

Основы минералургии (Версия на русском языке)

Введение.

1. Структура изложения.

Проблема минерально-сырьевых ресурсов является многоплановой и требует разностороннего рассмотрения. В технологической цепи - от геологии до конечной продукции - металлургии, а также экономисты, строители, экологи и т.д. Кроме того, руды цветных металлов всегда являются комплексными не только по наличию различных металлов, но также по компонентам, которые могут быть использованы как строительные материалы, удобрения, химические продукты и др.

Классификация руд также возможна в различных аспектах:

- по генетическому типу - геологии месторождения;
- с точки зрения разработки месторождения, т.е. по условиям обогащения;
- по основным металлам в конечной продукции;

а также по социально-экономическим параметрам - региональному и географическому расположению, масштабу, запасам, содержанию ценных компонентов и т.п.

Современное рассмотрение данной проблемы требует также существенных добавлений к традиционному описанию запасов минерального сырья в чисто геолого-минералогическом и технологическом плане.

Прежде всего, нельзя оставить без внимания вторичные минеральные ресурсы и техногенное сырье, роль которых в промышленном производстве непрерывно возрастает. Уже появились цветные металлы, производство которых из вторичного сырья в некоторых странах составляет до 50% и выше. Речь идет прежде всего о ртути, олове, свинце, вольфраме и др. Помимо ресурсного потенциала это решает экологические задачи и имеет и большое экономическое значение. Естественно, для этого вида сырья не всегда применимы традиционные технологии добычи, дезинтеграции, обогащения и металлургии.

Хотя качество металлов в конечном счете при переработке техногенного сырья то же, что и при переработке обычных руд (кроме алюминия), изменяются сами понятия "месторождение", "руда", "рудоподготовка" и др. Тем более это относится к таким сырьевым источникам, как океанические конкреции, морские и термальные воды. Возникли новые понятия, такие как "безотходная технология", "комплексное освоение месторождений" и др. В связи с этим необходимо в первую очередь договориться об определении терминов и основных понятий.

Значительное внимание в 1ой главе книги мы уделяем основным понятиям и определениям, сложившимся в горно-металлургической промышленности СССР. Большинство таких понятий совпадает с общепринятыми, но в некоторой части, из-за бывшей изолированности государства и научно-технической общественности СССР, имеется некоторая специфичность. Надо признать, что и для западного читателя небесполезная подробная трактовка терминов, классификаций и понятий, особенно в новых и новейших направлениях развития этих отраслей промышленности.

Некоторый интерес представляет и история становления известной металлургии на территории бывшего СССР. Развитие современного промышленного производства часто прослеживается из глубины веков. Сегодня в связи с неисчерпанностью старых месторождений или возможностью их повторной разработки на новой технологической основе, даже при существенном снижении качества руды. Так например, некоторые Дальневосточные золоторудные россыпи сейчас разрабатываются уже по третьему разу только на памяти XX века.

После разработки первых, в основном китайских старателей и сибирских купцов, там в сталинские времена работал ГУЛАГ. В 80-х годах здесь вновь появились старательные артели, работающие на изношенном "списанном" оборудовании с примитивными обогатительными

установками. Так что возможно и 4е возрождение этих приисков, несмотря на то, что разработки зарастают через 3-5 лет.

Мы даем геологическое описание территории СССР в общем виде, имея в виду геологические регионы, пересекающие границы переменных государств CIS. Более подробно геология и полезные ископаемые рассматриваются в границах образовавшихся государств и регионов России.

Далее, мы нашли возможность и удобным объединить рассмотрение определенных аспектов и характеристик минерального сырья совместно с некоторыми звеньями технологической цепи. Таким образом, классификация рудных комплексов дается в сочетании с геохимией и парагенезисом минералов. Региональная геология позволяет одновременно дать информацию о наличии определенных месторождений. Описание рудных тел месторождений естественно рассмотреть вместе с системами разработки.

Наиболее важной частью, определяющей характеристики сырьевой базы, мы считаем минералогию в сочетании с генетическими типами руд и технологий их обогащения. Здесь использованы наши разработки в области классификации руд, месторождений и другой информации, ранее опубликованные на русском языке и прошедшие проверку временем [1, 2].

Металлургические процессы, естественно, рассматриваются в соответствии со сложившейся классификацией металлов.

Разумеется, все классификации, в том числе месторождений, руд, технологических процессов, а также региональных границ и т.д. условны. Мы не претендуем на их безусловную точность и научное обоснование. Понимаем, что любой уважающий себя геолог обязательно дает свою собственную научно обоснованную классификацию месторождений. То же касается всех остальных специалистов. Наши классификации претендуют, в основном, на удобство представления информации.

Chapter 1. Fundamental Conception & Definitions

Нам представляется целесообразным рассмотреть понятия, смысл и значение которых в современных условиях неоднозначны. Дело не только в том, что развитие науки и техники в СССР проходило несколько изолированно от Западного мира, а публикации на русском языке доходили до англоязычного читателя в весьма урезанном виде. Сырьевая база стран CIS сформировалась в несколько необходимо преодолеть определенные терминологические трудности, особенно важные для западного читателя.

Как мы уже упоминали, в промышленном производстве конца этого и, особенно, начала следующего века, вторичное сырье, отходы и повторная разработка месторождений приобретают все большее значение. Для бывшего СССР искривленная плановая экономика вследствие ряда причин - некомплексного использования сырья, недостатка инвестиций пренебрежения экологией, низкого качества и малого срока службы оборудования и т.п. - создала огромный ресурс вторичного сырья. Наряду с геогенными месторождениями и рудами, которые представляют собой комплекс природных минералов, мы должны ввести понятие техногенного сырья. Впрочем, это понятие становится все более актуальным и для промышленности развитых стран.

Вместе с тем, мы не рассматриваем данную книгу только как справочное пособие для современных предпринимателей. Она рассчитана и на специалистов-технологов, геологов, металлургов и всех интересующихся проблемами минерального и сопряженного с ним сырья. Мы полны решимости выдержать изложение материала на самом высоком научном уровне при описании месторождений, руд и технологий их переработки.

Наибольший интерес, с нашей точки зрения, представляет попытка создания общей классификации рудных комплексов геогенного и техногенного происхождения, которая связывает

генезис, технологию, экологию и экономику. Соответственно, возникает необходимость терминологически связать геологические, горные, обогащательные и металлургические понятия.

1.1. Non-ferrous Metals & Ores

Существует несколько классификаций химических элементов, по разному определяющих группу металлов, относящихся к non-ferrous. Во всяком случае, к группе ferrous, кроме iron, обычно относят марганец и хром. Обычно из рассмотрения исключают натрий и калий, встречающиеся в природе в виде солей хлора, а также кальций, стронций и барий, тяготеющие к неметаллам (рис.1.1.). Мы будем придерживаться классификаций, учитывающей как геолого-минералогические, так и технологические свойства металлов. (табл.1.1.)

Цветная металлургия (Non-ferrous metallurgy) - была одной из самых развитых отраслей тяжелой промышленности в СССР, занимавшаяся освоением рудных месторождений, включая добычу руд, их обогащение, металлургию с получением цветных металлов в металлообработку. После Второй мировой войны с целью создания атомной бомбы из цветной металлургии была выделена отрасль, секретно названная "Средним машиностроением", в задачу которой входили добыча и переработка руд урана и других радиоактивных элементов, а позже берилия и лития.

В названных отраслях работало свыше 300 горно-обогатительных, горно-металлургических и металлургических комбинатов различной мощности; на каждом из них работало от нескольких сот до десятков тысяч рабочих и специалистов. Основную роль играли гигантские промышленные комплексы, такие как Норильский, Усть-Каменогорский, Балхашский, Алмалыкский, Джесказганский, Средне-Уральский, и др. комбинаты.

Основные виды продукции: концентраты обогащения, литые металлы и сплавы, порошки, химические соединения и изделия цветных металлов и сплавов. Во многих случаях выпускается попутная продукция из отходов: серная кислота, строительные материалы, некоторые удобрения и микроудобрения. Исходное сырье в основном комплексное и во многих случаях из руд извлекаются попутные компоненты. Так например, на предприятиях свинцово-цинковой подотрасли наряду со свинцом и цинком извлекалось еще 18 компонентов и на их основе производилось свыше 40 видов товарных продуктов. Из медных руд извлекалось 15 компонентов и производилось 40 видов продуктов. Около 30% серной кислоты, производимой в стране получала цветная металлургия.

Добыча горной массы к концу 80-х годов составляло 2,5 млрд. т, практически при таком же количестве отходов. Основной способ обогащения руд - флотация (около 90%). Металлургические технологии находились на весьма высоком современном уровне. Охрана окружающей природной среды предприятий отрасли, напротив, во многих случаях привела к ситуации экологической катастрофы.

Минцветмет СССР осуществлял мероприятия по развитию цветной металлургии, роста производства. Для удовлетворения потребностей хозяйства и обороны во всех видах продукции цветной металлургии.

В его компетенцию входило:

- ввод в действие и освоение производств, мощностей;
- техническое перевооружение и модернизация предприятий;
- доразведка месторождений, горнокапитальные работы на карьерах и рудниках, в том числе проходка стволов шахт;
- разработка кондиций для подсчета разведанных запасов минерального сырья, учет состояния и движения запасов и потерь п. и в недрах;
- комплексная переработка руд с получением цветных, редких и драгоценных металлов, а также алмазов;

- функции генерального поставщика в отношении предприятий цветной металлургии, строящихся за границей при техн.содействии Советского Союза.

Сырьевой базой цветной металлургии СССР были практически неограниченные запасы полезных ископаемых на территории, занимавшей 1/6 часть земной суши. Здесь встречаются практически все генетические типы месторождений. Мы рассмотрим два принципиально различных вида месторождений: геогенные и техногенные.

Геогенным месторождением называется скопление полезного ископаемого на поверхности или в недрах Земли, которое по количеству, качеству, условиям залегания и технологической пригодности может быть использовано в промышленности. К промышленным относятся месторождения, использование которых при существующем уровне развития техники и технологии экономически целесообразно.

Геогенные месторождения состоят из одного или нескольких рудных тел, формирование которых происходит в течение всего периода геологического развития и изменения земной коры в несколько стадий. Концентрация рудообразующих минералов определенного состава в определенных геологических и физикохимических условиях, происходящая в некоторый период времени, составляет стадию рудообразования. При формировании рудных месторождений количество таких стадий обычно достигает четырех-шести, иногда десяти.

Этап рудообразования составляет весь период минералонакопления, объединяющий ряд последовательных стадий и принадлежащий к одному генетическому процессу. Обычно рудное месторождение складывается в течение одного этапа минералонакопления, реже двух и более. Например, в верхних частях рудных залежей могут находиться минеральные массы первичного гидротермального этапа и этапа, обусловленного вторичным окислением руды близ поверхности земли. Рудная залежь может быть сформирована также вследствие нескольких этапов однотипного процесса, принадлежащего разным геологическим эпохам.

Региональные закономерности и геологические условия образования месторождений полезных ископаемых формировались при развитии земной коры вследствие эндогенных и экзогенных процессов [37].

Вещества, необходимые для образования полезных ископаемых, поступают в магматических расплавах, жидких и газообразных растворах из верхней мантии земной коры и с поверхности Земли. Магматогенные (эндогенные) месторождения подразделяются на несколько групп [38].

При внедрении в земную кору и остывании магматических расплавов образуются магматические месторождения. С интрузивами основного состава связаны руды Cr, Fe, Ti, Ni, Cu, Co, группы платиновых металлов и др.; к щелочным массивам магматических пород приурочены руды P, Ta, Nb, Zr и редких земель (TR). С гранитными пегматитами генетически связаны месторождения слюды, полевых шпатов, драгоценных камней, руд Be, Li, Cs, Nb, Ta, часть Sn, U и TR. Карбонатиты, ассоциированные с ультраосновными-щелочными породами, образуют месторождения Fe, Cu, TR, апатита и слюд. В контактово-метасоматических месторождениях, особенно в скарнах, находятся руды Fe, Cu, Co, Pb, Zn, W, Mo, Sn, Be, U, Au, B, горного хрусталя, графита и других полезных ископаемых. В пневматолитовых и гидротермальных месторождениях концентрируются Cu, Ni, Co, Zn, Pb, Bi, Mo, W, Sn, Li, Be, Ta, Nb, As, Sb, Hg, Cd, Ln, S, Se, Au, U, Ra, а также кварц, барит, флюорит, асбест и др.

Седиментогенные месторождения, возникающие при экзогенных процессах, подразделяются на осадочные, россыпные и выветривания. Осадочные месторождения формируются на дне морей, озер, рек и болот, образуя пластовые залежи во вмещающих их осадочных породах. Россыпи, содержащие Au, Pt, алмазы и др., накапливаются в прибрежных отложениях океанов и морей, а также в речных и озерных отложениях, на склонах долин. С древней и современной корой выветривания, для которой характерны инфильтрационные

месторождения, связаны руды U, Cu, самородной серы и осадочные месторождения Ni, Fe, Mn, бокситов, магнезита, каолина.

В глубоких недрах в обстановке высоких давлений и температур преобразуются ранее существовавшие месторождения и возникают метаморфогенные залежи (например, железные руды Криворожского бассейна и Курской магнитной аномалии, золотые и урановые руды Южной Африки), а также образуются вновь в процессе метаморфизма горных пород месторождения мрамора, андалузита, кианита, графита и др. [22, 38].

В зависимости от области промышленного применения среди минеральных ресурсов выделяют: а) топливно-энергетические (нефть, природный газ, ископаемый уголь, горючие сланцы, торф, урановые руды); б) рудные, являющиеся сырьевой базой черной и цветной металлургии (железная и марганцевая руды, хромиты, бокситы, полиметаллические руды, медно-никелевые, вольфрамово-молибденовые, оловянные, руды благородных металлов и др.); в) горно-химическое сырье (фосфориты, апатиты, поваренная, калийные и магнезиальные соли, сера и ее соединения, барит, борные руды, бром- и иодсодержащие растворы); г) природные строительные материалы и нерудные камни (мрамор, гранит, яшма, агат, горный хрусталь, гранат, корунд, алмаз и др.); д) гидроминеральные (подземные пресные и минерализованные воды).

Группировка минеральных ресурсов условна, так как области промышленного применения одних и тех же полезных ископаемых могут быть различными и меняться с техническим прогрессом [37].

Попытаемся кратко рассмотреть закономерности формирования и размещения полезных ископаемых во времени и пространстве (рис.1).

На последовательных этапах развития земной коры возникали определенные формации г.п. и ассоциированных с ними комплексов П.и. Повторяемость таких формаций в истории развития земной коры привела к повторяемости в образовании сходных групп П.и. от древнейших до самых юных этапов геол. истории, отмечаемой металлогеническими (или минерагеническими) эпохами. Последовательное закономерное размещение формаций г.п. и связанных с ними комплексов П.и. определило их закономерное распределение в составе земной коры, наметив металлогенические (или минерагенические) провинции. В пределах рудных провинций выделяются рудные области, которые подразделяются на РУДНЫЕ РАЙОНЫ. На территории рудных районов обособляются РУДНЫЕ ПОЛЯ или РУДНЫЕ УЗЛЫ с совокупностью месторождений, объединяемых общностью происхождения и геологической структуры. Рудные поля состоят из РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ, охватывающих одно или несколько РУДНЫХ ТЕЛ.

На протяжении истории геологического развития земной коры выделяется восемь гл. эпох рудообразования - архейская, раннепротерозойская, поздерифейская, каледонская, герцинская и альпийская.

Металлогенические эпохи (a.metallogenic epochs) главные периоды формирования рудных месторождений, отвечающие основным этапам геол. развития земной коры. В истории развития земной коры выделяется 11 этапов, определяющих закономерную последовательность возникновения генетических групп рудных месторождений.

Гренландский этап (5000-3800 млн. лет назад) совпадает с древнейшим лунным периодом геол. истории без признаков рудообразования.

Кольский этап (3800-2800 млн. лет назад) отвечает нуклеарному периоду и знаменует начало формирования древнейших эндогенных рудных месторождений обычно глубокометаморфизованных. Эти месторождения отчетливо разделяются на две группы. Одну группу составляют базальтоидные зеленокаменные пояса, с которыми связаны древнейшие колчеданные гидротермальные и золоторудные месторождения Северной Африки и Индии. Другая группа принадлежит гранитоидным ядрам со слюдяными и редкометалльными метаморфогенными пегматитами, известными на территории Сибири, Африки, Австралии и Бразилии.

Беломорский этап (2800-2300млн.лет назад) охватывает первую половину протогеоинклинального периода, соответствует зарождению древних геосинклинального периода, соответствует зарождению древних геосинклиналей, расчленяющих протоплатформы. Выделяются протогеоинклинальные магматические месторождения хромовых руд и титаномагнетитов бальтоидов, а также темаморфогенные керамические и редкометалльные пегматиты гранитоидов. Среди платформенных обращают на себя внимание крупные месторождения хромовых руд ВЕЛИКОЙ ДАЙКИ в Зимбабве и уникальные золото- урановые конгломераты ВИТВАТЕРСРАДА в ЮАР.

Карельский этап (2300-1000млн.лет назад) связан с расцветом и отмиранием протогеоинклиналей. С геосинклинальным базальтоидным вулканизмом этого этапа связано формирование всех крупнейших бассейнов в месторождении железных кварцитов мира. Криворожский, КМА, железорудный бассейн Великих озер Канады и США и др. С карельскими гранитоидами ассоциируют слюдяные и слюяноредкометалльные пегматиты Беломорья. Сисии и др. районов СССР, а также золото в метаморфич. черносланцевых толщах (США, Канада, СССР). В протоплатформенных условиях карельского времени формировались крупнейшие магматические месторождения хромовых руд и платиновых руд БУШВЕЛДСКОГО КОМПЛЕКМА (Юж.Африка), магматич. сульфидные медно-никелевые руды САДБЕРИ (Канада).

Готский этап (1800-1500млн.лет назад) соответствует интергеосинклинальному периоду геол.истории,определяющему заметный перерыв в эндогенном рудообразовании.

Гренвилльский этап (1500-1000 млн.лет назад) относится к началу нового геосинклинального периода с преобладанием базальтоидного вулканизма, породившего колчеданно-полиметаллические месторождения типа САЛЛИВАН в Канаде.

Байкальский этап (1000-600 млн. лет назад) характеризуется эндогенными месторождениями базальтоидного и последующего гранитоидного рядов. С базальтоидами связаны магнитические титаномагнетиты Канады, Норвегии и Урала, а также колчеданные месторождения Сибири и Сев. Америки. Наиболее типичные представители гранитоидов - редкометалльные пегматиты и грейзены.

Каледонский этап (600-400 млн.лет назад) выделяется по преобладающему развитию базальтоидов,особенно вулканической фракции с обильными колчеданными месторождениями Центр. Сибири, Норвегии, Швейцарии, Иберийского пояса Испании и Португалии, Австралии и Бирмы.

Герцинский этап (400-250млн.лет назад) определяет расцвет геосинклинального магматизма и металлогении. С герцинскими базальтоидами связаны магматич. месторождения хромовых и титано-мгнетитовых руд (Урал) и колчеданно-полиметаллич. месторождения (СССР, Урал, Рудный Алтай, страны Зап. Европы). Герцинские орогенные гранитоиды определяют полную гамму постмагматических рудных месторождений, среди которых известны уникальные редкометалльные пегматиты, альбититы, грейзены, разнообразие скарновые и гидротермальные месторождения. Отчетливо проявлена металлогения активизованных платформ свидетельством чего могут служить пояса щелочных пород с редкометалльной минерализацией Кольского полуострова и Норвегии, магматич. сульфидные медно-никелевые месторождения в траппах Сибирской платформы, алмазоносные кимберлиты и редкометалльные карбонатиты Сибирской и Африканской платформ.

Киммерийский этап (250-100млн.лет назад) проявлен среди приплатформенных окраин Тихоокеанского и Средиземноморского геосинклинальных поясов сериями гранитоидов с постмагматич. месторождениями руд цветных и радиоактивных металлов.

Альпийский этап (до 100 млн. лет назад) отличается разломной тектоникой, контролирующей вулканогенные пояса с гидротермальными месторождениями руд золота, серебра и цепи медно-порфирированных образований Тихоокеанского рудного пояса, а также рудоносные карбонатиты и алмазородоносные кимберлиты Африканской, Сев. Американской и Сибирской платформ.

Гренландский и кольский этапы соответствуют архею, от беломорского до гренвиллского - протерозою, а от каледонского до альпийского - фанерозою. Каждый этап завершается гранитоидным магматизмом с формированием гранитофильных постматич. месторождений руд цветных, редких и благородных металлов. Базальтоидные месторождения П.и. впервые появились 3800 млн. лет назад, а гранитоидные - 2500 млн. лет назад и затем повторялись во все последующие этапы геол. истории. Для экзогенных месторождений П.и. также намечаются эпохи.

В связи с закономерным образованием и размещением месторождений П.и. возникали крупные области специфич. геол. строения, содержащие в своих недрах определенные группы П.и. определялось: типом ГЕОСИНКЛИНАЛЕЙ и ПЛАТФОРМ, их геологическим возрастом и эпохой формирования П.и., полнотой проявлений стадий геосинклинального и платформенного этапов геологического развития, распространением в их пределах определенных магматической, метаморфической и осадочных формаций г.п., глубиной эрозионного среза. Районирование территорий континентов на провинции П.и. производится по принципу оконтуривания регионов с развитием месторождений той или иной эпохи. Однако эндогенные месторождения П.и. последующих эпох могут накладываться на площади распространения ранее образованных месторождений нескольких эпох. Поэтому провинции П.и. складчатых областей определяют на основе выделения площадей распространения месторождений завершающей эпохи. Провинции П.и. в пределах платформ включают месторождения кристаллические основания, чехла и зон тектономагматич. активизации.

В пределах геосинклинально-складчатых областей в связи с наложением месторождений П.и. последующих эпох на региональные площади распространения П.и. возникают полициклические провинции П.и. С учетом рассмотренных принципов и принимая во внимание перечень минерогенических эпох, на территории земного шара выделяют провинции: альпийские, киммерийские, герцинские, каледонские, рифейские и протерозойно-архейские.

К альпийским провинциям принадлежит внутренняя часть Тихоокеанского кольца, а также обширный пояс складчатых глыбо-складчатых структур, возникший на месте Тетиса и протягивающийся из Альп в Карпаты, далее через Кавказ и Тянь-Шань в Гималаи и в Тихоокеанский архипелаг. При преобладающем развитии в этих провинциях альпийский месторождений они отличаются набором П.и. максимального количества эпох их образования. Так например, в Кавказской архейско-протерозойских, каледонской, герцинской, киммерийской и альпийской эпох. Для последнего особенно характерны приповерхностные, в т.ч. вулканогенные гидротермальные, месторождения руд цветных металлов и золота.

Киммерийские провинции характерны для внешней части Тихоокеанского кольца. Для них типичны среднеглубинные гидротермальные месторождения руд, свинца, цинка, олова и золота. На территории СССР к этим провинциям относятся Забайкалье, Приморье и Верхоянье.

Примером герцинских провинций П.и. может служить Урало-Монгольский пояс. Эти провинции отличаются особенно полным развитием месторождений П.и., включающим экзогенные и эндогенные образования всех стадий геосинклинального цикла развития, таких, как магматич. месторождения руд железа, титана, хрома, платины и постмагматических месторождений руд цветных и благородных металлов.

Каледонские провинции ограничены по распространению и набору свойственных им месторождений. Их примером могут быть каледонские провинции Норвегии и Западного Саяна с характерными для них вулканогенными колчеданными месторождениями руд меди и цинка.

Рифейские провинции (например, южная окраинная часть Сибирской платформы) содержит месторождения руд золота.

Архейско-протерозойские провинции, охватывающие образования от гренландского до гренвиллского этапов, входят в состав древних платформ, представителями которых на территории СССР являются Восточно-Европейская и Сибирская платформы, знаменитые своими метаморфогенными месторождениями железных руд. В древних протерозойских провинциях П.и.

Северной и Южной Америки, Африки, Австралии, Индии, Китая известны значительные месторождения руд марганца, меди, свинца и цинка, золота и урана.

По преобладающим формациям г.п. и ассоциированным с ними месторождениям П.и. намечают типы провинций П.и. Выделяются уральского типа провинции с преобладающим развитием формаций базальтоидной магмы со свойственными им месторождениями руд железа, титана, ванадия, хрома, платиноидов, меди. Им противопоставляются сиалические, или верхоянского типа, провинции с превалированием формаций гранитоидной магмы и связанными с ними месторождениями руд олова, вольфрама, берилия, лития. Иногда провинция П.и. называется по сочетанию специфических для них месторождений П.и. и их географическому положению. Например, выделяется оловянная провинция Д.Востока, золотоносная провинция Колымы.

