлифах. Сырье для химической промышленности.

САПРОПЕЛИТЫ — группа углей, образовавшихся из озерного планктона без примеси гумусового вещества. Разделяются на два класса: собственно САПРОПЕЛИТЫ (БОГ-ХЕДЫ) с различимыми под микроскопом водорослями и САПРОКОЛЛИТЫ.

СЕКРЕЦИЯ — минеральный агрегат округлой формы, образовавшийся при заполнении пустот в направлении от стенок полости к ее центру. Имеет концентрически-зональное строение.
Внутри крупных секреций нередко сохраняется полость, стенки которой покрыты друзами кристаллов или натечными образованиями, называемыми жеодами. Последние характерны для горного хрусталя, гипса, кальцита, агата.

СИСТЕМА РАЗВЕДКИ — комплекс технических средств, с помощью которых решаются задачи разведки. Конкретная система разведки называется по виду и характеру применяемых

технических средств (например, система разведки мелкими шурфами и скважинами и т.п.).

СОДЕРЖАНИЕ КОМПОНЕНТА—показатель, который характеризует долю единицы массы полезного ископаемого или полученного продукта обогащения, представленную тем или иным компонентом. Принято вычислять в % содержание драгоценных металлов в рудах и в продуктах обогащения.

СОКРАЩЕНИЕ ПРОБЫ — отделение части материала пробы с сохранением ее представительности.

СОПУТСТВУЮЩИЕ КОМПОНЕНТЫ — ценные химические элементы и отдельные минералы, содержащиеся в полезном ископаемом в сравнительно небольших количествах, выделяемые при обогащении попутно в самостоятельный или в комплексный продукт совместно с основным ценным компонентом и извлекаемые из него в дальнейшем в процессе металлургической плавки или химической переработки.

СОРТИРОВКА ***(грохочением)*** операция разделения сыпучей массы по крупности путем просеивания ее через одно или несколько решет (сит) с отверстиями различного размера. В результате этой операции получаются два или несколько классов различной крупности. Отношение размеров наибольшего и наименьшего кусков называется шкалой классификации.
Всего получается два класса крупности 10-100 и 1-10мм.

СОРТИРОВКА УГЛЕЙ — разделение добытого угля на сорта по крупности кусков. Выделяется 6 классов: ПЛИТНЫЙ- более 1000 мм, КРУПНЫЙ - 50 -1000 мм, ОРЕХ - 25 - 50 мм, МЕЛКИЙ - 13 - 25 мм, СЕМЕЧКО - 6 - 13 мм и ШТЫБ - менее 6 мм.

СПЕКАЕМОСТЬ УГЛЕЙ — способность углей при нагревании без доступа кислорода при температурах 400 - 600^0С переходить в пластическое состояние, а затем образовывать спекшийся, сплавленный, пористый твердый остаток - монолит.

СПЕЦИАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ОБОГАЩЕНИЯ редко применяются для углей. Это — рентгенометрическая сепарация,

обогащение по форме и трению, магнитогидродинамическое обогащение, химическое обогащение, селективная регуляция, бактериальное обогащение и др.
Применение тех или иных процессов обусловливается качественной характеристикой исходного сырья, сложившимися тенденциями развития техники и технологии обогащения и технико-экономическими соображениями.

СПОСОБНОСТЬ САМООГРАНЯТЬСЯ — свойство кристаллического вещества принимать в условиях свободного роста в подходящей среде форму правильных многогранников (кристаллов). Одно из трех (наряду с однородностью и анизотропностью) основных свойств кристаллического вещества.

СРЕЗЫВАНИЕ — разрушение, при котором материал подвернется деформации сдвига.

СТЕПЕНЬ КОНЦЕНТРАЦИИ, или степень обогащения *К* — показатель, означающий, во сколько раз увеличилось содержание компонента в концентрате по сравнению с его содержанием в обогащаемом полезном ископаемом.