Месторождения руд цветных металлов представлены месторождениями руд меди, свинца и цинка, никеля, сурьмы. Запасы металлов в наиболее крупных среди них достигают десятков - сотен млн.т, при обычном содержании металлов в единицы процентов. Значительное количество МЕДНОЙ РУДЫ получают из стратиформных месторождений МЕДИСТЫХ ПЕСЧАНИКОВ и СЛАНЦЕВ, к которым принадлежат Джезказганское в Казахстане, Удоканское в Казахстане, Удоканское в Сибири. Крупным источникам служат также гидротермальные штокверки т.н. медно-порфировых руд (Коунрадское в Казахстане, Алмалыкское в Узбекистане, Каджаранское в Армении). Медные руды добываются также из вулканогенных колчеданных (Урал) и гидротермальных жильных месторождений (Зангезурское в Армении). Существенное количество этого металла извлекалось при разработке магматических сульфидных медно-никелевых месторождений Норильска и Печенег.

Свинец и цинк в природе встречаются обычно совместно в составе месторождений полиметаллических руд. Крупную роль среди них играют стратиформные пластообразные месторождения в карбонатных породах, к которым принадлежат Жайремское и Миргалымсайское в Казахстане. Кроме того СВИНЦОВО-ЦИНКОВЫЕ РУДЫ добывают из вулканогенных колчеданных месторождений (Рудный Алтай) гидротермальных метасоматических месторождений в карбонатных породах как среди СКАРНОВ, так и без них (Дальнегорское на Д.Востоке, Горевское в Енисейском крае) гидротермальных жильных месторождений (Садонское на Кавказе). Главная масса НИКЕЛЕВЫХ РУД добывается из магматических сульфидных медно-никелевых месторождений, а также из месторождений выветривания силикатного состава, известных на Юж.Урале. Все месторождения СУРЬМЯНЫХ РУД относятся к гидротермальным пластовым (Кадамджайское в Ср. Азии) и жильным (Сарылах в Якутии и др.).

Наибольшие запасы олова, вольфрама, молибдена, ртути, берилия, лития, тантала и ниобия достигают сотен тыс. т при содержании металла в руде обычно не выше 1%. Значительное количество ОЛОВЯННЫХ РУД добывается при разработке гидротермальных сульфидно-касситеритовых и кварцево-касситеритовых месторождений на Колыме, в Приморском и Приамурском краях, в Забайкалье. ВОЛЬФРАМОВЫЕ РУДЫ сосредоточены в гидротермальных жильных и штокверковых вольфрамитовых (Забайкалье, Казахстан), а также в скарновых месторождениях (на Кавказе, в Ср. Азии).

МОЛИБДЕНОВЫЕ РУДЫ добывают при эксплуатации штокверковых и жильных гидротермальных месторождений (Красноярский край, Забайкалье, Казахстан), а также скарновых месторождений, среди которых наибольшее значение имеют пластовые залежи ртутных руд (в Донбассе, Ср. Азии). Среди разнообразных источников БЕРИЛЛИЕВЫХ РУД наиболее существенны месторождения пегматитовые и гидротермальные кварцевые и флюоритовые с бериллом, грейzenовые и скарновые с гелвином и фенакитом, вулканогенные флюорит-бертрандитового и гелбертрандитового состава. Литий получают из пегматитов и минеральных литийсодержащих вод (ЛИТИЕВЫЕ РУДЫ). ТАНТАЛОВЫЕ РУДЫ и НИОБИЕВЫЕ РУДЫ добываются из магматических месторождений среди нефелиновых сиенитов, карбонатитов, ольбититов и пегматитов.

Основным сырьевым источником алюминиевых руд являются БОКСИТЫ, месторождения которых принадлежат латеритным корам выветривания и морским осадкам. Палеозойские месторождения бокситов имеются на Урале и на Вост.-Европейской платформе. Известны Средиземноморские и Австралийские провинции бокситов мезозойского возраста. Крайнозойские месторождения бокситов сосредоточены в тропическом поясе Африки, Индии, Гвианы и др. К небокситовым алюминиевым рудам относятся месторождения КИАНИТА, АЛУНИТОВЫХ РУД, НЕФЕЛИН-АПАТИТОВЫХ РУД и ГЛИН с более сложной технологией и более высокой стоимостью получения из них этого металла.

Месторождения руд благородных металлов представлены месторождениями руд золота, платиноидов и серебра. Их запасы обычно измеряются десятками-сотнями (редко тысячами) т при содержании, например, золота, редко превышающем 10 г/т, т.е. 0,001%. Наиболее распространенным типом золото-рудных месторождений являются золотоносные кварцевые и иного состава гидротермальные жилы и штокерки, известные на Д.Востоке и Северо-Востоке, в Западной и Восточной Сибири, на Урале, в Казахстане, Средней Азии, на Кавказе. Существенную роль играет добыча золота из вулканогенных гидротермальных комплексных золото-серебряных руд, известных в пределах Тихоокеанского пояса на территории СССР. Ранее главным источником золота были россыпи, ныне в своей существенной части отработанные. Платиноиды, в состав которых кроме платины входят осмий, иридий, палладий, родий и рутений, добываются в основном при разработке содержащих эти металлы комплексных магматических сульфидных медно-никелевых руд типа Норильска.

К месторождениям радиоактивных руд принадлежат месторождения руд урана, тория и радия. Запасы УРАНОВЫХ РУД в отдельных месторождениях составляют тысячи-десятки тысяч т, редко более при обычном содержании металла в руде, составляющем десятые доли процента. Среди урановых месторождений весьма существенна роль осадочных, обычно осложненных приповерхностными инфильтрационными процессами, к которым принадлежат месторождения, залегающие в палеозойских, особенно мезозойских и кайнозойских породах. Разнообразны гидротермальные метасоматические и жильные месторождения урановых руд.

Месторождения руд рассеянных элементов (актиний, гафний, галлий, германий, индий, кадмий, протактиний, рений, рубидий, селен, скандий, таллий, теллур, цезий и др.) представлены месторождениями седиментогенной, магматогенной и метаморфогенной серий; рассеянные элементы извлекаются в качестве дополнительного продукта при переработке руд др. металлов.

Месторождения руд рудкоземельных элементов цериевой и иттриевой групп самостоятельно не существуют; руды этих элементов извлекают также в основном попутно при разработке магматических, пегматитовых, карбонатитовых, альбитовых, гидротермальных и россыпных месторождений руд цветных, редких и радиоактивных металлов. В.И.Смирнов.

ТЕХНОГЕННЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ (technogenous deposits) скопление минеральных веществ на поверхности Земли или в горных выработках, образовавшееся в результате их отделения от массива и складирования в виде отходов горного, обогащенного, металлургического и других производств и пригодное по количеству и качеству для промышленного использования (для извлечения металлов и других полезных компонентов, получения топлива и стройматериалов).

К Т.м. относятся отвалы добычи п.и., хвостохранилища обогащательных фабрик, золото- и шлако- отвалы ТЭЦ, складированные отходы металлургических и других производств. К техногенным месторождениям относятся т.и. "полигоны захоронения проиышленных отходов" - свалки вышедшего из употребления электротехнического и электронного оборудования, автомобилей, машин и аппаратов, наконец, городские отходы ("Urban ores"). Т.м.- универсальный источник мн. редких и рассеянных элементов. Так, основной источник для получения германия - золы ТЭЦ; рения - пыль обжига молибденовых концентратов; селена и теллура - полиметаллической руды; галия - отходы переработки бокситов и нефелинов. Т.м. становятся все более важным источником многих видов минерального сырья. В развитых капиталистических и

развивающихся странах в среднем производится из вскрышных пород до 80% нерудных строительных материалов, из отвалов окисленных медных руд и хвостов обогащения методом бактериального и кислотного выщелачивания до 20% меди (в США св.30%). Суммарное содержание полезных компонентов, накапливающихся за 20-30 лет в Т.м., сопоставимо, а иногда и превышает их количество в ежегодно добываемых рудах.

Как и обычные месторождения п.и., Т.м. имеют определенную структуру распределения полезных компонентов, зоны вторичного гипогенеза, окисления, сегрегации и т.п., но в отличие от естественных (геогенных) месторождений характеризуются пониженным содержанием полезного компонента. Складирование отходов, образующих Т.м., ведется таким образом, чтобы обеспечить наиболее благоприятные условия для их последующей эксплуатации (устойчивость откосов, минимальные затраты на отвальные работы, возможность применения поточной технологии). Разработка Т.м., как правило, экономически целесообразна, так как Т.м. находится на поверхности и материал в них уже частично дезинтегрирован. Однако использование этих месторождений должно проводиться своевременно, поскольку складированные отходы во многих случаях значительно видоизменяются, теряют свои технологические свойства и практическую ценность. Например, Т.м., содержащие сульфиды тяжелых цветных металлов, могут истощаться, вплоть до полной потери металлов, за счет процессов самопроизвольного бактериального выщелачивания. Для повышения ценности Т.м. в процессе складирования отвалов требуется раздельное хранение определенной части отходов, в противном случае Т.м. может и не образоваться. Например, окисленные железистые кварциты, являющиеся отходами добычи и обогащения на КМА и в Кривбассе, складировались совместно с вскрышными породами и в значительной степени утрачены как Т.м. Раздельное складирование требует определенных затрат, в некоторых случаях заметно повышая стоимость добычи.

В результате разработки месторождений добывается РУДА (a.ore) природное минеральное сырье, содержащее металлы или их соединения в количестве и в виде, пригодном для их промышленного использования. Как правило, даже природно богатые Р. требуют обогащения. Руды цветных металлов полиминеральны, сопровождаются минеральными не имеющими пром. ценности. При наличии в рудах попутных ценных компонентов (металлов, неметаллов), извлечение которых экономически выгодно, Р. считаются комплексными. По химическому составу преобладающих в Р. минералов среди них различают Р. силикатные, кремнистые, оксидные, сульфидные, карбонатные и смешанные. Все Р., добываемые из залежей, заключенных в коренных осадочных, магматических и метаморфических породах, называется коренными, добываемые из речных, озерных, морских и океанических песков - россыпными (см.РОССЫПИ). По текстуре Р., определяющей пространств, расположением слагающих ее минеральных агрегатов, выделяются Р. массивные, полосчатые, пятнистые, прожилковатые, вкрапленные, ячеистые и др. Структура Р. определяется сочетанием отдельных минеральных зерен в рудном минеральном агрегате. Различаются равномернозернистая, неравномернозернистая, оолитовая (с концентрически округлыми скопления минералов), порфировая (с отдельными крупными зернами минералов среди равномернозернистой массы), радиально-лучистая и другие структуры. По характеру распределения ценных минералов выделяются Р. с равномерным, неравномерным и крайне неравномерным составом.

Для разработки и переработки Р. существенное значение имеют их физические свойства: твердость, прочность, трещиноватость, объемная масса, температура плавления, магнитные и электромагнитные свойства, электромагнитные свойства, электропроводность, радиоактивность, растворимость, сорбционность, а также гранулометрического состава.

ПОЛЕЗНЫЕ КОМПОНЕНТЫ в рудах (valuable component) составная часть полезного ископаемого, извлечение которой с целью промышленного использования технологически возможно и экономически целесообразно.

Различают основные и сопутствующие (попутные) П.к. Основное П.к. содержится в п.и. в промышленных концентрациях, определяя их основную ценность, назначение название. При

наличии двух или нескольких осн. П.к. полезное ископаемое характеризуется как комплексное (например, медно-молибденовые, медно-свинцово-цинковые руды). Попутные П.к. (минералы и рассеянные элементы) - составные части п.и., извлечение которых экономически целесообразно лишь совместно с основным П.к. Полезные минералы входят в состав п.и. в низких концентрациях и могут извлекаться в селективные концентраты или накапливаться в продуктах обогащения основного П.к. Рассеянные элементы входят в состав основных или сопутствующих П.к. в виде изоморфных, тонкодисперсных и др. примесей (обычно в малых концентрациях) и поддаются извлечению лишь при металлургическом и химическом разделе концентратов. Полное комплексное извлечение и использование всех П.к. является условием эффективного использования недр. Понятие о П.к. не является постоянным, она изменяется в связи с изменением потребностей промышленности и развитием техники и технологии добычи, обогащения и переработки минерального сырья.

Существенное значение имеет ПРОМЫШЛЕННОЕ СОДЕРЖАНИЕ (commercial content) полезного компонента в минеральном сырье, при котором экономически целесообразно его извлечение и использование. В зависимости от экономико-географических условий месторождения, геологического строения, состава и свойств руд, технологии и технических средств добычи и переработки, требований экологии П.с. по каждому виду минерального сырья может колебаться в широких пределах. Предельные значения П.с., на основании которых производится подсчет запасов п.и. устанавливаются КОНДИЦИЯМИ на минеральное сырье.

Комбинированная переработка минерального сырья — технология, включающая различные методы и процессы обогащения и металлургии, позволяет наиболее эффективно разделять компоненты. В основе разделения компонентов по их свойствам (различию в плотности, магнитной восприимчивости, электрической проводимости, адсорбционной способности, смачиваемости и т. д.) лежит создание градиента концентрации частиц минералов, ионов или молекул в жидкой или газовой фазе, а также на границах раздела фаз с помощью различных силовых полей и воздействий; магнитных, электрических, гравитационных, адсорбционных и т. п. Комбинированная ; переработка осуществляется по нескольким свойствам путем применения комбинации полей в одном аппарате (комбинированный процесс) или в ряде последовательно расположенных аппаратов (комбинированная технологическая схема). Комбинированное обогащение минерального сырья . производится без изменения фазового и химического состава входящих в ' руду минералов, т. е. в результате комбинаций обогатительных методов. Комбинированные обогатительные схемы включают обычно в качестве первичного процесса гравитационный (обогащение в тяжелых суспензиях, отсадку, обогащение в винтовых сепараторах, на шлюзах и т. д.), а затем магнитную сепарацию или флотацию. Такие схемы типичны для железных (гравитация — магнитная сепарация), марганцевых (гравитация — флотации) и редкометалльных руд (гравитация — магнитная или электрическая сепарация — флотации). К наиболее распространенным комбинированным обогатительным процессам относятся флотогравитация: флотация на концентрационных столах (алмазные руды), флотоотсадка (редко металльные руды). Известны также классификации в магнитном поле (магнетитовые, титаномагнетитовые руды), флотация в магнитном поле, в поле токов высокой частоты, в поле вибраций или ультразвука. Если обогатительными методами или их комбинацией не удастся получить кондиционных концентратов, применяется комбинация с гидро- или пирометаллургической доводкой. Гидрометаллургическая доводка производится путем выщепачивании вредных компонентов из черновых концентратов, например фосфора или кремнезема из железных, марганцевых, вольфрамовых концентратов. Удаление вредных компонентов возможно также в пирометаллургических процессах. Например, при обжиге карбонатных руд можно существенно повысить концентрацию полезных компонентов за счет выжигания CO_2 . Обжиг также позволяет изменить магнитные свойства минералов (магнетизирующий обжиг окисленных железных руд) для последующей магнитной сепарации. Известны примеры применения обжига для изменения флотуемости минералов (фосфориты).

Специфическая пирометаллургически-флотационная схема используется при переработке медно-никелевых руд: они плавятся на медноникелевый файнштейн, который затем измельчается и разделяется флотацией на медный и никелевый продукты. Другой оригинальной схемой переработки медно-никелевых руд является коллективно-селективная флотация с получением никепь-пирротиновых концентратов, которые подвергаются автоклавно-окислительному выщелачиванию с последующей серо-сульфидной флотацией.

Комбинированные схемы, последовательно применяющие различные методы, позволяют наиболее полно извлекать ценные компоненты из минерального сырья: комбинированные процессы дают наиболее высокую чистоту концентратов.

С переходом промышленности к труднообогатимым рудам и углям, к безотходной технологии и т. л. стремительно развиваются взаимопроникновение и взаимодействие технологических процессов, причем не только обогатительных например механоактивация руд и минералов, гидрометаллургии; в сочетании с флотацией, самоизмельчение с последующим обогащением на грохотах, кондиционирование оборотных вод и др.

На основе комбинированных процессов и схем возможна комплексная переработка минерального сырья — разделение полезного ископаемого на конечные продукты, в которые извлекаются все содержащиеся в исходном сырье ценные компоненты и производство которых технически возможно и экономически целесообразно.

1.2. Geology Exploration and Valuation.

МИНЕРАЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ (mineral resources) совокупность полезных ископаемых в которых химические элементы и образуемые ими минералы находятся в резко повышенной концентрации по сравнению с кларковыми содержаниями в земной коре, обеспечивающей возможность их промышленного использования выявленных в недрах отдельных регионов, стран, континентов.

М.р. являются невозобновляемыми ПРИРОДНЫМИ РЕСУРСАМИ. Подготовленную к освоению часть М.р. называют минерально-сырьевой базой, количественно оцененной геологическими исследованиями и геологической разведкой.

Подготовка к производству (добыче) М.с. включает создание минерально-сырьевой базы ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ путем проведения геологическо-разведочных работ с целью определения промышленных ЗАПАСОВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ на известных природных объектах и учета в качестве источника М.с. техногенных месторождений (отвалов, хвостов обогащения и т.п.), а также создание в этих районах горных предприятий по добыче и переработке.

Как правило, затраты на поисково-разведочные работы от стоимости получаемого металла составляют 1,5-5% (черные и цветные металлы), реже 20-30% (некоторые цветные и редкие металлы); затраты на добычу и обогащение М.с. в общей стоимости продукта - от 6-10% (для железа или алюминия) до 70-80% (для некоторых цветных и легирующих металлов).

Производство М.с. все время увеличивается, особенно больших масштабов оно достигло в 20 в. На период 1901-80 приходится руд олова, свинца, цинка, серебра, ртути, сурьмы, алмазов, 87% железной руды, 85% руд меди и 70% золота. В это же время значительно возросло число видов М.с., началось промышленное производство бокситов, титановых, молибденовых, танталовых, ниобиевых и др. руд. Рост добычи М.с. протекал неравномерно. Конец 19 - начало 20 вв. и середина 50-х - сер. 70-х гг. выделяются как периоды высоких темпов увеличения добычи многих видов п.и. Например, в 1950-75 производство ниобиевых концентратов возросло более чем в 20 раз, бокситов - в 11, концентратов никеля и титана - в 5-5,5. Рост производства многих видов М.с. в основном обеспечивался за счет разработки крупных и крупнейших месторождений. Увеличение темпов добычи вызывает необходимость вовлечения в разработку месторождений с более бедными рудами и новых геологическо-промышленных типов. Так, в конце 19 в б.ч.

руды**), тыс. т | 159 267 32 367 116 119 1060 394 666
% | 15,0 25,2 3,0 34,6 11,0 11,2 100 37,2 62,8

Кобальтовые |

руды***), млн. т | 0,05 0,43 1,8 0,26 0,1 0,3 2,94 2,51 0,43
% | 1,7 14,6 61,2 8,0 3,4 10,2 100 85,3 14,7

Медные руды, |

млн. т | 8,3 47,6 78,9 122,5 174,3 15,8 447,4 302,8 144,6
% | 1,9 10,6 17,6 27,4 39,0 3,5 100 67,7 32,3

Молибденовые |

руды**), млн. т | - 0,2 - 4,2 2,85 0,15 7,4 3,2 4,2
% | - 2,7 - 56,8 38,4 2,1 100 43,1 56,9

Никелевые |

руды***), млн. т | 2,1 11,9 5,2 10,1 4,9 16,0 50,2 32,1 18,1
% | 4,2 23,8 10,4 20,0 9,8 31,8 100 64,0 36,0

Оловянные |

руды***), млн. т | 0,2 1,8 0,4 0,1 0,8 0,2 3,5 2,9 0,6
% | 5,7 51,5 11,4 2,9 22,8 5,7 100 82,9 17,1

Свинцовые |

руды***), млн. т | 12,9 8,3 11,1 47,0 13,8 23,0 115,6 25,5 90,1
% | 11,1 7,2 9,6 40,7 11,5 19,9 100 22,1 77,9

Цинковые |

руды**), млн. т | 23,3 28,1 24,8 60 21,4 21,0 178,6 56,7 121,9
% | 13,0 15,7 13,9 33,7 12,0 11,7 100 31,7 68,3

-----+-----
*) Выявленные и подтвержденные запасы на начало 1984 (промышленно развитые капиталистические и развивающиеся страны)

**) В пересчете на оксид

***) В пересчете на металл

РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ полезных ископаемых (mineral exploration) проводится с целью определения промышленного значения месторождений полезных ископаемых получивших положительную оценку в результате ПОИСКОВО-ОЦЕНОЧНЫХ РАБОТ. Резервом пополнения объектов разведки являются также ранее разведывавшиеся, но по различным причинам отнесенные за баланс месторождения. Их повторная ревизия (переоценка), осуществляемая на основании новых геолого-генетических концепций, изменения конъюнктуры, появления более совершенных средств Р.м. и новых технологий добычи и переработки минерального сырья, позволяет обосновать тогда передачу некоторых из числа таких ранее изучавшихся объектов под предварит. Р.м. без проведения дополнительных полевых работ. В ходе Р.м. устанавливаются геолого-промышленные параметры месторождений необходимые для их промышленной оценки, проектирования строительства горно-доб. предприятий, обеспечения эксплуатационных работ и переработки извлекаемых п.и. Так, например, определяется морфология тел п.и., что имеет первостепенное значение для выбора системы последующей их разработки. Устанавливаются контуры тел п.и. с учетом геол. Границ (контакты литологически разл. пород поверхности раз-мов и др.) и по данным ОПРОБОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ среднее содержание основных и попутных компонентов, наличие вредных примесей, характер распределения п.и. и др. Данные о содержаниях полезных компонентов служат исходной базой для обоснования подсчетных кондиций и, в конечном счете, для решения вопроса о промышленной ценности разведываемого объекта. Не меньшее значение эти данные имеют и для выяснения технологических свойств п.и. Р.м. осуществляется последовательно - по стадиям, со все большей детализацией исследований

путем закономерного сгущения сети разведочных выработок и систематического опробования тел п.и., со все более точным и достоверным подсчетом запасов и все более детальной и полной технико-экономической оценкой изучаемых месторождений.

Способы Р.м. определяются набором соответствующих технических средств, обеспечивающих получение максимально полной информации по разведочному в целом. При предварительной разведке основным видом работ является бурение: ударное (при разведке россыпей), колонковое (керновое и бескерновое), глубокое; в особо сложных случаях (как правило, при разведке месторождений руд цветных и редких металлов) используются глубокие шурфы, мелкие шахты, штольни.. Их назначение - подтверждение данных разведочного бурения, уточнение строения наиболее сложных участков месторождения, отбор технологических проб. Детальная разведка и доразведка месторождений осуществляются, как правило, на основе бурения; на некоторых объектах проходятся также глубокие разведочные и разведочно-эксплуатационные шахты. Основные виды работ при эксплуатационной разведке - горные выработки (горизонтальные, вертикальные и колонные) и подземные, вертикальные и наклонные) и подземные (обычно короткометражные) скважины - колонковые и перфораторные (бескерновые). Для получения максимальной информации о строении месторождений и закономерностях размещения п.и. при минимальной затрате средств разведочные горные выработки располагают таким образом, чтобы они пересекали всю мощность перспективной зоны (горизонта, структуры), а разведочные профили (группы разведочных пересечений) - преим. вкрест простираения последних. Густота разведочной сети зависит от степени сложности геологического строения разведываемого месторождения и категорий, по которым подсчитываются его запасы. По мере перехода от предварительной разведки к детальной, а затем к эксплуатационной сеть разведочных выработок последовательно сгущается. Для сложных жильных месторождений руд редких металлов сеть разведочных выработок может сгущаться до нескольких десятков м и более. На всех стадиях Р.м. применяются различные геофизические и геохимические методы. Главное назначение геофизических работ - выяснение структуры месторождения путем уточнения положения и прослеживания рудоконтролирующих и рудолокализирующих поверхностей (например, контакт литологически благоприятных для рудоотложения известняков и перекрывающих их - экранирующих сланцев, зоны дизъюнктивных нарушений и др.), а также увязки разведочных пересечений. Геохимические методы используются для оконтуривания горизонтов, зон и блоков пород (с аномальным распределением элементов-индикаторов), перспективных для поисков скрытых рудных залежей.

Набор технических средств Р.м. определяется видом работ: это канавокопатели и многоковшовые экскаваторы для проходки канав и траншей, бульдозеры для проведения расчисток и вскрытия коренных обнажений, а также траншейной разведки россыпей комплекты самоходного оборудования для проходки шурфов и картировочно-поисковых скважин, спуско-подъемные механизмы для проходки глубоких шурфов и шахт, различные типы буровых станков для бурения разведочных скважин, автоматизированного устройства для отбора и анализа проб, полевая геофизическая аппаратура с ЭВМ для оперативной обработки получаемых данных и др.

По материалам первичной геологической документации и опробования составляются сводные погоризонтные планы и разрезы - основа подсчета запасов п.и. Эти же данные используются для составления детальных геолого-структурных карт, на базе которых строятся прогнозные карты, являющиеся основой при составлении проектов дальнейших работ.

ОЦЕНКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ полезных ископаемых (tvaluation of mineral drposits, assessment of mineral deposits) определение промышленной значимости с помощью комплекса геологических методов (геологическая оценка) и экономических расчетов (экономическая оценка). Проводится на всех стадиях их изучения, разведки и промышленного освоения - от регионального прогнозирования до полной отработки.

На ранних стадиях геолого-разведочного процесса (региональное изучение территории, геологическое картирование) на основе общих геологических данных проводится оценка возможных перспектив той или иной площади в целом (рудная провинция, рудный пояс, зона, рудный район или узел; бассейн, структура и др.). Исходя из определенной геологической концепции (геохимической специализации района и комплекса пород, благоприятные тектонические, магматические, литолого-стратиграфические структурные и др. предпосылки), на геологические и специализированные (геолого-формационные и др.) картах соответствующего масштаба (1:500000 - 1:50000) выделяются площади (зоны, бассейны, структуры), подлежащие более детальному изучению. По аналогии с др. районами и для этих площадей подсчитываются прогнозные ресурсы по категории РЗ. При наличии ранее зафиксированных признаков искомого вида п.и. такие запасы могут быть привязаны к более ограниченным площадям - зонам, структурам и др. При этом прогнозные ресурсы квалифицируются по категории Р2. Площади их распространения - объекты для постановки детальных специализированных поисковых или поисково-ревизионных и оценочных работ. Прогнозные ресурсы категории Р1 выявляются обычно в процессе локального прогнозирования (1:50000 - 1:20000) преим. на флангах и глубоких горизонтах разведывающихся или эксплуатирующихся месторождений. Они отражаются на специально составляемых для этого детальных структурно-прогнозных картах и служат резервом для расширения сырьевой базы действующих предприятий и основой для планирования более детальных геолого-разведочных работ. Геологическая оценка выявленных проявлений п.и. производится по результатам целенаправленных поисково-разведочных работ и заключается, с одной стороны, в определении качества (путем опробования выходов) п.и. и масштабов его возможного распространения (по мощности, площади и глубине), а с другой - в установлении перспективности района на данный вид п.и. (по геолого-тектонической позиции изучаемого объекта, принадлежности его к определенному генетическому и геолого-промышленному типу, геохимической специализации района, его геофизическим параметрам и др.). При положительных итогах геологической оценки производится предварительный экономический расчет с целью определения минимально допустимых масштабов объекта, который в данных географоэкономических и горно-геологических условиях удовлетворял бы требованиям промышленности (браковочные кондиции).

Перспективность района оценивается путем подразделения всех выявленных проявлений п.и. на малоперспективные проявления п.и.; самостоятельного тела разного масштаба (подлежат разведке в случае соответствия их основных параметров кондиционным требованиям); индикаторы скрытых на глубине более крупных залежей п.и. (наиболее перспективный вариант, позволяющий весьма положительно оценивать всю изучаемую структуру). Применительно к телотермальным месторождениям оптимальное соотношение выделенных групп рудопоявлений равно обычно 20:10:70, а для наиболее высокотемпературных скарновых и пегматитовых редкометалльных месторождений примерно 60:30:10. При прогнозировании скрытых залежей п.и. исходными оценочными критериями являются: вертикальный размах распространения данного вида п.и.; многоярусность его локализации (например, количество литологически благоприятных горизонтов в геологическом разрезе района); наличие в перекрывающих толщах пород тех или иных признаков п.и. (ореолов рассеяния).

Кроме собственно проявлений п.и. геологическая оценка подвергаются также разнообразные геохимические, геофизические и др. аномалии, а также перспективные структуры. Их оценка осуществляется первоначально по данным камеральной обработки полученных материалов (например, геохимической аномалии разбраковываются на основании выявления ведущей роли над- или подрудных элементов-индикаторов), с последующим пересечением единичными разведочными выработками, чаще всего поисково-структурными буровыми скважинами. Итого проведенной работы является обоснованное решение о степени перспективности объекта, на основании которого дается рекомендация о целесообразности организации на нем предварительной разведки, занесения его в фонд резервных объектов или же в

признании данного проявления бесперспективным, не заслуживающим внимания и дальнейшего изучения. При этом учитывается и ряд экономических факторов: степень дефицитности данного вида минерального сырья, необходимость компенсации погашаемых запасов в районе действующих предприятий и др.

В процессе предварительной разведки, решается вопрос о промышленной значимости выявленного месторождения: его общих масштабах и качестве п.и., в т.ч. технологических свойствах, возможных условиях отработки и др. На основе разведанных запасов (обычно по категории С2 отчасти С1) проводится технико-экономические расчеты, позволяющие определить главные показатели промышленного освоения месторождения при нескольких вариантах кондиций, учитывающих масштабы производства и др. параметры, что находит свое отражение в специально составленном технико-экономическом докладе (ТЭД). На стадии предварительной разведки в равной степени важны как геологическая оценка изучаемого месторождения и его района, так и экономия. Первая заключается в детальном изучении условий локализации п.и., объективной оценке степени достоверности выявленных запасов и установлении всех возможных резервов для их дальнейшего расширения; вторая - в подсчете всех видов затрат (на строительство горнодобывающего предприятия, дорог, электролиний создание инфраструктуры и др.), которые необходимо сделать при промышленном освоении объекта, и ожидаемого при этом экономического эффекта. На стадии детальной разведки одна из главных задач геологической оценки - определение степени достоверности разведанных и подсчитанных запасов с целью предотвращения негативных последствий при их расхождении с данными последующей добычи. Уточняются морфология тел п.и., их положение в пространстве, качество и технологические свойства п.и., технико-экономические условия отработки и пр. Геолого-экономическая оценка разведываемых месторождений п.и. производится на основе подсчета выявленных запасов, базирующегося на кондициях. Техничко-экономическое обоснование подсчетных кондиций (ТЭО) осуществляется исходя из оптовых цен на соответствующий вид минерального сырья, степени его дефицитности, условий отработки, технологических свойств и др. показателей.

При подготовке месторождений к промышленному освоению осуществляются многовариантная сравнительно-экономическая оценка и выбор экономически наиболее рентабельного объекта из числа разведанных однотипных месторождений, цель которых - определить степень рентабельности отработки разведанных залежей п.и. с учетом фактора времени.

До распада СССР геолого-разведочными работами осуществляло Министерство геологии СССР.

Мингео СССР руководил территориальными организациями и научно-исследовательскими институтами непосредственно через Мингео РСФСР, Мингео УССР, Мингео Казах.ССР, Мингео Узб.ССР, управления геологии при Совете Министерства др. союзных республик и всесоюзного объединения. Организации министерства вели поисковые и разведочные работы на п.и. на территории страны, мор. шельфе (кроме глубокого бурения), дне морей и океанов; осуществляли региональные геологические, геофизический, гидрогеологические, инж.-геол. и др. виды наземных, аэрогеологических космических съемок в целях изучения геологического строения, для нужд промышленности, сельского хозяйства и строительства; производят различную геологическую разведочную технику, геофизическую аппаратуру; оказывают техническое содействие зарубежным странам в проведении геолого-разведочных работ.

В принципе плановой геолого-разведочной работы в СССР были зарегистрированы десятки тысяч рудопроявлений различного масштаба и значения. Сведения о них находятся в архивах региональных геологических управлений, имеющих почти в каждой области и в каждой республике. Во многих случаях по этим рудопроявлениям проводились исследования.

Отдельно от Мингео существовал Комитет по запасам полезных ископаемых. По существу это было самостоятельно министерство и его руководитель (председатель был в ранге министра) Все более или менее на интересные рудопроявления через систему исследований поля, экспертизу

- утверждались как запасы полезного ископаемого. По совершенно необъяснимой причине сведения о запасах руд цветных металлов считались совершенно секретными, хотя от утверждения запасов до получения металлургической продукции из них, как правило, проходило 20-30 лет. Параллельно другие ведомства (Мингео СССР, Мингео республик и районное геологическое управления) продолжали поиск и наращивание запасов. По некоторым полезным ископаемым запасы накапливались на десятки лет вперед, по другим - на немногие годы. По техногенным месторождениям разведки вообще велась эпизодически и запасы не оценивались. Таким образом, информация по рудопроявлениям огромна, но неупорядочена.

1.3. Mineals and ore Treatment.

В основе технологии переработки полезных ископаемых лежит изучение свойств минералов - кристаллических тел, образовавшихся в результате природных физико-химических (геохимических) процессов на поверхности или в глубинах Земли. В отличие от синтетических веществ, которые можно получать в заданных условиях и при заданном соотношении компонентов, природные минералы образуются в системах, состав которых зависит от геохимической распространенности отдельных элементов, геохимической предыстории их рассеяния или концентрации и в узких геологически возможных диапазонах изменения давления, температуры, pH, и Eh [16, 25]. Несмотря на эти ограничивающие условия, разнообразие минеральных видов огромно в связи с явлениями изоморфизма, дефектностью кристаллических решеток, ионообменными процессами, а также явлениями тектонизма, выветривания, метамиктных преобразований и т.д.

Из большого числа известных в природе минералов в промышленных месторождениях встречается лишь несколько сотен. Для технологии обогащения руд представляют интерес минералы, содержащие ценные компоненты, и минералы вмещающих пород. Таких минералов (не считая разновидностей) насчитывается около 250, и мы рассмотрим только их.

В зависимости от химического состава, наличия примесей и структурных особенностей в различных месторождениях, а иногда и в пределах одного месторождения могут и минералов, но и относительным содержанием компонентов в руде, а также присутствием других минералов.

Наконец, характеристика выделений - форма частиц, характер излома, наличие сростаний и размеры - часто определяют выбор метода извлечения.

В отличие от минералогических справочников, в которых описание минералов и их характеристика предназначены в основном для диагностики, приводим лишь сведения, которые необходимы технологу. Минералогическое описание присутствующих в месторождениях минералов с характерными для них ассоциациями, поможет оценить типичность или уникальность месторождения и минеральных ассоциаций.

Таким образом, описание руд и месторождений дается на принципах технологической минералогии.

1. При разработке технологических схем рудоподготовки включающих операции усреднения, дробления, грохочения, предварительной сортировки, измельчения и классификации:

- выделение технологических типов руд для раздельного обогащения и внутритипового усреднения в связи с зональностью, пространственным распределением рудных минералов, концентраций полезных или вредных для обогащения компонентов;

- геолого-технологическое картирование месторождений по типам руд установление типоморфных особенностей минералов в разновидностях, особенностей минералогического состава, выделение минеральных парагенезисов различных участков месторождения в связи с обогатимостью проб.

- оценка возможности предварительной сортировки руд по концентрации компонентов, вещественному составу, обогатимости, выделение отвалных продуктов на стадии первичного или среднего дробления с выделением отдельных минералов или минеральных ассоциаций по

плотности (в тяжелых средах), твердости (на грохотах), цвету, блеску, люминесценции (фотометрия), радиоактивности, естественной или наведенной (радиометрия) и т.п.;

- оценка возможности предварительного обогащения или выделения частиц минералов по форме, коэффициенту трения, измельчаемости, размеру частиц и т.п.;

- оценка твердости минералов, механической прочности агрегатов, измельчаемости для разработки схем рудоподготовки;

—оценка вкрапленности, взаимопрорастания минералов, контрастности руд для оптимизации степени измельчения.

2. При разработке технологических схем обогащения руд:

- изучение компонентного состава руды и ценных минералов с целью оценки возможности получения селективных и коллективных концентратов методом обогащения, определения характера комплексности компонентов (в минерале, в минеральном комплексе, в рассеянном состоянии и т.п.);

- изучение компонентного состава пустой породы с целью определения возможности утилизации отходов обогащения, разработки схемы безотходной технологии;

- изучение свойств минералов, входящих в руду с целью определения возможных методов их выделения на гравитационных, электрических, магнитных аппаратах, методами флотации и др.;

- изучение возможности изменения свойств минералов в связи с их обогатимостью путем механических, термических, акустических, химических, радиационных воздействий для повышения селективности разделения компонентов.

3. При разработке химико-металлургических и комбинированных технологических схем переработки:

- изучение растворимости минералов в различных растворителях с целью определения возможности гидрометаллургического извлечения компонентов и доводки концентратов;

- изучение возможности изменения растворимости минералов путем термических, бактериальных, автоклавных, механических и других методов с целью повышения извлечения компонентов и комплексной переработки руд, а также применимости геотехнологической разработки месторождения.

4. При разработке режимов флотационного обогащения:

- исследование кристаллохимических особенностей минералов, поверхностных свойств, типа проводимости, природ сорбционно-активных центров, структуры связей атомов в поверхностном слое с целью выявления возможности использования тех или иных флотореагентов для флотационной селекции минералов;

- исследование гидратации поверхности минералов в водной суспензии, особенно в присутствии флотореагентов, с целью регулирования селективной флотации;

- исследование влияния изменений состава и количества изоморфных примесей, структурных дефектов, типа проводимости и др. особенностей минералов, варьирующих в пределах месторождения, на их сорбционные и флотационные свойства с целью организации системы управления режимом флотации и прогнозирования показателей обогащения.

Теорию и технологию разделения минералов в промышленных процессе обозначим термином минералургия [].

МИНЕРАЛУРГИЯ (от минерал и греч. ergon - работа *a.minerallurgy) является теоретической базой ОБОГАЩЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ, а также включает ряд новых направлений (рудоподготовка, селективное раскрытие природных направленное изменение природных свойств минералов, химическое обогащение и извлечение техногенных минералов). М. позволяет найти эффективные способы технологии переработки бедных, труднообогатимых руд извлечением полезных компонентов и комплексным использованием сырья, включая утилизацию отходов.

М. охватывает весь комплекс операций первичной переработки полезных ископаемых в т.ч. рудоподготовку, процессы концентрирования и разделения минералов механическими, физическими и физико-химическими методами, химическое обогащение, процессы обезвоживания и окускования, а также ряд других операций, необходимых для достижения требуемых кондиций по содержанию полезных компонентов и примесей, гранулометрическому составу, влажности и другие параметры качества конечных продуктов. Минеральное сырье может подвергаться химико-металлургической переработке с получением материалов (металлов, химических веществ) или поступать на механические и другие виды обработки, если минералы и горные породы обладают техническими свойствами, определяющими их непосредственное использование (например, пьезокварц, строительные материалы).

Методы минералургии будут использоваться для переработки жидких п.и. (подземные воды, воды Мирового океана). Для твердых п.и. с богатым содержанием полезных п.и. с богатым содержанием полезных компонентов товарная руда являлась длительное время основным сырьем при химико-металлургической переработке. До 1-ой половины 19в. процессы М. сводились к механической обработке п.и. (дробление, грохочение, промывка, сортировка по внешнему облику), и сырье поступало на следующий передел в виде концентратов. С развитием методов механического измельчения в барабанных мельницах и гравитационного обогащения, а затем физического (магнитная, электрическая сепарация, радиометрическая сортировка) и физико-химического обогащения конечным продуктом стали тонкоизмельченные концентраты минералов. Для обеспечения оптимальной крупности сырья для металлургической переработки были разработаны методы окускования (агломерация, окомкование, брикетирование).

В 80-х гг. все чаще становится экономически выгодным готовить сырье в виде искусственных (техногенных) минералов с заданным составом и свойствами. Они могут получаться из выделенных при обогащении твердых п.и. путем их перекристаллизации с введением в случае необходимости определенных добавок других веществ (например, производство металлизированных и офлюсованных окатышей для черной металлургии, плавленых фосфатов для горно-химической промышленности). При химическом обогащении твердых п.и., при переработке жидких п.и. конечные продукты получают главным образом в виде химических концентратов жидких и твердых полупродуктов и черновых металлов.

Проблема переработки бедных труднообогатимых руд многопланова. Для месторождений сложного генезиса типовые традиционные схемы обогащения становятся неэффективными. Трудные горно-геологические условия эксплуатации месторождений на больших глубинах, увеличение масштабов механизированных систем с массовой выемкой приводят к разубоживанию руды пустой породой и не позволяют выдержать кондиции, на которые рассчитаны проектные схемы обогащения. Резко увеличиваются энергетические затраты, т.к. для получения одного и того же количества ценных компонентов из бедных руд необходимо подвергать измельчению соответственно большее количество горной массы. Труднообогатимые руды характеризуются минеральными комплексами с близкими свойствами, трудно разделяемыми из-за отсутствия необходимой контрастности разделительных признаков. Из наиболее труднообогатимых, т.н. упорных, руд (очень тонкая вкрапленность минералов, наличие изоморфных примесей) невозможно при измельчении выделить в отдельные фазы индивидуальные минеральные компоненты.

Степень ("глубина") минералургической переработки, вид и структура конечных продуктов определяются, помимо требований к их качеству, типом перерабатываемого п.и., техническим уровнем применяемых процессов М., а в конечном итоге, экономическим критерием (по минимальным сквозным затратам по всем переделам от горных работ до конечных продуктов переработки и обработки).

Технологическая минералогия, теория рудоподготовки, теоретические основы направленного изменения природных свойств трудноразделяемых минералов теория химического обогащения входит в минералургию.

Технологическая минералогия раскрывает взаимосвязь (используемых в технологии) свойств минералов с особенностями состава и строения г.п. и слагающих их минералов, характерными для конкретного месторождения. Она является информативной базой построения рациональной технологической схемы переработки сложных по составу руд.

Теория рудоподготовки позволяет создать систему управления качеством добытой горной массы и превращения ее в кондиционную руду путем направленного изменения ее прочностных характеристик при взрыве, обеспечивая необходимую кусковатость взрывным и механическим дроблением, разделения на технологические сорта, внутрисортowego усреднения, предварительной концентрации по крупности (на грохотах), по плотности (в тяжелых средах), по естественной и неведенной радиоактивности (радиометрическая сортировка).

Направленное изменение природных свойств трудноразделяемых минералов позволяет путем физико-химического и химического воздействий создать контрастность свойств, необходимую для повышения эффективности флотации, магнитной и электрической сепарации. Особое значение для перехода от коллективной флотации типоморфных по своим поверхностным свойствам групп минералов имеет синтез реагентов требуемого действия.

Теория взаимодействия флотационных реагентов с минералами (флотационная минералогия) номенклатуры технологических методов переработки минерального сырья.

Теория химического обогащения открывает рациональные пути переработки упорных руд, которые невозможно обогатить по комбинированным схемам с металлургической доводкой промышленных продуктов. Прямая же металлургическая переработка их экономически невыгодна. Химическое обогащение предполагает поиск малоэнергоёмких способов селективного вскрытия минералов, содержащих полезные компоненты. В этом случае становится возможным концентрирование и разделение полезных компонентов производить на ионно-молекулярном уровне и осуществить направленный синтез техногенных минералов с заданными свойствами. Из обширного арсенала пиро-, гидро- и биометаллургических процессов для химического обогащения происходит отбор тех из них, которые технологически сочетаются с обогатительными процессами и экономически оправданы технологией рудоподготовки и последующей переработкой.

ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ (a.beneficiation, cleaning, concentration, dressing, enrichment, preparation, separation) совокупность процессов и методов концентрации минералов при первичной переработке твердых полезных ископаемых. О.п.и. - важнейшее промежуточное звено между добычей п.и. и их использованием.

В России зарождение О.п. и. связано с выделением золота из руд. В 1760 на р.Исети построена первая обогатительная фабрика для извлечения золота. В 1763 М.В.Ломоносовым в труде "Первые основания металлургии или рудных дел" дано описание обогатительных процессов. Его современники И.И.Ползунов, К.Д.Фролов построили несколько механизированных (с приводом от водяных колес) обогатительных фабрик, оборудованных машинами для промывки руд. В 19 в. возникли магнитное и электростатическое О.п.и., а затем флотация.

В зависимости от минерального состава и содержания полезных минералов, размеров вкраплений определяется **ОБОГАТИМОСТЬ** п.и. и выбирается схема О.п.и., которая состоит из ряда последовательных процессов. Самая общая схема О.п.и. включает "разъединение" минералов, т.е. высвобождение их из сростков, что достигается **ДРОБЛЕНИЕМ** и **ИЗМЕЛЬЧЕНИЕМ** п.и. и "разделение" минералов собственно процессами обогащения. Обычно вначале проводится **РУДОПОДГОТОВКА**, которая состоит из дробления, **ГРОХОЧЕНИЯ**, а также усреднения материала. Дробление проводится в несколько стадий, между которыми можно выделять готовый продукт. Дробленный продукт может подвергаться предварительному **ОБОГАЩЕНИЮ В ТЯЖЕЛЫХ СРЕДАХ** или методами радиометрической сортировки для удаления разубоживающих пород. Измельчение проводится для раскрытия руды, после которого минералы концентрируются гравитацией, магнитным обогащением или флотацией. **МЕЛЬНИЦЫ** работают в цикле с **КЛАССИФИКАТОРОМ** для выделения продуктов нужной крупности.

К О.п.и. относятся различные методы разделения минералов по физическим свойствам: прочности, форме, плотности, магнитной восприимчивости, электропроводности, смачиваемости, адсорбционной способности, поверхностной активности, но без изменения их агрегативности, но без изменения их агрегатно-фазового состояния, химического состава, кристалло-химической структуры.

При разной плотности разделяемых минералов применяются многообразные методы ГРАВИТАЦИОННОГО ОБОГАЩЕНИЯ, использующие различие в скорости движения частиц в водной или воздушной среде под действием гравитационных или центробежных сил. К этим методам относятся: ОТСАДКА, обогащение в тяжелых средах, концентрация на столах (см. КОНЦЕНТРАЦИОННЫЙ СТОЛ), обогащение на шлюзах. Различие в физико-химических свойствах поверхностей разделяемых минералов лежит в основе ФЛОТАЦИИ. Если минералы обладают различной магнитной восприимчивостью, то их разделяют МАГНИТНОЙ СЕПАРАЦИЕЙ. При различии в электрических свойствах (электрической проводимости, диэлектрической проницаемости заряжаться при трении) минералы разделяют ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕПАРАЦИЕЙ.

Различие зерен минералов по крупности, форме, хрупкости и коэффициент трения позволяет разделить их по этим признакам. Наиболее распространены гравитационные, флотационные и магнитные методы. При наличии в п.и. загрязняющих примесей (главным образом глинистых) в схему обогащения включают ПРОМЫВКУ. Разделение минералов может осуществляться по нескольким свойствам путем применения различных комбинаций процессов в одном аппарате (комбинированный процесс) или в ряде последовательно расположенных аппаратов (комбинированная технологическая схема). Комбинированные обогатительные схемы включают обычно в качестве первичного процесса гравитационные, а затем магнитные или флотационные. Такие схемы типичны для смешанных железных (гравитационно-магнитная), марганцевых (гравитационно-флотационная) и редкометалльных руд (гравитационно-магнитная).

К наиболее распространенным комбинированным обогатительным процессам относятся флотогравитационные: флотация на концентрационных столах (отделение крупных сульфидов от касситерита), флотоотсадка (обогащение редкометалльных руд). Известны также магнитогидродинамическая и магнитогидростатическая сепарация, классификация в магнитном поле, флотация в магнитном поле.

Если обогатительными методами или их комбинацией не удастся получить кондиционных концентратов, применяется комбинация с различными видами ДОВОДОК. Гидрометаллургическая доводка проводится выщелачиванием вредных компонентов из концентратов, например фосфора или кремнезема из железных, марганцевых, вольфрамовых компонентов возможно также термической обработкой. Например, ОБЖИГОМ карбонатитовых руд можно существенно повысить концентрацию полезных компонентов за счет удаления СО₂. Обжиг позволяет изменить магнитные свойства минералов (магнетизирующий обжиг окисленных железных руд) для последующей магнитной сепарации. Известны примеры применения обжига для изменения флотиремости минералов (фосфориты). Специфическая схема, включающая пирометаллургию и флотацию, используется при переработке медно-никелевых руд: они плавятся на медно-никелевый файнштейн, состоящий из искусственных сульфидных минералов, который затем измельчается и разделяется флотацией на медный и никелевый продукты. Другой оригинальной схемой переработки медно-никелевых руд является коллективно-селективная флотация с получением никельпирротитовых концентратов, которые подвергаются автоклавно-окислительному выщелачиванию с последующей флотацией серы и сульфидов.