СТЕПЕНЬ СОКРАЩЕНИЯ — величина, обозначающая, во сколько раз выход полученного концентрата меньше количества переработанного полезного ископаемого. Степень сокращения R выражает число тонн руды, которое нужно переработать, чтобы получить 1 т концентрата.

СТРУКТУРА — строение каждого минерального парагенезиса, слагающего руду. Она обусловлена формой, размером и типами срастаний минеральных зерен.

СТРУКТУРА УГЛЕЙ — сочетание видимых невооруженным глазом ингредиентов угля, различных по форме и размерам. Выделяются типы структур: ОДНОРОДНАЯ, ШТРИХОВАТАЯ, ЛИНЗОВИДНАЯ, ПОЛОСЧАТАЯ и их комбинации.

СХЕМА ОБОГАЩЕНИЯ — совокупность последовательных технологических операций обработки, которым подвергается полезные ископаемые на обогатительных фабриках.
В зависимости от характера сведений, которые содержатся в схеме обогащения, она называется технологической, качественной, количественной, качественно-количественной, водно-шламовой и схемой цепи аппаратов.

СХЕМА ЦЕПИ АППАРАТОВ — графическое изображение пути движения полезного ископаемого и продуктов обогащения через аппараты. На таких схемах аппараты, машины и транспортные средства изображаются условно, и указывается их число, тип и размер. Движение продуктов от агрегата к агрегату обозначается стрелками.

Т

ТВЕРДОСТЬ МИНЕРАЛОВ — способность минералов сопротивляться внешнему механическому воздействию (вдавливанию, царапанию).

ТЕКСТУРА — строение руды, обусловленное формой, размером и типами срастаний минеральных парагенезисов, которые характеризуют морфологические типы текстур. Условия образования минеральных парагенезисов определяют генетические типы структур.

ТЕКСТУРА УГЛЕЙ — особенности пространственного расположения ингредиентов в угле вне зависимости от их форм и размера.

ТЕЛО ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ — ограниченное со всех сторон скопление минерального вещества, которое приурочено к отдельным структурным элементам или их комбинациям.

ТЕПЛОТА СГОРАНИЯ УГЛЕЙ — количество тепла, которое выделяется при сгорании весовой единицы топлива; измеряется в ккал/кг или кДж/кг.

ТЕХНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ УГЛЕЙ — определение в углях влаги, зольности, выхода летучих веществ, теплоты сгорания, серы и фосфора. Служит для оценки качества углей.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА сведения о последовательности технологических операций по переработке полезного ископаемого на обогатительной фабрике.

ТИПОМОРФНЫЕ МИНЕРАЛЫ — минералы, характерные для определенных термодинамических и геохимических условий, т. е. минералы, образующиеся в результате определенного геологического процесса или его стадии и служащие индикатором этого процесса.

ТИП РУД — обусловлен количественным преобладанием одного или нескольких минеральных парагенезисов, текстурой и структурой.

ТОЛЩИНА ПЛАСТИЧЕСКОГО СЛОЯ — максимальная разница между верхним и нижним уровнем пластического слоя при нагревании угля в интервале температур 350-650^{0}С, измеряется в миллиметрах.

У

УГЛЕОБРАЗОВАНИЕ—геологический процесс превращения растительных остатков в торф, затем в бурый, каменный угли и антрацит.

Ф

ФРАКЦИЯ ГОРНОЙ ПОРОДЫ — группа зерен рыхлой горной породы, характеризуемая определенным диапазоном крупности. Если размер зерен больше заданного, фракция обозначается знаком «+ », если меньше - знаком « - » (например, +10 мм - зерна размером больше
10 мм).

ФЮЗЕН (франц.- рисовальный уголь) — одна из матовых составляющих полосчатых ископаемых углей. По химическому составу фюзен резко отличается от других компонентов - относительно меньшим выходом летучих, меньшим содержанием в элементаном составе водорода при несколько большем количестве углерода. Фюзен не спекается и в шихте играет роль добавки. Фюзенизация — процесс окисления, сходный с обугливанием древесины. Матовые угли (фюзен и дюрен имеют зольность от 10-15 до 30 %).