К комбинированным обогатительно-гидрометаллургическим процессам относятся ионная флотация, электрофлотация, процесс Мостовича. В результате О.п.и. получают один или несколько концентратов и отходы - хвосты. Полученные в результате применения мокрых методов О.п.и. концентраты подвергаются ОБЕЗВОЖИВАНИЮ. Крупнозернистые продукты обычно обезвоживают на грохотах и дренированием с последующей сушкой. Мелкозернистые продукты

обычно обезвоживают на грохотах и дренированием с последующей сушкой. Мелкозернистые продукты вначале сгущают (см. СГУЩЕНИЕ), затем фильтруют и сушат.

О.п.и. позволяет существенно увеличить концентрацию ценных компонентов. Содержание тяжелых цветных металлов меди, свинца, цинка в рудах составляет 0,3-2%, а получаемых концентратов 20-70%. Концентрация молибдена увеличивается от 0,1-0,05% до 47-50%, вольфрама - от 0,1-0,2 до 45-65%, зольность угля снижается от 20-35 до 8-15%. В задачу О.п.и. входит также удаление вредных примесей минералов (мышьяк, сера, кремний и др.). ИЗВЛЕЧЕНИЕ ценных компонентов в концентрат в процессах О.п.и. от 60 до 95%.

Главные направления развития О.п.и.: совершенствование отдельных процессов обогащения и применение комбинированных схем с целью максимального повышения качества концентратов и извлечения полезных компонентов из руд; увеличение производительности отдельных предприятий путем интенсификации процессов и укрупнения оборудования; повышение компонентов и утилизацией отходов (чаще всего для производства строительных материалов); автоматизация производства. Одна из важных задач - сведение к минимуму загрязнения окружающей среды.

Поскольку все виды твердых полезных ископаемых подвергаются обогащению, наиболее существенной характеристикой является **ОБОГАТИМОСТЬ** полезных ископаемых (a.washability) технологическая оценка возможностей степени извлечения и концентрации минеральных компонентов. Зависит от минерального состава, текстуры и структуры п.и. (характера сростаний минералов, габитуса минеральных выделений). О. - обязательная характеристика месторождения п.и. при оценке запасов, разработке технологических схем, проектировании обогатительной фабрики, выборе флотационных реагентов и т.д.

Исследование О. проводят на материале, полученном в результате опробования месторождения п.и. Вещественный состав пробы изучают минералого-петрографическим, гранулометрическим, фазовым и химическим анализами. По результатам фракционного анализа строят графическую зависимость О. в координатах: выход продукта обогащения - содержание и извлечение компонента. Определение О. включает исследование свойств минералов (механических, электрических, магнитных, полупроводниковых, адсорбционных, химических и других) спектроскопическими, ядерно-магнитными и прочими методами. С учетом петрографического состава и механических свойств выбирают схему рудоподготовки, включающую процессы дробления, грохочения, измельчения и классификации для вскрытия (высвобождения) зерен извлекаемых минералов при возможно большей крупности частиц. К рудоподготовке относятся также обжиг (магнетизирующий, окислительный и т.п.), гранулирование (перед выщелачиваем). Методы и схему обогащения выбирают путем сопоставления физических и химических свойств минералов с учетом крупности выделенных зерен.

В зависимости от распределения размеров вкраплений извлекаемых минералов схему обогащения разделяют на стадии с включением рудоподготовительных операций извлекаемых минералов вкраплений извлекаемых минералов схему обогащения разделяют на стадии с включением рудоподготовительных операций между ними. Цель первой стадии - выделение максимального количества готового вскрытого полезного минерала или пустой породы при минимальной степени измельчения. Эта стадия обусловлена содержанием в добытой горной массе сплошных оруденений или значительного количества породы, практически не содержащей ценных минералов. На первой стадии применяют гравитационные методы обогащения (**ОБОГАЩЕНИЕ В ТЯЖЕЛЫХ СРЕДАХ, ОТСАДКУ** и др.), сухую **МАГНИТНУЮ СЕПАРАЦИЮ**, коллективную **ФЛОТАЦИЮ**. Цель второй стадии - максимальное извлечение всех ценных компонентов в черновые или коллективные концентраты. Для этого применяют флотацию, а также отсадку, концентрацию на столах, электросепарацию, мокрую магнитную сепарацию. Для некоторых руд (урановых, золотых, медных и др.) второй стадией являются

выщелачивание, цианирование, сорбция и т.п. В случае использования подземного или КУЧНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ руд обогатимость оценивается при дроблении руды на месте ее залегания.

Получаемые в результате основного обогатительного процесса черновые концентраты (коллективные или моноконцентраты) подвергают ДОВОДКЕ или селекции. При этом применяют либо многократно повторенные те же операции (например, перечистные флотации), либо химико-гидрометаллургические процессы (при коллоидно-дисперсной, изоморфной вкрапленности и т.п.). Доводка завершается операциями обезвреживания готовой продукции. Из концентратов получают металлические продукты (например, золото, медь).

В результате исследования О. разрабатывается технологическая схема, включающая комбинацию различных методов и процессов обогащения, а иногда и металлургии, приводящую к наиболее эффективному разделению компонентов по их свойствам (различию в плотности, магнитной восприимчивости, электрической проводимости, адсорбционной способности, смачиваемости, растворимости и т.д.) лежит создание градиента концентрации частиц минералов, ионов или молекул в жидкой или газовой фазе, а также на границах раздела фаз с помощью различных силовых полей и воздействий (магнитных, электрических, гравитационных, адсорбционных и т.п.). О. в отдельном разделительном процессе зависит от аппаратного оформления. Для оценки интенсивности разделения строят шкалы О. минералов. Испытание О. на различных обогатительных аппаратах и установках завершают обогащением пробы по выбранной схеме с технико-экономической оценкой О. При этом сравниваются такие параметры О., как извлечение, качество получаемых продуктов и их выход, а также себестоимость переработки п.и. по выбранной схеме. В зависимости от сочетания этих показателей формируются критерии О. - технологические, кинетические, термодинамические, статистические и экономические, позволяющие оценить О. на различных стадиях обогащения с целью их оптимизации. Исследования на О. проводят в промышленных, полупромышленных и лабораторных условиях, используя методы статистического планирования и обработки результатов по соответствующим критериям [].

Наибольшая экономическая эффективность при освоении месторождений полезных ископаемых достигается при КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ минерального сырья (a.comprehensive mineral processing) - разделение п.и. на конечные продукты с извлечением всех содержащихся в исходном сырье ценных компонентов, производство которых технически возможно и экономически целесообразно. К.п. основана на генетических особенностях месторождений п.и., которые всегда содержат несколько, иногда десятки ценных компонентов, в особенности месторождений цветных металлов.

Выделяют четыре уровня К.п. твердого минерального сырья:

выделение из сырья методами обогащения одного концентрата, содержащего один 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 вольфрам-молибденовых руд, баритового, флюоритового, полевошпатного из руд цветных металлов);

выделение элементов-спутников, не образующих самостоятельных минералов (редких и рассеянных элементов), из концентратов обогащения химико-металлургическими методами или КОМБИНИРОВАННОЙ ПЕРЕРАБОТКОЙ п.и. (таким образом, например, получают Se и Te из сульфидов; теллур, галлий из глинозема; 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 др. попутной продукции (например, щебня, песка, гравия из хвостов обогатительных фабрик; шлаковаты, фосфорных удобрений из доменных шлаков; серной кислоты из газов цветной металлургии).

При К.п. необходим детальный анализ вещественного состава п.и., 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 условиями: наличием производственных мощностей, потребностью в данном виде продукции, возможностью транспортировки, наличием средств для строительства установок и технологических узлов, себестоимостью производства и т.д.

К.п. - важнейший принцип всех минерально-сырьевых отраслей промышленности. В цветной металлургии СССР К.п. позволяла 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 выпускались 30 видов концентратов, являющихся попутной продукцией.

1.4 Mineral Losses, Wastes and Second Resources.

При обычных технологиях разработки и переработки полезных ископаемых неизбежно образуются потери, составляющие значительную долю запасов месторождения.

ПОТЕРИ полезного ископаемого (a.mineral losses) - часть балансовых запасов твердых полезных ископаемых, не извлеченная при разработке месторождения или утраченная в процессе добычи и переработки. П. при добыче - относительная величина, характеризующая недоизвлечение балансовых запасов в процессе разработки месторождений. Причины допускаемых П. разнообразны: недостаточно полное и качественное проведение геолого-разведочных работ, ведущее к неточному определению геологических характеристик, несоответствие запроектированных методов и параметров добычи п.и. условиям разработки месторождений, несвоевременная или неполная подготовка запасов к добыче, нерациональная выборочная выемка участков, несоответствие применяемых машин и механизмов для выемки п.и. горно-геологическим условиям эксплуатации, отсутствие научно обоснованных нормативов П., достоверных методов их учета и контроля и пр. Различают П. общешахтные (общерудничные, общекарьерные, общеприисковые) и эксплуатационные. Количество П. исчисляется в единицах массы или объема и в процентах: общешахтных - от общих балансовых запасов шахты (рудника, прииска), эксплуатационных - по отношению к погашаемым балансовым запасам. В многокомпонентных рудах П. учитываются по всем полезным компонентам, имеющим промышленное значение. П. определяются замерами в натуре или по маркшейдерским планам и разрезам при достоверном оконтуривании и опробовании залежей или очистных участков. При невозможности применения прямых методов используются косвенные: сопоставление количества п.и. в погашенных балансовых запасах и добытой рудной массы.

Коэффициент извлечения п.и. выражает отношение количества добытого п.и. вместе с примешанной к нему породой к количеству погашенных балансовых запасов. Величина эта изменяется от 0,4 до 1,2 и более; при разработке тонких жил системами с валовой выемкой - до 3 и более. Коэффициент извлечения полезного компонента из недр выражает отношение количества полезного компонента, извлеченного из недр, к количеству полезного компонента, которое было заключено в подсчитанных балансовых запасах.

В горнодобывающей промышленности П. балансовых запасов колеблются от 2-3 до 40-50% и даже более в зависимости от применяемых способов и систем разработки, ценности сырья, горно-геологических и иных условий эксплуатации месторождений твердых п.и. Наименьшие П. присущи открытому способу разработки (3-6%). При поземной добыче эксплуатации П. составляют в среднем 12-18%.

В СССР действовала классификация П. при разработке месторождений (таблица 1), которая позволяла выявить П. по стадиям производственного процесса, способам и системам разработки, по отдельным выемочным участкам месторождения.

Таблица 1

Класс	Группа	Вид потерь полезного ископаемого
I Общешахтные (общерудничные, общекарьерные, общеприисковые) потери		Под объектами горн.произ-ва(около капитальных выработок по границам горн.отвода, шахтного поля, под гонотехн.сооружениями).Под объектами,не связанными с горн.произ-ом(под водоемами,природными объектами,коммуникациями и пр.)
II Эксплуатационные потери	А.Потери полезного ископаемого в массиве	В недоработанной части целиков, у подготовительных выработок(междублоковые,междуэтажные, междупанельные целики). В целиках внутри выемочного участка(блока,камеры,панели,лавы,столба,карьерного поля,дражного полигона).В лежащем,висячем боках(в почве,в кровле),поверхней и нижней границам контуров рудного тела, пласта, залежи. В местах выклинивания и на флангах пласта,залежи,рудного тела. Между выемочными слоями. В подработанных участках месторождения В целиках у геол. нарушений.В целиках затопленных,заваленных газоопасных участков. Б.Потери в подготовительных и очистных забоях при совмещенной выемке и смешивании с вмещающими породами. Оставленного в выработанном пространстве: на отбитом лежащем боку (почве), на уступах; от смешивания с обрушенными породами при выпуске;в закладке;в местах погрузки,разгрузки,складирования и сортировки, на транспортных путях горн.предприятия.

Таблица 2.

Классификация потерь полезных ископаемых при обогащении руд.

Вид потерь полезных ископаемых	Причина потерь полезных ископаемых	Возможные пути снижения потерь полезных ископаемых
I.Потери,зависящие от качества поступающей на фабрику руды.		
1.Потери,связанные с природным составом руды	Недостаточное различие физико-химических свойств разделяемых минералов	Совершенствование существующих и разработка новых методов обогащения
	Тонкая вкрапленность частиц полезного минерала	Совершенствование подготовки и обогащения

нерала

Наличие в руде трудно- Разработке специальных ме-
извлекаемых минералов тодов извлечения трудно-
обогатимых минералов

Наличие в руде сопут- Предварительная промывка
ствующих минералов и руды, обесшламливание, обо-
растворимых солей,сни- гащение в тяжелых средах
жающих обогатимость
полезного компонента

2.Потери,связанные Разубоживание руды Уменьшение разубоживания
с системой разра- вмещающими породами при добыче или предвари-
ботки месторожде- при добыче тельное обогащение в тяже-
ния, организацией лых средах

горн.работ и со -----
способом добычи Попадание в руду мате- Изменение системы разработ-
алов из закладки выра- ки,промывка или предвари-
ботанного пространства тельное обогащение в тяже-
(бетон,глина и др.) лых средах

Окисление руды в про- Уменьшение продолжительнос-
цессе добычи ти пребывания отбитой руды
в магазинах,рудоспусках и
отвалах

II. Технологические

потери

1.Потери,связанные Несовершенство приня- Проведение технологических
с принятой техноло- того режима обогащения исследований по оптимизации
гией или его несоответствие режима обогащения на фабри-
отдельным типам пере- ке
рабатываемой руды

Несоответствие техно- Разработке комплекс-
логической схемы зада- ного обогащения
че комплексного обога-
щения

Необоснованно высокие Расчет экономически обосно-
требования к качеству ванной кондиции на концен-
концентрата трат с учетом последующего
металлургического предела

Циркуляция и накопле- Совершенствование схемы
ние в процессе пром- обогащения раздельная пере-
продуктов,снижающих работка промпродуктов
показатели обогащения
руды

 Неоптимальная компо- Оптимальное проектирование
 новка схемы цепи обо- обогатительных каскадов,со-
 гатительных аппаратов вершенствование оборудования

Обводненность промпро- Применение флокулянтов, со-
 дуктов и концентратов вершенствование процесса
 обезвоживания

2.Потери,связанные Переизмельчение руды Оптимизация процесса из-
 с нарушением приня- мельчения по качеству вы-
 той технологии пускаемого продукта

Механические потери Строгий учет и снижение ме-
 (переливы, пływучки, ханических потерь, поддержа-
 смывы,пылеобразование) ние чистоты на фабрике

Неудовлетворительное Улучшение состояния ремонт-
 состояние оборудования ных баз, обеспечение запас-
 ными деталями и резервным
 оборудованием

III.Потери,завися-
 щие от организации
 и управления пред-
 приятием

1.Потери,не связан- Внеплановые остановки Устранение причин переры-
 ные с процессом процесса вследствие вов,обеспечение бункера за-
 обогащения перебоев в обеспечении пасом руды
 рудой,водой,электроэ-
 нергией и др.

Резкие колебания сос- Усреднение руды после добы-
 тава руды по содержа- чи или добыча руды по гра-
 нию и соотношению ком- фику с различных участков
 понентов месторождения, обеспечиваю-
 щему усреднение руды в про-
 цессе добычи

Сушка и транспортиров- Совершенствование учета и
 ка контроля руды и продуктов
 обогащения,транспортных
 средств

2.Потери в процес- Неоптимальный режим Создание системы автоматизи-
 се обогащения ческого контроля и управле-
 ния процессом в зависимости
 от качества исходной руды

Аварийные остановки Предотвращение аварий

процесса

Потери при обогащении - относительная величина, характеризующая недоизвлечение ценного компонента в конечный продукт обогащения. Потери ценного компонента рассчитывают как разность $(100 - \eta)\%$, где η - извлечение ценного компонента в концентрат. Величина потерь минералов, не извлекаемых в процессе обогащения, от 5 до 50%. Наиболее существенны потери сопутствующих компонентов от некомплексной переработки. Величина П. неизвлекаемых компонентов может достигать 100%. Отсутствие промышленных процессов извлечения полезных компонентов из бедных сростков и пульпы с находящимися в не растворенном виде металлами является причиной значительных потерь цветных, редких и драгоценных металлов при обогащении руд.

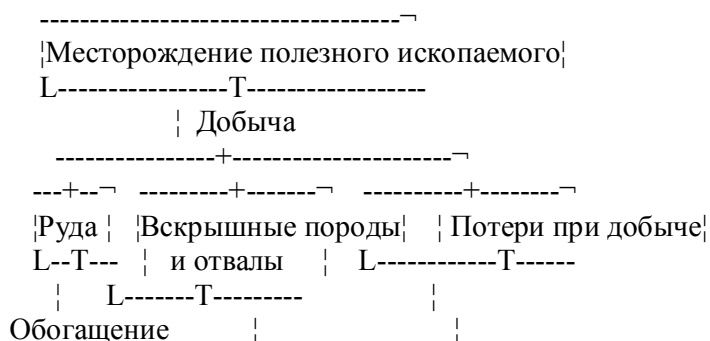
Различают технологические и механические П., которые рассчитывают при технологическом и товарном балансах. Величина П. зависит от состава, строения и свойств п.и. и применяемого метода обогащения (таблица 2). Однако основные П. обусловлены минералогическим составом и физико-химическими свойствами п.и. В первую очередь к ним относятся потери с тонкими и крупными классами обогащаемой руды. Значительные П. наблюдаются при присутствии п.и. несколько минералов одного компонента. Обогащение таких п.и. всегда сопровождается повышенными потерями, т.к. разные минералы требуют разницу методов извлечения, они могут извлекаться одним методом, но с различной эффективностью. Применение же комбинированных схем экономически оправдано тогда, когда доля тех или иных минералов извлекаемого компонента значительна.

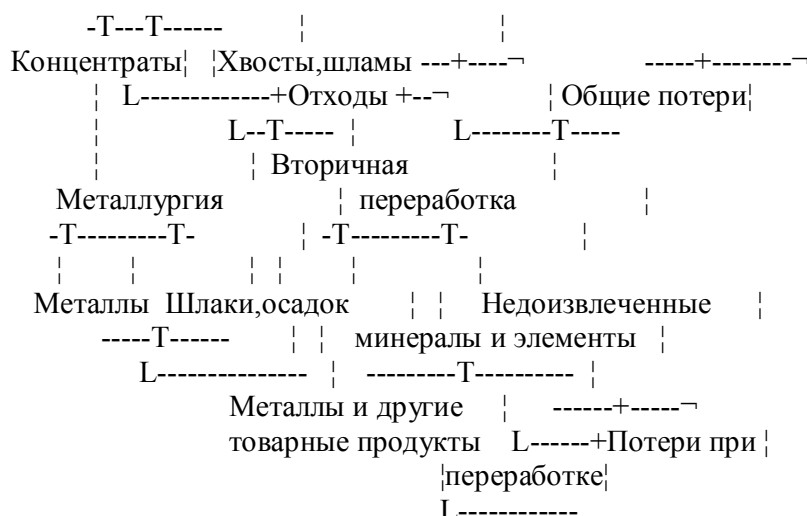
Недоизвлечение полезных компонентов может быть связано с недостаточным уровнем технологической и производственной дисциплины, колебаниями состава, недостатком и низким качеством оборудования.

Заметим, что понятия потерь ценного компонента при добыче (в недрах) и переработке полезного ископаемого (в отходах) имеют разное смысловое значение. Потери при добыче не образуют отходов (кроме вскрышных пород, не содержащих ценных компонентов), в то время как потери при переработке связаны с отходами (рис.2.1) [10].

Классификация потерь при добыче основывается на использовании в качестве основных классификационных признаков причины и места образования потерь. В процессах переработки полезных ископаемых и, в частности, обогащения, образующих сложную систему взаимосвязанных и взаимовлияющих технологических процессов, строго выделить место образования потерь невозможно. Например, операции рудоподготовки (дробления, измельчения, классификации) принципиально не подлежат оценке с точки зрения потерь (прямые механические потери в виде просыпей, смылов и т.д. из рассмотрения в данном случае исключаются).

Концентрат определенной стадии обогащения, например флотационной или гравитационной, являющийся промпродуктом, характеризует потери (через извлечение) не полностью, так как весь он или часть его поступает в виде циркулирующих потоков в измельчение и другие процессы, изменяя тем самым состояние всех технологических процессов.





При рассмотрении взаимосвязанных звеньев технологической цепи: добыча (разработка месторождения) - обогащение - металлургический предел возможна лишь классификация потерь и отходов по переделам. Оценка суммарных потерь является их аддитивной функцией по рассматриваемым подсистемам. Однако оценка потерь, отражающая специфические особенности каждой подсистемы, не позволяют рассматривать такой критерий как интегральный.

Таким образом мы подходим к рассмотрению понятия ОТХОДОВ как неиспользуемых остатков сырья, продуктов или полуфабрикатов, образующихся в результате производства (отходы производства) или потребления (отходы потребления), не имеющие в данном виде потребительских свойств.

ОТХОДЫ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА (a.mining wastes) неиспользуемые продукты добычи и переработки минерального сырья, выделяемые из массы добытого полезного ископаемого (горной массы) в процессах разработки месторождения, обогащения и химико-металлургической переработки. Классификация О.г.п. производится по фазовому составу и производственным циклам (таблица 1). Относительный выход отходов зависит от производственного цикла, характера сырья, содержания извлекаемых компонентов в исходном продукте.

Отходы всегда сопровождали горнодобывающее и горноперерабатывающее производство, однако почти до середины 20 в. О.г.п. не рассматривались как особая проблема. С ростом добычи п.и. количество отходов стало быстро расти, причем значительно быстрее, чем выход продукции, т.к. одновременно уменьшалось содержание полезных компонентов в рудах, увеличивалась зольность углей, усложнялись условия разработки месторождений и соответственно увеличивался выход отвальных и вскрышных пород. Общее количество добываемого в мире минерального сырья оценивается приблизительно в 100 млрд.т в год и растет с периодом удвоения 10-12 лет. Из этого количества используется не более 30-40% (включая строительные материалы и горючие п.и.).

Проблема О.г.п. рассматривается в двух аспектах.

С экологической точки зрения наибольшую тревогу вызывают газовые отходы, например сернистый газ и др. соединения серы, оксиды углерода и азота, составляющие в сумме св.1 млрд.т в год. Выброс пылей, содержащих соединения металлов, в десятки раз превышает выбросы природных источников (вулканы, лесные пожары, пыли, переносимые ветром, и т.п.). Потребление и загрязнение воды горнодобывающими отраслями составляет около 10м³ на 1т добытого п.и. В среднем под породные отвалы отводится 0,1 га площади земли на каждые 1000т сырья, и они занимают сотни млн.га, чаще всего неудобной, а в ряде случаев вполне плодородной

земли. Рекреационная способность природы уже не справляется с возрастающим количеством О.г.п., что приводит к необратимым загрязнениям среды обитания.

Таблица 1.

Виды отходов в горно-металлургическом цикле.						
-----T-----T-----T-----						
	Добыча		Обогащение		Металлургический	
Фазовая					предел	
характеристика	-----T-----T-----T-----					
отходов	открытая	подземная	гравитационное,	магнитное,	флотационное,	гидрометаллургическое,
		нитное, электрическое	ное	таллургия	лургия	
-----+-----+-----+-----+-----+-----						
Твердые породы	Вскрышные породы	Шахтная порода	Хвосты	Хвосты	Осадки	Шлаки
Жидкие (растворы и суспензии)	-	Шахтные воды	Промывочная вода, шламы	Шламы, жидкая фаза пульпы	Солевые растворы	Охлаждающая вода
Пылегазовые	Пыли	Метан при добыче угля; вентиляционный воздух	-	Отсосы пыли	Пары	Газы,

С другой стороны, О.г.п. имеют определенный ресурсный потенциал, образуя ТЕХНОГЕННЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ. Извлечение золота, урана, редких металлов из старых отвалов ведется с начала 60-х гг. Отвалы служат источником дополнительного производства меди, угля и т.д. Например, из нефелиновых хвостов флотации апатита получают алюминий, галлий, поташ, соду, цемент. Прогнозируется использование 30-40% твердых О.г.п. в качестве стройматериалов, 20-30% для закладки выработанного пространства в шахтах и карьерах. Бактериальное выщелачивание позволит доизвлекать из хвостов обогащения тяжелые цветные металлы. Возможно использование окисленных железистых кварцитов, накопленных в отвалах железорудных месторождений и хвостах магнитного обогащения. Разрабатываются комбинированные схемы обогащения шлаков, шламов, кеков и других отходов металлургии. Сорбционная и ионообменная технологии позволяют извлекать цветные металлы, соли, галоиды из стоков, пульп, шахтных вод и т.п. Из газовых отходов цветной металлургии в СССР получают свыше 30% серной кислоты.

Переработка О.г.п., как правило, связана с потребностями смежных отраслей в сырье. Технологические исследования по утилизации отходов показали возможность комплексной переработки многих п.и. с полным или частичным переходом на производство различных видов продукции из отходов (таблица 2).

Экономический аспект проблемы О.г.п. требует сопоставления экономических оценок ущерба от выброса отходов и доходов от их утилизации. Складирование твердых О.г.п. в качестве потенциального минерально-сырьевого ресурса связано с затратами на принятие определенных мер защиты от их выветривания, окисления (в т.ч. бактериального), вымывания, а также с занятием земли, в некоторых случаях плодородной. Создание установок для переработки О.г.п. также требует значительных капиталовложений.

Решение проблемы О.г.п. связывают с организацией МАЛООТХОДНОЙ и БЕЗОТХОДНОЙ технологий.

Европейской экономической комиссией (ЕЭК) ООН в «Декларации о малоотходных и безотходных технологиях и использовании отходов, принятой на Европейском совещании о сотрудничестве в области охраны окружающей среды (Женева, ноябрь 1979 г.) безотходная технология определяется как практическое применение знаний, методов и средств с тем чтобы в рамках потребности человека добиться обеспечения рационального использования природных ресурсов и энергии и охраны окружающей среды. Это определение является слишком широким и в сущности включает в себя все виды исследований, разработок и внедрений, направленных на рациональное использование природных ресурсов, на охрану и воспроизводство окружающей среды.

Понятие безотходной технологии^{*)} получило более целенаправленное толкование. Под безотходной технологической системой понимается такое отдельное производство или совокупность производств, в результате практической деятельности которых не происходит отрицательного воздействия на окружающую среду. Безотходная технологическая система представляет собой сочетание, организационно-технических мероприятий, технологических процессов и способов подготовки сырья и материалов, обеспечивающих максимальное и комплексное использование сырья и энергии и позволяющих исключить или свести до экологически безвредного минимума отрицательное воздействие на окружающую среду.

Концепция безотходной технологии в некоторой степени условна. Под безотходной технологией понимается идеальная модель производства, которая в большинстве случаев не может быть реализована в полной мере (малоотходная технология), но с развитием технического прогресса все больше приближается к идеальной. Концепция безотходного производства подвергается критике в связи с тем, что ни практически, ни даже теоретически его создать невозможно. Ссылаясь на второй закон термодинамики, утверждают, что как энергию нельзя полностью перевести в работу, так и сырье невозможно целиком переработать в продукты производства и потребления. С этим нельзя согласиться, поскольку для сохранения окружающей среды все продукты должны быть экологически безвредны. Примерами служат безотходно функционирующие природные экосистемы [121].

Полное использование твердых отходов иногда называют безотходной технологией. Составной частью или разновидностью безотходной технологии является и, так называемая бессточная технология, т. е. не имеющая жидких отходов. Основными направлениями создания бессточной технологии являются: использование безводных технологических процессов и процессов с минимальным водопотреблением; выбор комплекса производства, обеспечивающего последовательное многократное использование воды; максимальное развитие водооборотных систем; локальная очистка сточных вод с утилизацией ценных компонентов: совершенствование существующих и разработка новых, главным образом, безреагентных методов очистки сточных вод; замена водяного охлаждения воздушным, вывод отходов технологического процесса преимущественно твердой фазы или высококонцентрированных растворов в целях их утилизации или захоронения.

^{*)}русской и зарубежной терминологии неоднозначно толкование слова технология. В английском языке это слово имеет смысл: прикладное знание, технические средства, в которых материализованы прикладные знания. В русской инженерной традиции слово технология означает производственные процессы, способы практической реализации известных возможностей, что часто равнозначно термину *технологический процесс*.

Объектом системных исследований по безотходной технологии могут быть следующие системы

- производственный процесс или производственные предприятия;
- группа производств, которые могут относиться к одной или нескольким отраслям, к одной или нескольким территориальным единицам;

- территориально-производственные сочетания, в том числе территориально-производственные комплексы,
- государство в целом;
- группы государств или приграничные территории двух или нескольких государств.

При этом следует охватить все природные ресурсы воспроизводимого или невоспроизводимого характера и все отрицательные воздействия на компоненты окружающей среды (36).

Идея создания безотходной технологии возникла по образцу существующей в природе взаимосвязи процессов, при которой продукты жизнедеятельности одних организмов поглощаются другими и таким образом, в результате кругооборота в природе не происходит никакого избыточного накопления веществ. Безотходная технология—наиболее перспективное современное направление проектирования технологических схем, в том числе переработки минерального сырья, позволяющее решать проблемы более полного комплексного использования ресурсов полезных ископаемых и защиты окружающей среды от загрязнения. Безотходная технология предполагает максимальное извлечение всех ценных компонентов при минимальном выделении или полном отсутствии отходов в твердом, жидком или газообразном виде. Предполагается на основе межотраслевой кооперации получение из добытой руды, кроме основного компонента, сопутствующих цветных и черных металлов, стройматериалов, продуктов основной химии, удобрений, а также использование отвальной породы для закладки выработанного пространства шахт, производства щебня, материала для дорожных покрытий, строительства ирригационных и гидротехнических сооружений, выравнивания ландшафта.

Рассчитанный баланс горной массы показывает, что годовое накопление горных отвалов примерно соответствует добываемому объему нерудных стройматериалов (песок, известь, щебень и т. д.). Однако полная замена здесь невозможна и экономически нерациональна по условиям транспортировки, вещественного состава и т. д. Возможна лишь частичная замена, хотя и в значительно большей мере, чем это делается в настоящее время (всего 3-4%) [11].

Заметим, однако, что если безотходную технологию понимать в широком смысле, то масштабы производства отходов в районах добычи и переработки минерального сырья позволяют ставить вопрос о строительстве дешевых ирригационных сооружений путем намыва дамб, плотин, выравнивания ландшафта с последующим его сельскохозяйственным или энергетическим использованием. В этом смысле безотходная технология направлена на сохранение сельскохозяйственных угодий и повышение урожайности в результате снижения экологически вредных выбросов.

Принципиальная осуществимость безотходной технологии зависит от масштаба рассматриваемой системы. Так, вряд ли все поступившее сырье можно использовать на производство полезной продукции в пределах одного предприятия: завода, обогатительной фабрики. Крупный комбинат, выпускающий многономенклатурную продукцию, более пригоден для реализации идеи безотходности. В значительной степени эта идея может быть реализована в пределах региона или государства.

МАЛООТХОДНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ (a.low-waste technology) направление комплексного использования полезных ископаемых и защиты окружающей среды от загрязнений, которое предполагает максимально возможное извлечение на предприятиях из сырья всех ценных компонентов при минимальном выделении отходов в твердом, жидком и газообразном виде. По сравнению с **БЕЗОТХОДНОЙ ТЕХНОЛОГИЕЙ**, обеспечивающей экологически безвредное производство с полной утилизацией или захоронением отходов, водооборотом, рекультивацией отвалов, М.т. лишь частично решает задачу комплексного использования сырья и предотвращения необратимых изменений в окружающей природной среде. М.т. подразумевает создание и внедрение на предприятиях процессов получения дополнительной продукции из отходов;

разработку водооборотных циклов на базе локальной очистки сточных вод; разработку процессов переработки отходов производства во вторичные материальные ресурсы.

Необходимость в создании М.т. возникла в середине 20 века в связи с катастрофически растущим загрязнением гидросферы, атмосферы и биосферы в результате накопления твердых, жидких и газообразных отходов. Масштабы загрязнения во многих районах делают невозможной их естественную нейтрализацию М.т. способствует расширению минерально-сырьевой базы, снижению капитальных и эксплуатационных затрат на производство продукции, повышению извлечения полезных компонентов из минерального сырья за счет комплексного использования.

Один из видов М.т. - бессточная система промышленного использования воды, при которой б.ч. ее находится в водооборотном цикле при небольшой подпитке свежей водой. Различают бессточные системы с полной утилизацией выделяемых компонентов, с частичной их утилизацией или без их утилизации (т.е. со складированием отходов). М.т. должны быть экологически чистыми, технически реально осуществимыми и экономически целесообразными.

Первый пример малоотходной технологии в СССР осуществлен на Волховском алюминиевом заводе (1960г.), перерабатывающем нефелиновый концентрат на глинозем, кальцинированную соду, поташ и цемент с извлечением геля.

Считается, что использование МАЛООТХОДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ может обеспечить при уменьшении объема добычи горной массы на 20-25% (главным образом в результате производства из отходов стройматериалов), снижении общей себестоимости продукции на 10-15%, оздоровлении экологической обстановки в районах горноперерабатывающих предприятий.

Как это следует из вышеприведенного рассмотрения в горно-металлургическом производстве весьма важную роль играют вопросы охраны окружающей природной среды (environment protection) и экологии. Подробно эти проблемы будут рассмотрены ниже. Здесь введем только некоторые.

Экологические понятия Загрязнение среды—степень вредного воздействия промышленного объекта на окружающую природную среду (как неживую, так и живую) с учетом социальных, гигиенических, экономических факторов.

Выброс— случайный или преднамеренный поток вещества и энергии, загрязняющий окружающую природную среду.

Установившееся загрязнение— регулярно повторяющийся или постоянно существующий поток вещества или энергии, загрязняющий окружающую среду.

Приведенный выброс—суммарный выброс всех загрязняющих веществ в окружающую среду с учетом различия о степени их вредности, определяемого по отношениям соответствующих предельно-допустимых концентраций (ПДК) или на основе специальных медико-биологических исследований.

Эколого-экономический ущерб—фактические или возможные последствия потерь каких-либо ресурсов в процессе производства и в результате отрицательных воздействий предприятия на окружающую природную среду, сельское, лесное и водное хозяйство, запасы полезных ископаемых в недрах.

Возможный ущерб— потери, возможные при загрязнении среды в отсутствии природоохранных мероприятий, выраженные в стоимостной форме. Возможный ущерб может проявляться в виде потерь трудовых, материальных, денежных ресурсов, возникающих при загрязнении территории водного воздушного бассейна.

Фактический ущерба-потери, выраженные в стоимостной форме и связанные с изменением установившегося равновесия состояния окружающей природной среды и социально-экономическими последствиями такого изменения.

Предотвращенный ущерб— разность между возможным и фактическим ущербом в определенный момент времени в данном регионе.

Глава 2 Геология и география распределения месторождений цветных металлов в бывшем СССР.

Общая территория суши бывшего СССР - 22403,2 тыс. км². На 1986 г. здесь проживало 250 млн. человек. Минеральные ресурсы цветных металлов распределены крайне неравномерно. Прибалтийские республики (Литва, Латвия, Эстония), а также Молдавия и Белоруссия практически не имеют месторождений цветных металлов. Невелики запасы в Туркмении. Это не означает, однако, что эти республики не представляют никакого интереса с точки зрения экспорта цветных металлов. Так, например, Эстония и Белоруссия одно время были своеобразными перевалочными базами экспорта цветных металлов. В начале 90-х годов Эстония (неофициально) занимала 2-ое место по объему экспорта цветных металлов (после России).

Основные черты геологического строения,

Значит. часть терр. *имеет* платформенное строение. На Ю. и В. платформенные терр. обрамляются покровно-складчатыми и сводово-глыбовыми горн. сооружениями, частично молодыми, кайнозойскими, частично более древними, от позднедокембрийских до мезозойских, возрожденными новейшими движениями.

Крайняя вост. периферия страны представляет собой область активной континентальной окраины Тихого ок. (совр. геосинклинали), сев. периферия — пассивную окраину Северного Ледовитого ок.

Древние платформы обладают раннедокембрийским, в значит. части архейским фундаментом. Это — ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКАЯ ПЛАТФОРМА (Русская) и СИБИРСКАЯ ПЛАТФОРМА. Последняя целиком находится на терр. СССР, первая — своей большей частью продолжаясь в пределы скандинавских стран, Польши и Румынии. Кроме того, в сев.-вост. части Беренцева м. (Земля Франца-Иосифа и прилегающая акватория) выделяется небольшая Северо-Беренцевская платформа, а в сев.-вост. части Новосибирского архипелага и прилегающей акватории — Гиперборейская платформа, также с докембрийским, но, возможно, несколько более молодым фундаментом.

Восточно-Европейская платформа занимает почти всю Европейскую терр. СССР, за исключением Тимана и Печорской низменности, зап. склона Урала, Карпат и крайнего Ю. Молдавии. Зап. граница платформы почти целиком, за исключением небольшого участка вдоль Предкарпатского прогиба, проходит за пределами терр. СССР, совпадая с т. н. Балто-Подольским линеamentом. Платформа ограничена разломами, по к-рым смежные складчатые системы разного возраста надвинуты на неё. На ряде участков на Ю.-В. и Ю. граница платформы скрыта под чехлом мезозойских и кайнозойских отложений, переходящих с древней платформы на молодую. Фундамент платформы обнажается на Балтийском и Украинском щитах и залегает выше нулевой изогипсы на Белорусском и Воронежском массивах; на последнем он вскрыт карьерами в р-не КМА и кое-где обнажается в долине р. Дон. На остальной площади фундамент вскрыт многочисл. буровыми скважинами. Осн. роль в его сложении принадлежит архейским образованиям (карта), среди к-рых встречаются реликты древнейших пород с возрастом до 3,9 млрд. лет (Кольский п-ов, Карелия, Воронежский массив, Украинский щит). Раннепротерозойские образования пользуются более ограниченным распространением, слагая либо протоплатформенный чехол (Карелия), либо выполняя протоавлакогены (Печенга — Имандра — Варзуга на Кольском п-ове) или протогeosинклинальные складчатые системы (Курско-Криворожская, Одесско-Каневская и Орехово-Павлоградская на Ю. платформы). Осадочный чехол Вост.-Европейской платформы слагает РУССКУЮ ПЛИТУ и включает верхневендские и фанерозойские отложения. В его основании расположены многочисл. рифтовые структуры — авлакогены, выполненные континентальными и мелко-водно-мор. обломочными и отчасти карбонатными отложениями рифей-нижнего венда, местами с участием основных вулканитов.

В составе чехла Русской плиты кембрийско-нижнедевонские мелко-водно-мор. отложения пользуются огранич. распространением, в осн. в пределах Балтийской, отчасти Московской синеклизы. Отложения среднего девона — низов триаса, напротив, распространены наиболее широко. Они выполняют Московскую синеклизу и

новообразованный в девоне Припятско-Днепровско-Донецкий авлакоген (с позднего визе — Украинская синеклиза) и перекрывают Волго-Уральскую антеклизу, представлявшую до этого сушу. Осадки ср. и верх. девона лагунно-морские, частично соленосные, в Припятско-Днепровско-Донецком авлакогене карбона и низов нижней перми — мелководно-морские карбонатные, верхов нижней и низов верхней перми — снова лагунно-морские, верхов верхней перми и низов триаса — красно-цветные континентальные. В ср. палеозое была сформирована субширотная полоса поднятий, включающая Белорусскую и Воронежскую антеклизы и отделившая Балтийскую и Московскую синеклизы от Припятско-Днепровско-Донецкого авлакогена и его вост. продолжения — Донецкого бассейна с его мощной угленосной толщей среднего карбона; последний превратился в складчатое сооружение — Донецкий кряж к середине ранней перми. Отложения мезозоя и кайнозоя развиты в осн. в юж. половине Русской плиты, в Украинской и Прикаспийской синеклизах, на Черноморском склоне Украинского щита и лишь отчасти в наиболее глубоких частях Балтийской и Московской синеклиз. Терригенные отложения верхнего триаса — нижнего мела, континентальные и мелководно-морские, сменяются карбонатными (мел, мергели) верхнего мела—нижнего палеогена и снова терригенными, мелководно-морскими и континентальными олигоцен — неогена и, наконец, ледниковыми (на С.) и перигляциальными (на Ю.) четвертичными. Своеобразную структуру представляет расположенная в юго-восточном углу Русской плиты Прикаспийская синеклиза. Фундамент в ее центральной части погружен до глубины св. 20 км, а консолидированная кора утонена, очевидно, вследствие деструкции и обнаруживает субокеанский тип строения. В девоне (а возможно и раньше) и до начала кунгурского века ранней перми Прикаспийская синеклиза представляла глубоководный бассейн, некомпенсированный осадконакоплением. В кунгуре она стала местом накопления мощной соленосной толщи, с присутствием которой связана характерная для нее **СОЛЯНАЯ ТЕКТОНИКА** в вышележащих мелководно-морских, частично континентальных отложениях верхней перми, мезозоя и кайнозоя.

На С.-В. к древней Вост.-Европейской платформе прилегает Тимано-Печорская плита; здесь раннедокембрийский фундамент надстроен рифейским складчатым комплексом, выступающим на поверхность на Тимане, полуострове Канин, о. Кильдин, п-овах Средний и Рыбачий и подстилающим чехол юж. части Баренцева м. и Печорской впадины. В строении чехла участвуют отложения начиная с ордовикских; гл. роль принадлежит осадкам девона — перми, они достигают наибольшей мощности в линейных прогибах — авлакогенах (Печоро-Колвинском и др.), в конце палеозоя преобразованных в валы сев.-сев.-зап. ориентировки. На С.-В., а районе Большеземельской тундры, древний (?) фундамент приближен к поверхности, нижние горизонты чехла приподняты, а верхние формируют пологую впадину.

Вторая крупная древняя платформа Сибирская занимает пространство между Енисеем и Ленкой, Таймыром и Прибайкальем. Её сев.-зап. и сев. границы скрыты под мезозойско-кайнозойским чехлом окраины **ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ ПЛИТЫ**, Енисей-Хатангского прогиба и м. Лаптевых; восточная проходит вдоль Предверхоянского прогиба, а южнее — хр. Сетте-Дабан; юж. граница — вдоль разлома, ограничивающего с Ю. Становое нагорье и далее в Прибайкалье (здесь её положение является спорным); юго-зап. граница протягивается вдоль Вост. Саяны и Енисейского кряжа. Фундамент этой платформы обнажается в **АЛДАНСКОМ ШИТЕ**, **АНАБАРСКОМ МАССИВЕ**, Оленёкском поднятии и на юго-зап. периферии платформы, в Шарыжалгайской глыбе и Прибайкалье. Сложен он в осн. породами архея; древнейшими из них считаются глубокометаморфизованные (гранулитовая фация) образования — основные и ультраосновные кристаллические сланцы, плагиогнейсы, чарнокиты. В раннем протерозое Становой пояс пережил интенсивную тектоно-термальную переработку, а на уже стабилизир. Алданском щите стал отлагаться протоплатформенный континентальный и мелководно-мор. осадочный чехол. В конце раннего протерозоя вдоль юж. окраины платформы возник Северо-Байкальский вулканоплутонич. пояс. Осадочный чехол на Сибирской платформе начал накапливаться в позднем венде, а в рифее и начале венда осадконакопление и трапповый магматизм сосредоточивались в авлакогенах. Венд-

кембрийский комплекс достигает наибольшей мощности в Ангаро-Ленской синеклизе, где содержит в своём составе мощную соленосную толщу ранне- и среднекембрийского возраста. Также широко распространены ордовикско-силурийский и девонско-нижнекаменноугольный преим. карбонатные комплексы. К девону относится вспышка базальтового и щелочно-базальтового вулканизма и плутонизма, включая образование трубок кимберлитов, а также формирование Вилуйского авлакогена, в котором известны и соли. В ср. карбоне на С.-З. началось прогибание обширной Тунгусской синеклизы; ее отделяет от более древней Ангаро-Ленской синеклизы и Предбайкальского прогиба Центральносибирская или Непско-Ботуобинская антеклиза сев.-вост. простирания. В среднем—позднем карбоне и ранней перми Тунгусская синеклиза заполнялась лимнич. угленосными отложениями, а в поздней перми — раннем и среднем триасе превратилась в арену мощного траппового магматизма, сменявшегося на её сев.-вост. окраине щелочно-ультраосновным. После среднего триаса б. ч. платформы стала областью размыва. Осадки мезозоя

накапливались на сев. и вост. периферии платформы, в Енисей-Хатангском, Лено-Анабарском и Предверхоанском прогибах и в Вилуйской синеклизе, наложенной на одноимённый палеозойский авлакоген и сливающейся на С,-В. с Предверхоанским прогибом. Кроме того, юрские угленосные отложения выполняют Чульманскую впадину на Алданском щите и Иркутский прогиб перед Вост. Саяном. Кайнозойские континентальные осадки пользуются на платформе незначительным распространением. Чехол в целом деформирован слабо, за исключением системы линейных складок сев.-вост. простирания, с участием кембрийской соли в Ангаро-Ленской синеклизе и в низовьях Ангары, пологих валов в Енисей-Хатангском прогибе и соляных куполов (девонская соль) там же и в Вилуйском авлакогене.

Вост.-Европейскую и Сибирскую платформы в рифее и палеозое разделил широкий подвижный Урало-Охотский, или Урало-Монгольский, геосинклинальный пояс меридионального простирания, который на Ю. плавно поворачивает к В., приобретая широтное простирание и отделяя здесь Сибирскую платформу от Китайско-Корейской. Его сев. сегмент наз. Урало-Сибирским, южный — Центральноазиатским; последний частично выходит за пределы СССР — в КНР и МНР. Пояс этот, как полагают, заложен на раннекембрийской континентальной коре, общей с корой смежных древних платформ, но подвергшейся интенсивной деструкции в течение рифея, особенно его второй половины. В результате к венду — раннему кембрию здесь возникли обширные бассейны с океанской корой, составляющие Палеоазиатский ок., в котором, однако, сохранились и многочисленные обломки континентальной коры (микроконтиненты) — Казахстано-Северо-Тянь-Шаньский, Джунгарский, Тувино-Монгольский и др., более мелкие, особенно по периферии океана. Расширение бассейнов с океанской корой продолжалось в осевой зоне пояса до девона в Урало-Сибирском сегменте, а в Центральноазиатском и позднее. Реликты коры этих бассейнов—многочисленные офиолитовые зоны Урало-Охотского пояса. В то же время на периферии начиная с позднего рифея происходили деформации осадочно-вулканогенных толщ и внедрение гранитоидов. Позднерифейский (байкальский) диастрофизм наиболее интенсивно проявился в зап. и юж. обрамлении Сибирской платформы — на Таймыре и архипелаге Северная Земля,

в Енисейском крыже, Саянах и Прибайкалье, Забайкалье и Приамурье, отчасти на З. Центр. Казахстана и в Сев.Тянь-Шане. Следующая эпоха диастрофизма (в позднем кембрии) — салаирская затронула большую часть Алтае-Саянской обл., а частности юго-зап. склон Вост. Саяна, Кузнецкий (Алатау, Салаир, Горн. Шорию, Туву).

Большое значение в формировании структуры Центр. Казахстана, кроме Джунгаро-Балхашской обл., а также Сев. и Срединного Тянь-Шаня, Горн. Алтая и Зап. Саяна имел позднеордовикский и особенно позднесилурийский — раннедевонский диастрофизм. Последний распространился и на ранее консолидир. периферич. зоны пояса, сопровождаясь мощным гранитообразованием. Определённое значение имели события среднего девона, в т. ч. на Урале, в Центр. Казахстане и Алтае-Саянской обл. Заключит. эпоха диастрофизма началась в карбоне и охватила поздний

палеозой; она завершила формирование складчатой структуры Урала, Юж. и Срединного Тянь-Шаня, Рудного Алтая и Обь-Зайсанской складчатой системы, Вост. Забайкалья. Лишь крайнее вост. звено пояса — Амуро-Охотская складчатая система — продолжала геосинклинальное развитие в триасе, ранней и средней юре, завершив его в поздней юре — раннем мелу. Одновременно смежные с ней Алданский щит Сибирской платформы и Буреинский массив — отторженец Китайско-Корейской платформы, а также Зост. Забайкалье испытали значит. магматич. активизацию с внедрением многочисленных гранитных плутонов. Возникшая в итоге этой длит. подвижности структура Урало-Охотского пояса отличается большой сложностью. На З. её периферич. элементами являются Уральская складчатая система (см. УРАЛ), граничащая с Вост.-Европейской платформой, и система Юж. Тянь-Шаня, пограничная со СРЕДИЗЕМНОМОРСКИМ ГЕОСИНКЛИНАЛЬНЫМ ПОЯСОМ и Таримским массивом — микроконтинентом с позднедокембрийским фундаментом. Структура Урала характеризуется комплексом тектонич. чешуй и покровов, надвинутых к З.; структура Юж. Тянь-Шаня — аналогичным комплексом, перемещенным в осн. к Ю. Уральская система вырождается и одновременно омолаживается в сев. направлении, с выклиниванием энсиматич. зоны вост. склона. Пай-Хой и Новая Земля развивались целиком на континентальной коре байкальского (?) возраста и испытали завершающую складчатость в конце триаса. То же относится к Юж. Таймыру (хр. Бырранга). В строении более внутр. районов Урало-Охотского пояса также выявляется существенную роль надвигов и шарьяжей, не обладающих здесь, однако, столь выдержанной направленностью, как на Урале.