ФЮЗИНИТ (ИНЕРТИНИТ) — микрокомпонент гумусовых углей, образовавшийся в процессе фюзенизации лигниноцеллюлозных тканей высших растений. Обычно образует отдельные фрагменты с четкой клеточной структурой. В шлифах имеет черный цвет. Относится к неспекающимся отощенным компонентам при коксовании углей.

ФЛОТАЦИОННЫЙ МЕТОД ОБОГАЩЕНИЯ основан на использовании различий в естественной или создаваемой реагентами смачиваемости минералов. Флотация подразделяется на следующие процессы: пенная флотация; пенная сепарация; масляная флотация (агломерация); каскадно-адгезионное обогащение.

Ц

ЦВЕТ ЧЕРТЫ (ЧЕРТА) — цвет минерала в порошке. Определяется на фарфоровой неглазированной пластинке (бисквите). Характерен для минералов с металлическим и полуметаллическим блеском с твердостью меньше 6.

Ш

ШАХТНОЕ (КАРЬЕРНОЕ, РУДНИЧНОЕ) ПОЛЕ — часть месторождения полезных ископаемых, отводимая горнодобывающему предприятию (шахте, руднику, карьеру) для разработки месторождения.

ШКАЛА МООСА — шкала относительной твердости минералов-эталонов: 1 -ТАЛЬК, 2 - ГИПС, 3 - КАЛЬЦИТ, 4 - ФЛЮОРИТ, 5 - АПАТИТ, 6 -ОРТОКЛАЗ, 7 -КВАРЦ, 8 - ТОПАЗ, 9 - КОРУНД, 10 – АЛМАЗ.

ШЛИФ — тончайший (0,02 - 0,03 мм) прозрачный срез минерала или горной породы, смонтированный между двумя стеклышками - предметным и покровным.

ШТОК — 1) крупная (более 10 м) изометричная залежь сплошного или густо вкрапленного минерального вещества; 2) секущая форма залегания интрузивных горных пород относительно небольших в плане (менее 100 км^2) размеров.

ШТОКВЕРК — изометричный объем горной породы, пронизанный различно ориентированными прожилками и насыщенный вкрапленностью минерального вещества.

Щ

ЩЕТКА — форма выделения минералов в виде сростка параллельных, примерно одинаково ориентированных кристаллов приблизительно одного размера, соприкасающихся друг с другом.

Э

ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ УГЛЕЙ — содержание (в весовых процентах) основных элементов органической части углей: углерода, водорода, кислорода и азота.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ОБОГАЩЕНИЯ основан на использовании электрических свойств минералов. К нему относят процессы разделения по электропроводности компонентов и процесс электрической сепарации на основе различий в электризации угольного вещества и минеральных примесей.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ 3
ГЛАВА 1 ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ НА РАЗВИТИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ СИЛ ОБЩЕСТВА 6
1.2 Влияние минерально-сырьевой базы на экономическое и социальное развитие Российской Федерации 18
1.3 Рациональное и комплексное использование минеральных ресурсов и охрана окружающей среды 36
1.4 Охрана окружающей среды 56
ГЛАВА 2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ 60
2.1 Полезные ископаемые, их распространение Основные модели классификации 60
2.2 Морфология и условия залегания тел полезных ископаемых . 77
ГЛАВА 3. ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ 90
3.1.Химический и минеральный состав руд 90
3.2 Текстурно-структурная характеристика 97
3.3 Морфология минералов 114
3.4 Диагностика минералов и углей 126
3.5 Качественно-количественная характеристика минерального сырья 148
3.6 Основные показатели качества, состава и свойств горючих ископаемых 205
Библиографический список 229
Приложение А Основные сведения о минералах 233
Приложение Б. Глоссарий (словарь-справочник) 238