Значит, сев. часть Урало-Охотского пояса скрыта под мощным (до 3—5 км на Ю., 10—12 км на С.) чехлом Зап.-Сибирской плиты, что затрудняет расшифровку его внутр. структуры и определяет разноречивость её трактовки. Несомненно, что эта структура, особенно на С. плиты и на её продолжении в Карском м. включает значит. байкальские и, возможно, добайкальские массивы — микроконтиненты,

перекрытые палеозойским карбонатных чехлом. Вместе с тем здесь находят своё продолжение каледониды вост. части Центр. Казахстана, герциниды Обь-Зайсанской зоны, салаириды АЛТАЕ-САЯНСКОЙ СКЛАДЧАТОЙ ОБЛАСТИ с их офиолитовыми зонами. Зап. склон плиты (мегасинеклизы) наложен на вост. зоны Урала, восточный — на байкальские зап. периферии Сибирской платформы, Осадочный чехол плиты начинается на Ю. с отложений средней — верхней юры. В его основании прослеживается сложная система погребённых рифтов триасо-вораннеюрского возраста, заполненных продуктами базальтового вулканизма и континентальными обломочными осадками. Стержневым в этой системе является Уренгойско-Колтогорский палеорифт, а его сев.-вост. ответвлением — палеорифт в основании Енисей-Хатангского прогиба. Возможно, что второй из этих рифтов и сев. часть первого заложилась ещё в дотриасовое время. Наибольшая по мощности часть разреза чехла Зап.-Сибирской плиты приходится на мелководномор., по периферии континентальные отложения мелового, отчасти палеогенового возраста, неоген практически уже целиком континентальный. Деформированность чехла очень слабая, здесь с трудом выделяются отд. своды и впадины; в сводах образовались огромные залежи нефти и (или) газа, а в поверхностных толщах — крупные запасы диатомита.

Вторым крупнейшим подвижным поясом территории СССР является Средиземноморский, обрамляющий с Ю. Вост.-Европейскую платформу и отделяющий её от Африканской, а восточнее Каспийского м. непосредственно или почти непосредственно граничащий с Урало-Охотским поясом. Заложение средиземноморского геосинклинального пояса относится к позднему рифею; подобно Урало-Охотскому поясу, он возник на подвергшейся деструкции и сохранившейся в виде микроконтинентов докембрийской континентальной коре, соединявшей *ГОНДВАНУ* и *ЛАВРАЗИЮ*. Первый этап развития пояса закончился перед вендом, а в др. районах в середине — конце кембрия; он привёл к регенерации континентальной коры почти на всей площади пояса. Эта кора сохранилась без переработки на юж. периферии, за пределами терр. СССР, а также на небольших участках сев. периферии — в Предкарпатье, Молдавии и в виде отд. массивов, в частности Закавказского и Центральноиранского, во внутр. р-нах пояса. Сев. часть последнего охватывает и

Ю. Закавказья СССР; здесь байкальский фундамент перекрыт чехлом мелководно-мор., в значит. части карбонатных отложений девона — мела, испытавших лишь умеренные деформации. Сев. полоса пояса а ордовике подверглась повторной деструкции с новообразованием коры экса некого типа, представленной офиолитами. Последние обнажены в Главном и Передовом хребтах Б. Кавказа, участвуя в строении перемещенных к С. тектонич. покровов. На Сев. Памире деструкция прошла позднее и офиолиты имеют раннекарбоновый возраст; они также образуют покровы. Севернее, в Предкавказье и на Туранской плите среднепалеозойское осадконакопление протекало, вероятно, на континентальной коре. Позднепалеозойский диастрофизм охватил обширную территорию — от Карпат через Равнинный Крым, Б. Кавказ и Копетдаг до С. Памира — с образованием сложной, покровно-складчатой структуры, региональным метаморфизмом и гранитообразованием, максимальным в Главном хр. Б. Кавказа. В итоге эта терр. испытала консолидацию, на фоне которой в триасе возникла система рифтоподобных прогибов Сев. Добруджи, Сев. Крыма, Предкавказья, Мангышлака, Туаркыра, Ю. Туркмении. Их развитие завершилось складчатостью в начале юры. Со средней юры на этой площади началось накопление осадков, слагающих платформенный чехол Скифской и Туранской плит (местами, на срединных массивах, чехол имеет и более древний возраст). Чехол Туранской плиты через Тургайский прогиб между Уралом и палеозойским массивом Центр. Казахстана соединяется с чехлом Зап.-Сибирской плиты. Он включает широко распространённые мор. отложения мела и палеогена и несколько более ограниченно развитые — неогена. Наибольшая мощность чехла приурочена к Вост. Туркменской (Амударьинской) синеклизе (8—10 км), наименьшая — к сводовым поднятиям (Симферопольскому в Крыму, Кара-Богазскому и Каракумскому в Туркмении). Дислоцированность чехла неравномерная; относительно более интенсивная — на Тарханкутском п-ове а Крыму, в центр. и юж. Мангышлаке, Туаркыре, Кубадаге, Б. Балхане и более слабая — на др. участках.

Севр. Горный Крым испытал интенсивное погружение в среднем триасе — ранней юре с накоплением мощной толщи терригенных флишoidных отложений континентального склона и подножья, интенсивно смятых перед средней юрой. На Б.Кавказе и Копетдаге в начале юры произошла регенерация геосинклинального режима с образованием окраинного моря с корой субокеанского типа и накоплением мощной черносланцевой формации нижней и средней юры, Сев. периферия бассейна испытала складчатые деформации и некоторое поднятие перед поздней юрой и в начале мела, после чего здесь отлагались шельфовые осадки, а на Ю. (Судакская зона Крыма, юж. склон Б. Кавказа) в поздней юре началось мощное флишенаконпление, продолжавшееся до эоцена включительно. В Центр. Памире в конце палеозоя — триасе прошла деструкция более древней континентальной коры с новообразованием глубоководного бассейна на океанской коре (о чём свидетельствуют офиолиты). В конце юры — начале мела отложения этого бассейна подверглись интенсивной складчатости к внедрению гранитов. Древний кристаллический массив Юго-Зап. Памира испытал лишь повторную гранитизацию, а энсиалич. зона Юго-Вост. Памира — деформации меньшей интенсивности. К Ю. от Закавказского массива, в центральной части Малого Кавказа в триасе или даже позднем палеозое также проявилась деструкция с образованием бассейна с корой океанского типа, выраженной офиолитами. Замыкание этого бассейна с надвиганием офиолитоаых покровов к С. и Ю. на смежные микроконтиненты (Закавказский и Центральноиранский) произошло в позднем мелу, Закавказский массив, начиная со средней юры, был надстроен мощной вулканич. дугой, активность к-рой сохранялась почти до конца мела. Б. конце мела офиолитовые покровы были перекрыты толщей сенонских карбонатных отложений, а в эоцене значит, часть Малого Кавказа была охвачена мощным вулканизмом рифтогенного типа. В конце эоцена Малый м. отчасти Б. Кавказ испытали складчатые деформации, достигшие макс. интенсивности в конце миоцена — начале плиоцена. К этому времени относится и окончат. оформление складчатых горных сооружений Кавказа, разделяющей их Закавказской зоны межгорн. впадин (Рионской и Куринской) и предкавказских прогибов (Индо-Кубанского и Терек-Каспийского). На продолжении этих впадин находятся более обширные, глубокие и

относительно древние (но не древнее позднего мезозоя) Черноморская и Южно-Каспийская впадины; первая с мощностью кайнозойских осадков до 16 км, вторая—более 22 км. Структура Б. Кавказа приобрела характерную для неё асимметрию, с надвиганием покровов к Ю., распространяющимся и на Среднекуринскую впадину. Сев. склон Б. Кавказа, как и Горного Крыма и Б. Балхана, сложен моноклинально залегающими толщами верхней юры — палеогена, Малый Кавказ деформирован неравномерно интенсивнее всего в центр. Севано-Зангезурской офиолитовой зоне. В позднем миоцене — плейстоцене Малый Кавказ и центр. часть Б. Кавказе оказались охваченными мощной вулканической деятельностью (см. КАВКАЗ). Памир, который в позднем мелу и раннем палеогене был покрыт мелким эпиконтинентальным морем, затем вновь испытал поднятие и оказался вовлечённым в интенсивные тангенциальные деформации с движением шарьяжей к С. Эти поднятия и деформации, начавшиеся в олигоцене и достигшие кульминации в плиоцен — четвертичное время, распространились и на прилегающую область Тянь-Шаня, а также.

отчасти на Центр. Казахстан, Алтае-Саянскую обл., Прибайкалье и Забайкалье, возродив здесь горный рельеф. Одновременно возникла *БАЙКАЛЬСКАЯ СИСТЕМА РИФТОВ*, а в области Тянь-Шаня оформились межгорные впадины - Таджикская, Ферганская, Нарынская, Иссык-Кульская и более мелкие (см. ТЯНЬ-ШАНЬ).

Активное развитие в мезозое и кайнозое испытала и восточная окраина СССР. К Востоку от Сибирской платформы расположена *ВЕРХОЯНО-ЧУКОТСКАЯ СКЛАДЧАТАЯ ОБЛАСТЬ*, заключительные деформации которой относятся к поздней юре - раннему мелу. Большая часть этой области, вплоть до хр. Черского на Востоке, развивалась в палеозое и раннем мезозое как пассивная окраина Сибирского континента. В рифее, раннем и среднем палеозое до середины раннего карбона она испытывала умеренное погружение с накоплением шельфовых, преимущественно карбонатных осадков. Затем погружения резко усилились и началось отложение мощного (до 10—13 км) "верхоянского" комплекса терригенных осадков нижнего карбона - верхней юры, включающего отложения континентального склона и подножия. Восточнее, в полосе хр. Черского ещё в ордовике (?) возник глубоководный бассейн с корой океанского или переходного типа, отделивший от Сибирского континента Колымо-Омолонский микроконтинент. В средней — поздней юре на краю этого микроконтинента

образовалась вулканическая дуга (вулканоплутонический пояс) и началась их коллизия с Верхояно-Колымской окраиной Сибирского континента. Она привела к складчато-надвиговым деформациям Верхояно-Колымской системы, на большей части ее площади довольно умеренным, но выраженным пологими надвигами вдоль границы с возникшим ещё в конце юры — раннем мелу Предверхоянским прогибом и в самой зоне коллизии. Перед вулканоплутонич. поясом и в его тылу ещё в поздней юре обособились прогибы (Зырянский, Момский), превратившиеся в межгорные, заполненные молассой а начале мела. Сев., широтная, часть Верхояно-Чукотской обл.— Новосибирско-Чукотская система представляет юж. пассивную окраину Гиперборейской платформы; по её юж. краю протягивается от о. Б. Ляховский к р. Б. Анной и далее севернее зал. Креста офиолитовый шов, маркирующий закрытие предпозднеюрского бассейна с корой океанского типа. К С. от *шва* распространён терригенный комплекс пермско-нижнемелового возраста, сходный с верхоянским, но меньшей мощности, из-под которого местами выступают карбонатные толщи среднего и нижнего палеозоя и рифея и более древние метаморфиты. Южнее офиолитового шва, на краю Колымо-Омолонского массива простирается Олойская палеовулканич. дуга триасово-юрского возраста.

Столкновение этой дуги и массива с окраиной Гиперборейской платформы произошло в конце неокома, т. е. после того, как эти структуры соединились с Верхояно-Колымской окраиной Сибирской платформы. Вскоре после этого в альбе вдоль юго-восточного притихоокеанского края Верхояно-Чукотской обл. возник Охотско-Чукотский краевой вулканоплутонич. пояс андского типа. Его предшественником в позднем палеозое — раннем мезозое являлась протягивающаяся юго-восточнее, параллельно поясу, вдоль побережья Охотского моря Удско-Мургалская

палеовулканич. дуга. Охотско-Чукотский пояс активно развивался до конца мела; он резко несогласно наложен на структуры Верхояно-Чукотской обл. и конформен структурам более молодой, по времени завершающей складчатости Дальневосточной области.

Дальневосточная геосинклинальная область охватывает Сихотэ-Алинь, Охотское и Японское моря, Сахалин, Курилы, Камчатку " Корякское нагорье, представляя один из сегментов *ТИХООКЕАНСКОГО ГЕОСИНКЛИНАЛЬНОГО ПОЯСА*, большая часть области возникла на коре океанского типа, документированной разновозрастными офиолитами, от ордовикских до поздне меловых. Но здесь известны и относительно небольшие отторженцы ранне докембрийской континентальной коры — на Камчатке, на плуострове Тайгонос, в Сихотэ-Алине. Предположительно, столь же древним фундаментом обладает крупный Центральноохотоморский массив. Складчатые системы области простираются в общем согласно контуру впадины Тихого ок., меняя своё простираение от близдолготного на Ю. до близширотного на С. При этом наблюдается их омоложение в направлении от материка к океану. Соответственно более внутренними и относительно древними элементами области являются Сихотэ-Алиньская и Пенжинско-Анадырская складчатые системы, вероятно сочленяющиеся под водами Охотского м. и испытавшие заключительные, деформации в середине мела. Геосинклинальный комплекс этих систем включает не только мезозой, но и палеозой, Сихотэ-Алиньская система примыкает **на 3.** к Ханкайскому и Бурейнскому древним массивам, вероятно, первоначально связанным с Китайско-Корейской платформой. На С., в нижнем Приамурье она практически сливается с Амуро-Охотской системой, отделяясь Амгунским межгорным прогибом, открывающимся в Охотское море. На Востоке система ограничивается Вост.-Сихотэ-Алиньским краевым вулканоплутоническим поясом, аналогом и продолжением Охотско-Чукотского, но несколько более молодого возраста Зап. зона Сахалина, сложенная мощной терригенной толщей мела-кайнозоя, представляет выполнение прогиба, развивавшегося вдоль фронта

этого пояса. В Вост. зоне выступают офиолиты от позднепалеозойских (?) до поздне меловых и кремнисто-вулканогенных и островодужные вулканич. серии. Эта зона испытала складчатость в конце мела и вместе с Зап. зоной перед плиоценом. Пенжинско-Анадырская зона — гомолог Зап.-Сахалинской образовалась на месте прогиба между Удско-Мургальской вулканической дугой, а затем Охотско-Чукотским вулканоплутонич. поясом и Таловско-Майнской невулканич. дугой. По другую, юго-восточную, сторону этой дуги, в Корякии, простирается Алгано-Великореченская зона и далее сложное, многоярусное шарьяжное сооружение вост. Корякии, развившееся на месте поздне мезозойских вулканических дуг и окраинных (тыльно дуговых) морей. Образование шарьяжей относится к концу мела — началу палеогена, направление их перемещения — южное. Алгано-Великореченская зона Корякии находит свое продолжение в Зап. зоне Камчатки, геосинклинальный комплекс которой включает отложений от верхней юры до верхов мела, а Орогенный начинается а палеогене. На 3., вдоль современного побережья полуострова, эта зона примыкала к одноимённому вулканическому поясу, сменившему во времени Охотско-Чукотский и протягивавшемуся далее, со смещением по трансформному разлому, вдоль юж. края Центральноохотоморского массива. На Зап.-Камчатскую зону с В. надвинута Вост.-Камчатская, продолжающаяся к С.-В. Олюторской зоной Корякского нагорья. Эти зоны имеют своим основанием офиолитовый комплекс альба — верхнего мела, сменяющийся палеогеновым флишем. Оsn. деформации, включающие шарьяжи, относятся к началу миоцена, когда флиш а прогибах сменяется молассой. В олигоцене возник Центральнокамчатский вулканический пояс с продолжением через Петропавловский трансформный разлом а Курильскую вулканическую дугу. Центральнокамчатский вулканический пояс сохранял остаточную активность до начала плейстоцена, но уже перед плиоценом на Камчатке оформилась современная зона вулканической деятельности, наложенная на Вост.-Камчатскую зону и сопряжённая с Курило-Камчатским глубоководным желобом. Курильская вулканическая дуга сохранила своё положение. На С. Курило-Камчатский жёлоб сочленяется с Алеутским, возникшим вдоль образованной в конце мела — начале палеогена Командоро-Алеутской дуги. В тылу этой дуги тогда же начала

развиваться система островных дуг, ныне подводных хребтов Ширшова — Бауэрса; первый из них выходит на сушу на Олюторском п-ове и в хребте. Между вост. побережьем сев. Камчатки, хр. Ширшова и Командорскими о-вами обособилась глубоководная Командорская впадина с сохранявшей активность до позднего миоцена осью спрединга меридионального простирания. В тылу Курильской

Минерагения

В геол. истории формирования м-ний п. и. на терр. СССР можно выделить архейскую, протерозойскую, палеозойскую и мезозойско-кайнозойскую минерагенич. эпохи (карту см. на вклейке к стр. 48—49).

В архейскую эпоху сформировались магматич. медно-никелевые м-ния Мончетундры на Кольском п-ове, кианитовые силлиманитовые м-ния свиты Кейв там же, метаморфогенные керамич. и слюдяные пегматиты Лиабарского массива, Джугджура и др., флогопитовые м-ния Алдана, а также менее существенные м-ния железистых кварцитов, графита, граната. Для протерозойской эпохи характерно развитие полевошпатовых, слюдяных и редкометалльных пегматитов Сибири, Карелии и Украины, железистых кварцитов Кривого Рога, КМА Костомукши и др., магматич. титаномagnetитов Пудожгорья в Карелии, железорудных скарнов типа Таежного в Якутии, колчеданов Карелии, медно-никелевых руд Печенги, редкометалльных альбититов, золотоносной черносланцевой формации, древних медистых песчаников Удокана в Сибири.

Палеозойская эпоха, включающая обильные магматогенные образования байкальского, каледонского и герцинского циклов геол. развития, отличается широким проявлением магматич., скарновых, альбититовых, грейзеновых, гидротермальных, стратиформных и колчеданных м-ний руд чёрных, цветных, редких, благо-родных и радиоактивных металлов, распространённых на Урале, в Ср. Азии, Казахстане и Сибири. Из седиментогенных м-ний этой эпохи должны быть отмечены палеозойские м-ния нефти и газа, ископаемых углей, солей, фосфоритов, бокситов.

Мезозойско-кайнозойская эпоха, включающая образования киммерийского и альпийского циклов, отличается массовым развитием пост-магматич. м-ний руд цветных, редких и благородных металлов, проявленных на Кавказе, в Вост. Забайкалье, При-морье и на Северо-Востоке страны. Среди седи-ментогенных м-ний этой эпохи можно отметить м-ния нефти и газа, ископаемых углей, железа, марганца, титана, ископаемых солей, самородной серы.

Для терр. СССР могут быть выделены след. наиболее крупные тектоно-минерагенич. подразделения: Вост.-Европейская платформа. Сибирская платформа, палеозойский Урало-Монгольский геосинклинально-складчатый пояс. Тихоокеанский геосинклинально-складчатый пояс Д. Востока и С.-В., альпийский геосинклинально-складчатый пояс.

На Восточно-Европейской платформе различается минерагения древнего кристаллич. фундамента, фанерозойского чехла и зон фанерозойской и тектоно-минерагенич. активизации. Наиболее представит. ми-неральными м-ниями основания платформы являются железистые кварциты. На Ю. Они образуют субмеридиональную полосу, протягивающуюся от берегов Азовского м. до г. Белгород на расстояние ок. 700 км и включающую м-ния **КРИВОРОЖСКОГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО БАССЕЙНА, КРЕМЕНЧУГСКОЙ МАГНИТНОЙ АНОМАЛИИ** и **КУРСКОЙ МАГНИТНОЙ АНОМАЛИИ**. На Севере, в Карелии, к ним принадлежат Оленегорское и Костомукшское м-ния. Кроме того, среди зеленокаменной серии архея и пород габбровой формации протерозоя известны магматич. месторождения титаномagnetитов, примером которых может служить Пудожгорское м-ние на вост. берегу Онежского оз. Характерны магматич. м-ния медно-никелевых руд Печенгско-Варзугской спилит-кератофировой и диабазовой формации карелид Кольского п-ова. В пределах палеогеосинклинальных трогов карелид этого региона известны также серно-колчеданные образования I типа Хаутовары. Оригинальны оловянные руды в скарнах Сев. Приладожья, приуроченные к экзоконтакту позднепротерозойских гранитов рапакиви. Среди продуктов кор выветривания преим. каменноугольного, отчасти юрского,

возраста находятся латеритные, делювиальные, озёрно-болотные и аллювиальные м-ния бокситов — Висловское, Северо-Онежское, Тихвинское, Тиманское и др. бокситовые поля. В чехле осадочных пород Вост.-Европейской платформы известны также ископаемые россыпи титановых минералов палеозойского, мезозойского, палеогенового и неогенового возрастов (Ярегское м-ние девона, Саянское м-ние неогена и др.).

С зонами фанерозойской тектоно-минерогенной активизации Вост.-Европейской платформы связано формирование апатитов Хибинского щелочного лопорита и Ковдорского карбонатитового м-ния жел. руд на Кольском п-ове, а также гидротермальных м-ний ртутных руд Никитовского м-ния и свинцово-цинковых руд Нагольного Кряжа в Донбассе.

Месторождения титановых руд известны в форме осадочных рутил-ильменитовых россыпей (например, на Украине, в прибрежных отложениях Балтийского м. и др.) в виде ильменит-содержащих метаморфизованных песчаников (Ярегское месторождение в Коми АССР) или в виде магматических титаномagnetитовых руд, значительные запасы которых установлены на Урале, в Восточной Сибири, на Кольском полуострове.

Алюминиевые руды. Месторождения высококачественных бокситов палеозойского возраста разведаны на Северном Урале (Красная Шапочка, Кальинское, Черемуховское и др.). Здесь действуют крупные рудники СЕВЕРО-УРАЛЬСКОГО БОКСИТОНОСНОГО РАЙОНА, являющиеся поставщиками сырья для Уральских алюминиевых заводов. Месторождения бокситов, разведанные в Западном Казахстане, служат сырьевой базой Павлодарского алюминиевого завода. В Европейской части СССР наиболее значительны месторождения бокситов выявлены в Архангельской области (Северо-Онежский бокситоносный район), Коми АССР (Тиманская бокситорудная провинция), а также в районе КМА, где бокситы залегают в коре выветривания совместно с залежами железных руд. В Сибири сравнительно небольшие месторождения бокситов известны в Салаирском кряже, в бассейне реки Ангара, в Восточном Саяне. Впервые в мировой практике в СССР освоено производство глинозема, цемента и содопродуктов из нефелиновых руд, месторождения которых известны на Кольском полуострове (apatит-нефелиновые руды Хибин), в Сибири (Кия-Шалтырское и другие месторождения нефелиновых сиенитов), в Закавказье и Средней Азии.

Медные руды. Наибольшее промышленное значение имеют медно-колчеданные, медно-порфировые, медистые песчаники, сульфидные медно-никелевые и комплексные полиметаллические руды. Месторождения медно-колчеданных руд известны вдоль восточного склона Урала (от Ивделя на Севере до Мугоджар на Юге), а также на Северном Кавказе. К месторождениям медно-порфировых руд относятся, например, Коунрадское и Бозшакольское в Казахской ССР, Калмакырское (Алмалыкское) в Узбекской ССР, Каджаранское и Агаракское в Армянской ССР; к числу месторождений типа медистых песчаников - Джезказганское месторождение в Казахстане и Удоканское в Читинской области; первое из них разрабатывается около полувека, а второе, расположенное на трассе БАМа, подготавливается (1988) к промышленному освоению. Крупные запасы меди содержатся в сульфидных медно-никелевых рудах магматических месторождений Норильского рудного района (рис. 16) и Кольского полуострова. Значительным источником меди являются комплексные полиметаллические месторождения (медно-свинцовые полиметаллические месторождения (медно-свинцово-цинковые)).

Свинцово-цинковые руды концентрируются преимущественно в гидротермальных и осадочно-эксталяционных месторождениях, при этом наиболее крупные из них относятся к средне- и низкотемпературным стратиформным и колчеданным, залегающим в слоистых толщах осадочных и частью эффузивно-осадочных пород. Месторождения этого типа разведаны в Центральном Казахском рудном районе, в горах Каратау, в Джунгарском Алатау, на Алтае (рис.17), в Узбекистане, Бурятии, Забайкалье, Азербайджане. Важное промышленное значение имеют высокотемпературные метасоматические скарновые месторождения, выявленные в

Приморском крае, в Таджикской ССР и др. районах. В Красноярском крае разведано Горевское метасоматическое месторождение в карбонатных породах докембрия. Жильные среднетемпературные месторождения в изверженных и др.г.п. разрабатываются на Северном Кавказе, в Таджикской ССР. Большинство месторождений свинцово-цинковых руд имеют комплексный состав и наряду со свинцом и цинком содержат также медь, серебро, часто золото, кадмий и редкие элементы, а также серный колчедан, иногда барит и флюорит. Важный источник цинка - медно-колчеданные руды Урала и других районов.

Руды никеля и кобальта. Главным источником этих металлов служат магматические месторождения сульфидных никелевых руд, расположенные в Норильском рудном районе на Севере Красноярского края (см. НОРИЛЬСКИЙ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ КОМБИНАТ) и на Кольском полуострове. Важной особенностью этих руд является их комплексный многокомпонентный состав: наряду с никелем и кобальтом руды служат важнейшим источником получения меди, а также других ценных металлов. Месторождения экзогенных силикатных никель-кобальтовых руд известны на Урале и в Западном Казахстане. В ряде районов выявлены гидротермальные месторождения медно-кобальтовых, железокобальтовых и собственно кобальтовых руд (в Азербайджанской ССР, Тув.АССР, рис.18, и др.).

Руды вольфрама и молибдена концентрируются преимущественно в скарновых контактово-метасоматических и гидротермальных жильных и штокверковых месторождениях. К первым относится расположенное на Северном Кавказе Тырныаузское месторождение вольфрам-молибденовых руд. Вольфрамовые (шеелитовые) месторождения скарнового типа известны в Узбекской ССР и на Дальнем Востоке. Вольфрамовые гидротермальные месторождения жильного и штокверного типа выявлены в Бурятской АССР и Казахской ССР. Жильные и штокверковые месторождения молибдена гидротермального генезиса разведаны в Забайкалье, Западной Сибири и Казахстане. Важный источник молибденсодержащие медно-порфировые руды месторождений Казахстана и Армении.

Преобладающая часть оловорудных месторождений СССР имеет мезозойский возраст и связана с Тихоокеанским рудным поясом и зоной мезозойской активизации Восточного Забайкалья. Наиболее значительные месторождения, представленные в основном касситерит-сульфидными рудами, выявлены в Якутской АССР, Магаданской и Читинской областях, Хабаровском и Приморском краях. Оловорудные месторождения палеозойского возраста разведаны в Киргизской ССР. Кроме коренных рудных месторождений, в Якутской АССР и Магаданской области известны оловоносные россыпи.

Месторождения руд ртути и сурьмы гидротермального происхождения выявлены во мн. районах страны. Наиболее значительные месторождения разведаны на Украине (Никитовское ртутное), в Киргизской ССР (Хайдарканское и Чувайское ртутные, Кадамджайское и Терек-Сайское сурьмяные), в Таджикской ССР (Джижикрутское ртутно-сурмяное), а также в якутии, на Чукотке, Камчатке и Горном Алтае.

Россыпные и коренные месторождения золота известны в Магаданской области, Якутии, Восточной Сибири, Узбекистане, Казахстане, на Урале, в Армении. Главным источником серебра служат серебросодержащие руды полиметаллических месторождений. Платина в дореволюционной России добывалась лишь из россыпных месторождений Урала; в СССР платина и др. металлы платиновой группы извлекаются из магматических месторождений сульфидных медно-никелевых руд.

В прибрежных донных отложениях морей, главным образом в виде прибрежно-морских россыпей, концентрируются скопления минералов олова, титана, циркония, железа, марганца, иногда золота. Россыпи титано-циркониевых минералов выявлены в прибрежных отложениях Черного и Балтийского морей.

Глава 2..Геология и география распределения месторождений цветных металлов в бывшем СССР

2.1. Общие сведения

Площадь, которую занимала СССР составляла 22403,2 тыс. км² (1/4 территории страны - Европейская часть). Население 281,7 млн. человек (на 1 января 1987 г.) [25, 26, 53]. В СССР входило 15 союзных республик: Азербайджанская, Армянская, Белорусская, Грузинская, Казахская, Киргизская, Латвийская, Литовская, Молдавская, Российская Федерация, Таджикская, Туркменская, Узбекская, Украинская, Эстонская.

Производство и потребление местных металлов приведены в таблице. Минеральные ресурсы цветных металлов распределены крайне неравномерно. Прибалтийские республики (Литва, Латвия, Эстония), а также Молдавия, Белоруссия и Туркменистан практически не имеют месторождений цветных металлов (таблица 2.1) [50, 52].

The mining industries in the three Baltic states are relatively small in both size and value. Estonia have, phosphate rock deposits at Maardu. The former Soviet Baltic republic - Estonia, Latvia will continue to maintain economic ties with many of the former Soviet republics, largely involving the trade or exchange of mineral and energy resources.

2.1 .1. Основные черты геологического строения.

Значительная часть территории имеет платформенное строение. На Юге и Востоке платформенные территории обрамляются покровно-складчатыми и сводово-глыбовыми горными сооружениями, частично молодыми, кайнозойскими, частично более древними, от позднедокембрийских до мезозойских, возрожденными новейшими движениями.

Крайняя вост. периферия страны представляет собой область активной континентальной окраины Тихого океана, сев. периферия — пассивную окраину Северного Ледовитого океана.

Древние платформы обладают раннедокембрийским, в значительной части архейским фундаментом. Это — Восточно-Европейская (Русская) и Сибирская платформы. Последняя целиком находится на территории СССР, первая — своей большей частью продолжаясь в пределы скандинавских стран, Польши и Румынии. Кроме того, в сев.-вост. части Баренцева моря (Земля Франца-Иосифа и прилегающая акватория) выделяется небольшая Северо-Баренцевская платформа, а в сев.-вост. части Новосибирского архипелага и прилегающей акватории — Гиперборейская платформа, также с докембрийским, но, возможно, несколько более молодым фундаментом.

Восточно-Европейская платформа занимает почти всю Европейскую территорию СССР, за исключением Тимана и Печорской низменности, зап. склона Урала, Карпат и крайнего Юга Молдавии. Зап. граница платформы почти целиком, за исключением небольшого участка вдоль Предкарпатского прогиба, проходит за пределами территории СССР, совпадая с т. н. Балто-Подольским линеamentом. Платформа ограничена разломами, по которым смежные складчатые системы разного возраста надвинуты на неё. На ряде участков на Юго-Востоке и Юге граница платформы скрыта под чехлом мезозойских и кайнозойских отложений, переходящих с древней платформы на молодую. Фундамент платформы обнажается на Балтийском и Украинском щитах и залегает выше нулевой изогипсы на Белорусском и Воронежском массивах; на последнем он вскрыт карьерами в районе Курской Магнитной Аномалии (КМА) и кое-где обнажается в долине р. Дон. На остальной площади фундамент вскрыт многочисленными буровыми скважинами. Основная роль в его сложении принадлежит архейским образованиям, среди которых встречаются реликты древнейших пород с возрастом до 3,9 млрд. лет (Кольский п-ов, Карелия, Воронежский массив, Украинский щит). Раннепротерозойские образования с более ограниченным распространением слагают протоплатформенный чехол (Карелия, Печенга — Имандра — Варзуга на Кольском п-ове) или протогеосинклинальные складчатые системы (Курско-Криворожская, Одесско-Каневская и Орехово-Павлоградская платформы). Осадочный чехол Вост.-Европейской платформы слагает Русскую плиту и включает верхнедевонские и фанерозойские отложения. В его основании расположены многочисленные рифтовые структуры, выполненные континентальными

и мелко-водно-морскими обломочными и отчасти карбонатными отложениями, местами с участием основных вулканитов.

В составе чехла Русской плиты кембрийско-нижнедевонские мелко-водно-морские отложения пользуются ограниченным распространением, в основном в пределах Балтийской, отчасти Московской синеклизы. Отложения среднего девона — низов триаса, напротив, распространены наиболее широко.

В среднем палеозое была сформирована субширотная полоса поднятий, включающая Белорусскую и Воронежскую антеклизы и отделившая Балтийскую и Московскую синеклизы от Припятско-Днепровско-Донецкого авлакогена и его вост. продолжения — Донецкого бассейна с его мощной угленосной толщей среднего карбона, который превратился в складчатый — Донецкий кряж к середине ранней перми. Отложения мезозоя и кайнозоя развиты в основном в южной половине Русской плиты, в Украинской и Прикаспийской синеклизах, на Черноморском склоне Украинского щита и лишь отчасти в наиболее глубоких частях Балтийской и Московской синеклиз. Терригенные отложения верхнего триаса — нижнего мела, континентальные и мелководно-морские, сменяются карбонатными (мел, мергели) верхнего мела—нижнего палеогена и снова терригенными, мелководно-морскими и континентальными олигоцен — неогена и, наконец, ледниковыми (на Севере) и перигляциальными (на Юге) четвертичными. Своеобразную структуру представляет расположенная в юго-восточном углу Русской плиты Прикаспийская синеклиза. Фундамент в ее центральной части погружен до глубины свыше 20 км, а консолидированная кора обнаруживает субокеанский тип строения. В девоне и до начала кунгурского века ранней перми Прикаспийская синеклиза представляла глубоководный бассейн, некомпенсированный осадконакоплением. В кунгуре она стала местом накопления мощной соленосной толщи, с присутствием которой связана характерная для нее Соляная тектоника в вышележащих мелководно-морских, частично континентальных отложениях верхней перми, мезозоя и кайнозоя.

На Северо-Востоке к древней Вост.-Европейской платформе прилегает Тимано-Печорская плита. Здесь кембрийский фундамент надстроен рифейским складчатым комплексом, выступающим на поверхность на Тимане, полуострове Канин, о. Кильдин, полуостровах Средний и Рыбачий и подстилающим чехол южной части Баренцева моря и Печорской впадины. Вторая крупная древняя платформа Сибирская занимает пространство между Енисеем и Леной, Таймыром и Прибайкальем. Её сев.-зап. и сев. границы скрыты под мезозойско-кайнозойским чехлом окраины Западно-Сибирской плиты, Енисей-Хатангского прогиба и моря Лаптевых; восточная проходит вдоль Предверхоанского прогиба, а южнее — хребта Сетте-Дабан; юж. граница — вдоль разлома, ограничивающего с Юга Становое нагорье и далее в Прибайкалье. Юго-зап. граница протягивается вдоль Вост. Саяна и Енисейского кряжа. Фундамент этой платформы обнажается в Алданском Щите, Анабарском Массиве, Оленёкском поднятии и на юго-зап. периферии платформы, в Шарыжалгайской глыбе и Прибайкалье. Сложен он в основном породами архея; древнейшими из них считаются глубоко метаморфизованные образования — основные и ультраосновные кристаллические сланцы, плагиогнейсы, чарнокиты. В раннем протерозое Становой пояс пережил интенсивную тектоно-термальную переработку, а на уже стабилизированном Алданском щите стал отлагаться протоплатформенный континентальный и мелководно-морской осадочный чехол. В конце раннего протерозоя вдоль южной окраины платформы возник Северо-Байкальский вулканоплутонический пояс. Осадочный чехол на Сибирской платформе начал накапливаться в позднем венде, а в рифее и начале венда осадконакопление и трапповый магматизм сосредоточивались в авлакогенах.

Вост.-Европейскую и Сибирскую платформы в рифее и палеозое разделил широкий подвижный Урало-Охотский, или Урало-Монгольский, геосинклинальный пояс меридионального простирания, который на Юге плавно поворачивает к Востоку, приобретая широтное простирание и отделяя здесь Сибирскую платформу от Китайско-Корейской. Его сев. сегмент - Урало-Сибирский, южный — Центральноазиатский. Последний частично выходит за пределы СССР — в

Китай и Монголию. Пояс этот, как полагают, заложен на раннедокембрийской континентальной коре, общей с корой смежных древних платформ, но подвергшейся интенсивной деструкции в течение рифея, особенно его второй половины. В результате к раннему кембрию здесь возникли обширные бассейны с океанской корой, составляющие Палеоазиатский океан, в котором, однако, сохранились и многочисленные обломки континентальной коры (микроконтиненты) — Казахстано-Северо-Тянь-Шаньский, Джунгарский, Тувино-Монгольский и др., более мелкие, особенно по периферии океана.

Вторым крупнейшим подвижным поясом территории СССР является Средиземноморский, обрамляющий с Юга Вост.-Европейскую платформу и отделяющий её от Африканской, а восточнее Каспийского моря непосредственно или почти непосредственно граничащий с Урало-Охотским поясом. Заложение средиземноморского геосинклинального пояса относится к позднему рифею; подобно Урало-Охотскому поясу, он возник на подвергшейся деструкции и сохранившейся в виде микроконтинентов докембрийской континентальной коре

Активное развитие в мезозое и кайнозое испытала и восточная окраина СССР. К Востоку от Сибирской платформы расположена Верхояно-Чукотская складчатая область, заключительные деформации которой относятся к поздней юре - раннему мелу. Большая часть этой области, вплоть до хребта Черского на Востоке, развивалась в палеозое и раннем мезозое как пассивная окраина Сибирского континента. В средней — поздней юре на краю Колымо-Омолонского микроконтинента образовалась вулканическая дуга и началась их коллизия с Верхояно-Колымской окраиной Сибирского континента. Она привела к складчато-надвиговым деформациям Верхояно-Колымской системы, на большей части ее площади довольно умеренным, но выраженным пологими надвигами вдоль границы с возникшим ещё в конце юры — раннем мелу Предверхоянским прогибом и в самой зоне коллизии.

Дальневосточная геосинклинальная область охватывает Сихотэ-Алинь, Охотское и Японское моря, Сахалин, Курилы, Камчатку " Корякское нагорье, представляя один из сегментов *Тихоокеанского* геосинклинального пояса, большая часть области возникла на коре океанского типа, документированной разновозрастными офиолитами, от ордовикских до позднемеловых. Но здесь известны и относительно небольшие отторженцы раннедокембрийской континентальной коры — на Камчатке, на плуострове Тайгонос, в Сихотэ-Алине. Предположительно, столь же древним фундаментом обладает крупный Центральноохотоморский массив. Складчатые системы области простираются в общем согласно контуру впадины Тихого океана.

2.1.2. Минерагения

В геологической истории формирования месторождений полезных ископаемых на территории СССР можно выделить архейскую, протерозойскую, палеозойскую и мезозойско-кайнозойскую минерагенические эпохи

В архейскую эпоху сформировались магматические медно-никелевые месторождения Мончетундры на Кольском п-ове, метаморфогенные слюдяные пегматиты Лиабарского массива, Джугджура и др., флогопитовые м-ния Алдана. Для протерозойской эпохи характерно развитие полевошпатовых, слюдяных и редкометалльных пегматитов Сибири, Карелии и Украины, железистых кварцитов Кривого Рога, Курской Магнитной Аномалии, Костомукши и др., магматических титаномagnetитов Пудожгорья и Карелии, железорудных скарнов типа Таежного в Якутии, колчеданов Карелии, медно-никелевых руд Печенги, редкометалльных альбититов, золотоносной черносланцевой формации, древних медистых песчаников Удокана в Сибири.

Палеозойская эпоха, включающая обильные магматогенные образования байкальского, каледонского и герцинского циклов геологического развития, отличается широким проявлением магматических, скарновых, альбититовых, грейзеновых, гидротермальных, стратиформных и колчеданных м-ний руд чёрных, цветных, редких, благородных и радиоактивных металлов,

распространённых на Урале, в Средней Азии, Казахстане и Сибири. Из седиментогенных м-ний этой эпохи должны быть отмечены палеозойские месторождения бокситов.

Мезозойско-кайнозойская эпоха, включающая образования киммерийского и альпийского циклов, отличается массовым развитием пост-магматических м-ний руд цветных, редких и благородных металлов, проявленных на Кавказе, в Вост. Забайкалье, Приморье и на Северо-Востоке страны. Среди седиментогенных этой эпохи можно отметить месторождения титана.

Для территории бывшего СССР могут быть выделены следующие наиболее крупные тектоно-минерагенические подразделения: Вост.-Европейская платформа, Сибирская платформа, палеозойский Урало-Монгольский геосинклинально-складчатый пояс, Тихоокеанский геосинклинально-складчатый пояс Дальнего Востока и Сев.-Вост., альпийский геосинклинально-складчатый пояс.

На Восточно-Европейской платформе различается минерация древнего кристаллического фундамента, фанерозойского чехла и зон фанерозойской и тектоно-минерагенич. активизации. Среди зеленокаменной серии архея и пород габбровой формации протерозоя известны магматические месторождения титаномагнетитов, примером которых может служить Пудожгорское м-ние на вост. берегу Онежского озера. Характерны магматические м-ния медно-никелевых руд Печенгско-Варзугской спилит-кератофировой и диабазовой формации карелид Кольского п-ова. В пределах палеогеосинклинальных трогов карелид этого региона известны также серно-колчеданные образования. Оловянные руды в скарнах Сев. Приладожья приурочены к экзоконтакту позднепротерозойских гранитов. Среди продуктов коры выветривания каменноугольного и юрского возраста находятся латеритные, делювиальные, озёрно-болотные и аллювиальные месторождения бокситов — Висловское, Северо-Онежское, Тихвинское, Тиманское и др. В чехле осадочных пород Вост.-Европейской платформы известны также ископаемые россыпи титановых минералов палеозойского, мезозойского, палеогенового и неогенового возрастов (Ярегское м-ние девона, Самотканское м-ние неогена и др.).

С зонами фанерозойской тектоно-минерагенической активизации Вост.-Европейской платформы связано формирование апатитов Хибин, лопорита и Ковдорского карбонатитового м-ния железных руд на Кольском п-ове, а также гидротермальных м-ний ртутных руд Никитовского м-ния и свинцово-цинковых руд Нагольного Кряжа в Донбассе.

2.1.3. Руды цветных металлов.

Наибольшее промышленное значение имеют *медно-колчеданные, медно-порфировые, медистые песчаники, сульфидные медно-никелевые и комплексные полиметаллические руды*. Месторождения медно-колчеданных руд известны вдоль восточного склона Урала (от Ивделя на Севере до Мугоджар на Юге), а также на Северном Кавказе. К месторождениям медно-порфировых руд относятся, например, Коунрадское и Бозшакольское в Казахстане, Калмакырское (Алмалыкское) в Узбекистане, Каджаранское и Агаракское в Армении; к числу месторождений типа медистых песчаников - Джезказганское месторождение в Казахстане и Удоканское в Читинской области; первое из них разрабатывается около полувека, а второе, расположенное на трассе БАМа, подготавливается к промышленному освоению. Крупные запасы меди содержатся в сульфидных медно-никелевых рудах магматических месторождений Норильского рудного района и Кольского полуострова. Значительным источником меди являются комплексные полиметаллические месторождения медно-свинцовые и медно-свинцово-цинковые.

Свинцово-цинковые руды концентрируются преимущественно в гидротермальных и осадочно-экспозиционных месторождениях, при этом наиболее крупные из них относятся к средне- и низкотемпературным стратиморфным и колчеданным, залегающим в слоистых толщах осадочных и частью эффузивно-осадочных пород. Месторождения этого типа разведаны в Центральном Казахстане в рудном районе, в горах Каратау, в Джунгарском Алатау, на Алтае, в

Узбекистане, Бурятии, Забайкалье, Азербайджане. Важное промышленное значение имеют высокотемпературные метасоматические скарновые месторождения, выявленные в Приморском крае, в Таджикистане и др. районах. В Красноярском крае разведано Горевское метасоматическое месторождение в карбонатных породах докембрия. Жильные среднетемпературные месторождения в изверженных и других горных породах разрабатываются на Северном Кавказе, в Таджикистане. Большинство месторождений свинцово-цинковых руд имеют комплексный состав и наряду со свинцом и цинком содержат также медь, серебро, часто золото, кадмий и редкие элементы, а также серный колчедан, иногда барит и флюорит. Важный источник цинка - медно-колчеданные руды Урала и других районов.

Главным источником *никеля и кобальта* служат магматические месторождения сульфидных никелевых руд, расположенные в Норильском рудном районе на Севере Красноярского края и на Кольском полуострове. Важной особенностью этих руд является их комплексный многокомпонентный состав: наряду с никелем и кобальтом руды служат важнейшим источником получения меди, а также других металлов. Месторождения экзогенных силикатных никель-кобальтовых руд известны на Урале и в Западном Казахстане. В ряде районов выявлены гидротермальные месторождения медно-кобальтовых, железокобальтовых и собственно кобальтовых руд (Азербайджан, Тува и др.).

Руды *вольфрама и молибдена* концентрируются преимущественно в скарновых контактово-метасоматических и гидротермальных жильных и штокверковых месторождениях. К первым относится расположенное на Северном Кавказе Тырныаузское месторождение вольфрам-молибденовых руд. Вольфрамовые (шеелитовые) месторождения скарнового типа известны в Узбекистане и на Дальнем Востоке. Вольфрамовые гидротермальные месторождения жильного и штокверного типа выявлены в Бурятии и Казахстане. Жильные и штокверковые месторождения молибдена гидротермального генезиса разведаны в Забайкалье, Западной Сибири и Казахстане. Важный источник молибденсодержащие медно-порфировые руды месторождений Казахстана и Армении.

Месторождения *титановых* руд известны в форме осадочных рутил-ильменитовых россыпей (например, на Украине, в прибрежных отложениях Балтийского моря и др.) в виде ильменит-содержащих метаморфизованных песчаников (Ярегское месторождение в Коми) или в виде магматических титаномagnetитовых руд, значительные запасы которых установлены на Урале, в Восточной Сибири, на Кольском полуострове.

Месторождения высококачественных *бокситов* палеозойского возраста разведаны на Северном Урале (Красная Шапочка, Кальинское, Черемуховское и др.). Здесь действуют крупные рудники Северо-Уральского Бокситоносного Района, являющиеся поставщиками сырья для Уральских алюминиевых заводов. Месторождения бокситов, разведанные в Западном Казахстане, служат сырьевой базой Павлодарского алюминиевого завода. В Европейской части России наиболее значительны месторождения бокситов выявлены в Архангельской области (Северо-Онежский бокситоносный район), Коми (Тиманская бокситорудная провинция), а также в районе Курской Магнитной Аномалии, где бокситы залегают в коре выветривания совместно с залежами железных руд. В Сибири сравнительно небольшие месторождения бокситов известны в Салаирском кряже, в бассейне реки Ангара, в Восточном Саяне. Впервые в мировой практике в России освоено производство глинозема, цемента и содопродуктов из нефелиновых руд, месторождения которых известны на Кольском полуострове (апатит-нефелиновые руды Хибин), в Сибири (Кия-Шалтырское и другие месторождения нефелиновых сиенитов), в Закавказье и Средней Азии.

Преобладающая часть *оловорудных* месторождений России имеет мезозойский возраст и связана с Тихоокеанским рудным поясом и зоной мезозойской активизации Восточного Забайкалья. Наиболее значительные месторождения, представленные в основном касситерит-сульфидными рудами, выявлены в Якутии, Магаданской и Читинской областях, Хабаровском и Приморском краях. Оловорудные месторождения палеозойского возраста разведаны в Киргизстане. Кроме

коренных рудных месторождений, в Якутии и Магаданской области известны оловоносные россыпи.

Месторождения руд *ртути и сурьмы* гидротермального происхождения выявлены во многих районах страны. Наиболее значительные месторождения разведаны на Украине (Никитовское ртутное), в Киргизстане (Хайдарканское и Чувайское ртутные, Кадамджайское и Терек-Сайское сурьмяные), в Таджикистане (Джиджикрутское ртутно-сурмяное), а также в Якутии, на Чукотке, Камчатке и Горном Алтае.

Россыпные и коренные месторождения *золота* известны в Магаданской области, Якутии, Восточной Сибири, Узбекистане, Казахстане, на Урале, в Армении. Главным источником *серебра* служат серебросодержащие руды полиметаллических месторождений. *Платина* в дореволюционной России добывалась лишь из россыпных месторождений Урала; в СССР платина и др. металлы платиновой группы извлекаются из магматических месторождений слюфидных медно-никелевых руд.

В прибрежных донных отложениях Дальне-Восточных морей, главным образом в виде прибрежно-морских россыпей, концентрируются скопления минералов олова, титана, циркония, железа, марганца, иногда золота. Россыпи титано-циркониевых минералов выявлены в прибрежных отложениях Черного и Балтийского морей.

2.2. Региональная геология и месторождения России.

2.2.1. Общие сведения

Of the 15 former Soviet republics, the Russian Federation was by far the largest, occupying three-quarters of the total area of the Soviet Union. It also possessed the most important mining industry, accounting for a significant share total minerals. Расположена в восточной части Европы и в северной части Азии. Площадь 17,08 млн. км². Население 145 млн. чел. (на 1 января 1987).

Russia possesses substantial quantities of all types of reserves. The Russian Federation accounts for less than 10% of the development of ores mercury, titanium in the former Soviet Union. Russia's total gold reserves in 1993 are reported at 333.5 tonnes, up from 290 tonnes at the start of 1992.

With its huge land area, Russia can be disaggregated into several mineral-rich regions, notably the Far East, Siberia, The Urals and the Kola Peninsula. One of the country's oldest mining regions, the Urals developed copper industry in the early 18th century. Today, 10 important copper-zinc mines and four smelters are located in the Urals, as is a zinc processing facility. The Urals is composed of several major industrial clusters or complexes, centred on major mining towns, processing facilities and sources of electric power. These include the Serov Complex (steel-aluminium-coal complex), Nizhniy Tagil Complex (iron and steel, copper), Sverdlovsk Complex (copper, aluminium, gold, asbestos), Chelyabinsk Oblast (iron and steel, copper, nickel, tantalum and columbium), Magnitogorsk (iron and steel, copper-zinc), Orsk Complex (nickel-cobalt, iron and steel, copper, asbestos) and the western Urals (salt, potash).

Eastern Siberia contains numerous small deposits variety of non-ferrous metals. The non-ferrous industry of Siberia is of greater significance to the Russian economy, as non-ferrous mines are located throughout the eastern areas of the north from Norilsk to the Far East mines of Chukotka and Magadan. The vast Norilsk nickel combine in the arctic zone of eastern Siberia is the principal source of Russian nickel. As a result of Norilsk production, the Soviet Union became the largest producer of nickel in the world by 1990, ahead of Canada. None the less the capacity (110,000 m tonnes of refined nickel and 110,000 m tonnes of nickel in matter per annum) of the smelters and refinery around Norilsk is not fully utilised. Norilsk also produces platinum, copper and cobalt.

The Russian Federation accounted a majority share of gold, diamonds, platinum and base metals production. Of the primary mineral-producing Commonwealth states today, Russia has the longest history as a gold producer. Although out-produces at various times in the past century by the US, Canada and

Australia, Russia (and subsequently the Soviet Union) has been second only to South Africa in gold output during the last 150 years.

The distribution of mineral resources of the Russian Federation by region is outlined in Table 2.4. By value, the greatest resource potential occurs in the Far East economic region, although the area remains relatively lightly explored. Only 1.6% of the resources in the Far East have been identified, whereas 97% are projected based on geological evidence. Western and eastern Siberia are also relatively wealthy in mineral resources, containing more than half the explored reserves of Russia. The North and Ural regions of Russia are well endowed with minerals and moderately explored. In the North region, more than one-third of the reserves are explored, accounting for 18.5% of total explored reserves in Russia. The Central, North-west and Volga-Vyatka regions of Russia possess the fewest resources throughout Russia.

Russia's minerals wealth has been includes the sum of value of explored reserves (Soviet categories A, B and C), preliminary assessed reserves (C) and projected or probable resources (P_1 , P_2 and P_3) . Resources in the Russian Federation represent nearly 90% of the value of minerals and energy in the former Soviet Union.

2.2.2. Рудные месторождения цветных металлов

Основные ресурсы *медных руд* сосредоточены в сульфидных медно-никелевых, медно-колчеданных месторождениях и в месторождениях медистых песчаников. Крупные месторождения сульфидных медно-никелевых руд, связанные с нижнемезозойскими траппами, расположены в Норильском рудном районе (Норильское-1, Талнахское, Октябрьское и др.). Месторождения таких руд известны также на Кольском полуострове, где они ассоциируют с интрузиями докембрийского возраста (Ждановское, Каула, Аллареченское, Ниттис-Кумужья-Травяная и др.). Месторождения медно-колчеданных руд наиболее распространены на Урале; они выявлены вдоль его восточного склона - от Полярного Урала на Севере. до Мугоджар на Юге (Красноуральская, Кировоградская, Карабашская группы месторождений, Дегтярское, Учалинское, Сибайское, им. XIX партсъезда, Гайское, Весенне-Аралчинское, им. 50 лет Октября и др.). Медно-колчеданное оруденение в этих месторождениях приурочено к палеозойским сильно метаморфизованным вулканогенным толщам, концентрируется в основном в породах базальт-липаритовой формации и представлено сплошными массивными и вкрапленными рудами. Содержание меди в рудах от долей процента до 20%. Колчеданные месторождения Сев. Кавказа залегают в среднепалеозойских осадочно-вулканогенных образованиях (Урупское, Худесское и др.). Осадочные месторождения типа медистых песчаников залегают в толще метаморфизованных терригенных отложений нижнего протерозоя (Удо-Камское Месторождение в Читинской обл.). Содержание в рудах 0,2-4%. Значит. запасы меди сосредоточены в комплексных полиметаллических месторождениях.

Главным источником *никелевых и кобальтовых руд* являются магматические месторождения, расположенные в Норильском рудном районе (Норильское-1, Талнахское, Октябрьское и др.) и на Кольском полуострове (Ждановское, Каула, Аллареченское, Ниттис-Кумужья-Травяная и др.). Сульфидные руды этих месторождений являются комплексными: они содержат, кроме того, медь, никель, платину. Экзогенные месторождения силикатных никель-кобальтовых руд известны на Урале (Серовское, Черемшанское, Синарское, Липовское, Буруктаьское и др.). В Тувинской АССР разведано комплексное Хову-Аксинское месторождение мышьяково-никель-кобальтовых руд.

Table 2.4 Distribution of mineral resources in Russia by economic planning region (58)

%	

Value share share	of Russian resources/Valuc of region resources*
Total	Explored Projected
Economic district reserves	reserves' resources'
Far East 34.4/100	5.2/1.6 40.4/97.4
Western Siberia 26.2/100	45.9/18.3 23.5/74.4
Eastern Siberia 26.1/100	12.3/4.9 28.5/90.7
North 5.4/100	18.5/35.9 3.0/56.4
Urals 3.1/100	8.7/28.9 0.9/24.8
Blackearth Centre 2.3/100	3.1/14.2 2.0/71.6
Volga 1.4/100	2.9/21.9 1.1/66.1
North Caucasus 0.8/100	2.4/30.6 0.5/44.4
Centre 0.1/100	0.4/32.4 -/33.4
North-west 0.1/100	0.4/39.0 • 0.1/31.0
Volga-Vyatka 0.1/100	0.2/28.6 -/23.6
Russian Federation 100/100	100/10.4 100/82.9
a Percentage share of resources in individual economic region, limited to explored reserves and projected resources. Figures the level and extent of indicate exploration in each specific region.	
b Explored or proven reserves encompass A, B and d of the Soviet mineral resource classification scheme. Explored consist of the most highly resources proved part of a minerals base which has been investigated (category A), thoroughly deposits whose characteristics have not been evaluated so thoroughly (category B) and resources which have not been well defined or delineated (category Ci).	
c Projected or undiscovered resources of basins, areas and fields are estimated by analogy with similar and explored resources elsewhere. They are subdivided into three categories: projected resources of explored deposits or those under exploration (P [^]); projected resources undiscovered deposits to exist on the basis of thought evidence from geologic surveys, prospecting, and geophysical and geochemical tests (P [^])', and projected resources of potentially promising areas where new deposits may be discovered (P [^]).	

Наибольшие ресурсы *свинцово-цинковых руд* сосредоточены в месторождениях колчеданного и стратиформного типов, значительно меньше - в метасоматических, скарновых и жильных. К колчеданным месторождениям палеозойского возраста относятся многочисленные полиметаллические месторождения Рудного Алтая, в т.ч. расположенные в пределах Алтайского края (Корбалихинское Месторождение, Степное, Серднее, Золотушинское и др.). Свинцово-цинково-медное оруденение этих месторождений приурочено в основном к среднедевонским метаморфическим месторождениям вулканогенно-осадочным породам. Обычно руды содержат цинка больше, чем свинца, а свинца больше, чем меди. Районом палеозойского колчеданного полиметаллического оруденения является Сев. Забайкалье, где выявлены месторождения Озерное, Холоднинское месторождение. Небольшие колчеданные месторождения расположены в пределах Алтае-Саянской складчатой области (Салаирская и Уральская группы месторождений, Кызыл-Таштыгское месторождение). К стратиформным месторождениям большинство исследователей относит Горевское метасоматическое месторождение, расположенное в Енисейском крае, в рудах которого преобладает свинец (среднее отношение Pb:Zn равно 1:0,2). К этому же типу относится месторождение Сардана на р. Алдан, (отношение Pb:Zn равно 1:4). К метасоматическим относятся месторождения, залегающие в нижнекембрийских карбонатных породах Вост. Забайкалья (Благodatское и др.). Свинцово-цинковые месторождения скарнового типа известны в Сихотэ-Алинской складчатой области (месторождения Дальне-горской группы) и в Южном Приморье (Вознесенское цинково-флюоритовое месторождение). Мезозойскими являются жильные полиметаллич. м-ния на Сев. Кавказе (Садонское, Згидское, Архонское, Эльбрусское и др.), в Вост. Забайкалье (месторождения Нерчинской группы). Жильные месторождения и рудопоявления послемезозойского возраста выявлены в Южном и Западном Верхоянье, в Яно-Чукотском районе и на п-ове Камчатка. Большинство свинцово-цинковых месторождений характеризуется комплексным составом руд: наряду со свинцом и цинком содержат медь, олово, благородные металлы, редкие металлы и элементы, а также серный колчедан, иногда барит и флюорит.

Преобладающая часть *оловорудных месторождений* России имеет мезозойский возраст и связана с Тихоокеанским рудным поясом и зонами мезозойской активизации в Восточном Забайкалье. Месторождения представлены в основном касситерит-сульфидными и касситерит-кварцевыми рудами. Оловорудные месторождения известны в Якутии (Депутатское, Эге-Хайское, Алыс-Хайское, Илин-Тасское, Бургочанское, Кустерское), на Чукотке (Иультинское, Валькумейское, Пыркакайский оловорудный узел), в Хабаровском крае (Солнечное, Фестивальное, Перевальное и др. месторождения Комсомольского рудного района), в Приморском крае (Хрустальное, Верхнее, Арсеньевское, Левицкое, Дубровское), в Забайкалье (Хапчериктинское, Шерловогорское, Этыкинское и др.). Оловорудные месторождения выявлены также в Карелии (Кительское, расположенное вблизи Питкярепского месторождения). В Якутии и Магаданской области известны оловоносные россыпи.

Вольфрамовые и молибденовые руды концентрируются в основном в скарновых, гидротермальных жильных штокверковых месторождениях. К первым относится Тырныаузское месторождение комплексных вольфрам-молибденовых руд на Сев. Кавказе, приурочено к мощной зоне развития скарнов и скарнированных мраморов. Вольфрамовые месторождения скарново-грейзеново-сульфидного типа известны на Д. Востоке (Восток-2, Лермонтовское). К грейзеновым относятся Орехитканское штокверковое молибденовое и Спокойнинское вольфрамовое (Забайкалье) месторождения. Гидротермальные месторождения молибдена и вольфрама известны в Забайкалье (молибденовые Шахтаминское, Бугдаинское, Жиренское; вольфрамовые

Холтосонское, Инкурское), в Кузнецком Алатау (Сорское молибденовое), на Чукотке (Иультинское оловянно-вольфрамовое).

Главным источником *титановых руд* являются древние (погребённые) прибрежно-морские, а также аллювиальные и аллювиально-делювиальные россыпи ильменита и др. титаносодержащих минералов неогенового, палеогенового, мезозойского и палеозойского возраста. Они распространены на Вост.-Европейской платформе, на Урале, в Зап. и Вост. Сибири, в Забайкалье. Значит, интерес представляют метаморфогенные россыпи Башкирского антиклинория, обогащенные ильменитом и цирконом. В Коми АССР расположено Ярегское м-ние в нефтеносных песчаниках ср. девона, представляющее собой погребённую древнюю россыпь, в к-рой гл. рудным минералом является лейкоксен. К магматическим м-ниям относится Кусинская группа м-ний ильменит-магнетитовых и ильменит-титаномagne-титовых руд на Юж. Урале (Копанское, Медведевское, Маткальское и др.), приуроченных к габбровым массивам. К этому же типу относятся Пудожгорское (Карелия), Елеть-Озеро (Кольский п-ов), Кручининское (Забайкалье), Лысанское и Малотагульское (Вост. Саяны) м-ния. Метаморфические м-ния известны в древних кристаллич. сланцах на Среднем (Кузнечихинское) и Южном (Шубинское) Урале.

На Урале широко развиты породы габбро-пироксенит-дунитовой формации, с к-рыми связаны м-ния ванадий* содержащих титаномagnetитов (Качканарское и др.). Имеются также небольшие м-ния ванадия в зонах окисления полиметаллич. руд. На побережье Каспийского м. и Курильских о-вах обнаружены прибрежно-морские россыпи ванадийсодержащих титаномagnetитовых песков. Повышенное содержание ванадия установлено в угольных и железорудных м-ниях, а также в высокосернистых нефтях Волго-Уральской провинции.

Ресурсы алюминиевых руд - бокситов, нефелинов и других видов алюминиевого сырья.

Месторождения высококачественных бокситов геосинклинального типа разведаны на Сев. Урале. Месторождения бокситов, формировавшиеся в геосинклинальных или субгеосинклинальных условиях, выявлены также на Юж. Урале и в Зап. Сибири. Месторождения бокситов платформенного типа расположены в Европейской части России - переотложенные бокситы Тихвинского (содержание Al_2O_3 35-49%) и Североонежского (49-53%) бокситоносных районов, а также месторождения, связанные с разрушением кор выветривания на Сибирской платформе (Чадобецкая, Приангарская и Татарская группы месторождений). Латеритные (остаточные) месторождения бокситов в нижнепалеозойских корах выветривания выявлены в Белгородском районе Курской Магнитной Аномалии (Висловское месторождение; 49-51%) и на Ср. Тимане (Вежаю-Ворыквинское и др.; 36-55%). Освоено производство глинозема и получение алюминия из нефелиновых концентратов апатит-нефелиновых руд Хибинских месторождений (Кольский полуостров), из нефелиновых сиенитов (уртитов) Кия-Шалтырского месторождения (Кузнецкий Алатау). Перспективным алюминийсодержащим сырьем считаются также т.н. сыныриты (калий-алюмосиликатные породы. Сынырского массива) в Забайкалье, к нитовые сланцы Кейвского плато на Кольском полуострове, силлиманитовые сланцы Бурятии (Кяхтинское месторождение), алуниты Д.Востока (Аскупское месторождение) и др.

Наиболее значит. м-ниями *сурьмяных руд* на территории России являются гидротермальные м-ния жильного типа в Енисейском кряже (Раздольнинское и Удережское), в Якут. АССР (Сарылах, Сентачанское).

Значительно шире распространены гидротермальные м-ния *ртутных руд*, в т. ч. на Сев. Кавказе (Перевальное, Сахалинское, Белокаменное и др.), в Кузнецком Алатау (Белоосиповское), а Горн. Алтае (Чаган-Узунское, Акташское), в Тувинской АССР (Чазадырское, Терлиг-Хаинское), на Чукотке (Зап.-Палянское и Пламенное), в Корякском нагорье (Тамватнейское, Олюторское, Ляпганайское и др.), на п-ове Камчатка (Чемпуринское и др.), на о. Сахалин (Светловское).

Руды редких металлов.

На Кольском п-ове, в предгорьях Кавказа, на Урале, в Сибири и на Дальнем Востоке, известны месторождения, рудопроявления и зоны минерализации различных генетических типов, содержащие повышенные концентрации редких и рассеянных элементов. Танталониобиевые руды в щелочных породах, расположены в пределах Балтийского щита и относятся к многофазным интрузивам центрального типа. Основной рудный минерал — лопарит. Другим генетическим типом м-ний редких металлов являются разнообразные ниобийсодержащие карбонатиты, связанные с глубинными разломами на древних щитах и платформах ниобия. Высокие содержания тантала отмечены в танталоносных пегматитах Вост. Сибири. Носителями бериллиевой минерализации являются редкометалльные пегматиты и полевошпатовые метасоматиты, скарны и др. минеральные формации. Гранитные пегматиты и связанные с некоторыми гранитами грейзены служат источником лития. Повышенные концентрации германия встречаются в железных рудах и углях.

Известны м-ния руд *золота* разных генетических типов. Скарновые м-ния известны в Сибири (Ольховское). Рудные тела представлены линзами и жилами, осложнёнными апофизами. Наиболее распространены гидротермальные м-ния, среди к-рых выделяются разл. золото-кварцевые формации. К золото-кварц-сульфидной формации относятся Березовское месторождение на Урале, Дарасунское м-ние в Забайкалье. Практический интерес представляют вулканогенные гидротермальные м-ния в архейских офиолитовых породах в пределах платформ и в молодых позднегеосинклинальных андезит-липаритовых комплексах (область Тихоокеанского рудного пояса). Для этих м-ний характерны сложный состав руд и неравномерная бананцевая концентрация золота, часто совместно с серебром. М-ния золото-кварц-халцедон-сульфидной формации (Балейское, Тасеевское в Забайкалье) представлены штокверками, линейными жильными зонами и отдельными жилами, сопровождаемыми ореолами вкрапленного оруденения. В их пределах промышленные золотые руды образуют рудные столбы. Карамкенское м-ние (Охотско-Чукотский вулканический пояс) на Северо-Востоке России относится к золото-серебро-кварц-адуляровой формации и представлено жилами и их пучками. В Сибири широко развиты метаморфические чёрные углеродсодержащие сланцы докембрийского возраста, в которых рассеянная первичная золотоносность под воздействием метаморфизирующих агентов была перегруппирована с образованием промышленных м-ний золотых руд. В Магаданской обл., Якутии, Вост. Сибири, Забайкалье выявлены и разведаны россыпные м-ния, среди к-рых которых наибольшее значение имеют аллювиальные россыпи.

Все промышленные м-ния *серебряных* руд являются постмагматическими. Большая часть м-ний принадлежит к вулканогенно-гидротермальным образованиям. К серебряно-золотой формации относится Хаканджинское м-ние в Охотско-Чукотском вулканическом поясе, к серебряно-свинцовой формации — Мангазейская группа серебряно-полиметаллических м-ний в Якутии.

М-ния металлов *платиновой группы* представлены позднемагматическими коренными и россыпными типами. Позднемагматическое Нижнетагильское м-ние входит в т.н. платиновый пояс Урала. В России известны элювиальные, делювиальные и аллювиальные россыпи платиноидов. Среди них главное промышленное значение имеют позднечетвертичные аллювиальные россыпи Урала, вытянутые по долинам рек на несколько км, в значительной мере отработанные. Платину и металлы платиновой группы извлекают попутно также из сульфидных медно-никелевых руд магматических м-ний.

2.2.3. История освоения ресурсов цветных металлов.

Во 2-ой половине 4-го и в 3-м тыс. до н.э. в Приуралье, на Урале, в Минусинской котловине и др. возникает производство меди. В конце 3-го и особенно с середины 2-го тыс. до н.э. медные, свинцовые и оловянные месторождения разрабатываются на Алтае, в Сибири и особенно на Ср. и Юж. Урале, где обнаружено около 150 древних разработок медных руд, имевших выходы на поверхность. К этому периоду относят разработки Карагалинских месторождений медистых

песчаников. Крупные по масштабам работы велись во 2-м и 1-м тыс. до н.э. на Гумешевском малахитовом руднике, где глубина разработок достигла десятков м. Во 2-й пол. 2-го тыс. - нач. 1-го тыс. до н.э. велась добыча оловянных руд на Калбинских рудниках (месторождения Чудское, Крык-чурук, Урунхайское и др.). На рудниках бронзового века добывали руды меди, олова, золота (на Урале, Алтае, в Минусинской котловине). Добыча велась в ямах, котлованах, канавах (т.е. открытым способом) и шурфами, примитивными шахтами. Объектами разработки в 1-м тыс. до н.э. - первых веках н.э. были месторождения золотых, свинцовых, серебряных, медных руд, получившие известность в 18 в.: Змеиногорское, Салаирское, Золотушинское, Березовское, Риддерское, Бухтарминское, Зыряновское, Сайгачское и др.

В 1-м тыс. до н.э. в Приуралье, в басс. Сев.Двины и Печоры жили финно-угорские племена, позднее носившие название "чудь". В их могильниках найдены бронзовые и медные орудия, металлическая посуда; обнаружены также следы примитивной разработки медных руд.

В 6-9 вв. на территории Восточной Европы расселяются славянские племена, у которых появляются первые ремесленные центры. Это приводит к резкому увеличению добычи руд железа и меди, каменных материалов (гл. образом известняка), глины, минеральных красок, соли, драгоценных камней (самоцветов). "Ямные" горны, в которых производилась варка железа в 9 в., обнаружены на землях вятичей. Примерно в это время добыча железных руд ведется в районе Устюжны-Железнопольской, на р. Молога.

С образованием Московского государства и свержением монголо-татарского ига (1480) формируется феодально-сословная монархия, развиваются промышленность и торговля, начинается интенсивное заселение Урала, а затем Сибири. Развиваются также горные промыслы, которые организуют купцы и ремесленники, получившие царские грамоты на поиски и разработку полезных ископаемых (кроме золотой и серебряной руды).

В 1491 на р.Печора отправляется первая в России специализированная экспедиция для поиска серебряной руды. Этой экспедицией были открыты месторождения серебряных и медных руд на р. Цильма, где был построен медный рудник, позволивший России начать чеканку разменной монеты из собственного металла.

В 17 в. в Русском государстве возникли мелкие промышленные предприятия типа мануфактур, в т.ч. горные промыслы. В связи с ростом промышленного производства начались интенсивные поисковые работы на железные, серебряные, медные руды, слюду, самоцветы, которые велись поисковыми партиями, состоявшими на службе у царя или у крупных купцов, а также местными жителями на обширной территории, включая Урал и Сибирь, где освоению минеральных богатств сопутствовало строительство новых городов: Тюмень (1586), Тобольск (1587), Мнгазея (1601), Томск (1604), Енисейский острог (1619), Красноярский острог (1628), Братский острог (1631), Якутский острог (1632).

В 1617-18 гг. на р.Яйва (приток Камы) и на правом берегу Камы были открыты Кужгорское и Григоровское месторождения медистых песчаников. Их разработка привела к созданию в 1635 Пыскорского медеплавильного завода. Медные руды во 2-ой пол. 17 в. выдвигаются на первое место по значимости среди минеральных ресурсов.

С 60-х гг. 17 в. формируется горно-металлургическое производство в Олонецком крае: в 1666 были открыты месторождения медных руд и начата их добыча. В 1670 на Спровом Ручье при впадении его в Путозеро был построен медеплавильный завод, руда для которого, видимо, добывалась в рудниках "Ковжезерский" и "Успенский" и в Меднояне (в 1679 на его месте был основан Спировский завод). С 1669 поморами добывалось серебро, которое шло в основном на изготовление церковной утвари.

Освоению рудных богатств Сибири способствовало создание в 1637 Сибирского приказа, который организовывал в осн. по сообщениям местных жителей поисковые партии с привлечением опытных рудознатцев и горных мастеров. В частности, такие поисковые партии обследовали выходы серебряной руды на левом берегу Енисея.

В 1678 в Нерчинском крае были открыты месторождения серебряных руд, основан Нерчинский острог и началась эксплуатация рудников "Большой Култук" и Малый Култук". В 1700 был построен Нерчинский сереброплавильный завод. В 1666 на Урале близ Верхотурского тракта (с.Мурзинка) рудознатец Дмитрий Тумахов нашел залежи медной руды и цветные камни, в т.ч. 2 изумруда (первые изумруды Урала). В 1668 рудознатец Ж.Оглобинских открыл "камень хрусталь" и "камень лазуревое и красное" на Колыме.

В последней четверти 17 в. границы государства расширились на Восток и Северо-Восток до Амура, Анадыря и мыса Дежнева. В связи с этим особенно интенсивно велись поисковые работы в Сибири, в частности в Забайкалье.

В 1698 мастера из Москвы проводят в Нерчинском крае дробную плавку серебряной руды, которая была найдена на Юге Забайкалья, на р. Аргунь, близ с.Нерчинский Завод; в 1704 на р. Алтача осн сереброплавильный завод вблизи древних копей на г.Култучная.

В 17 в. происходила концентрация капитала в руках мелких товаропроизводителей, специализация производства, началось освоение крупных месторождений и, как следствие, создание мануфактур, в т.ч. горных заводов.

Петр I организует первую русскую горную администрацию: Приказ рудокопных дел. За открытие руд устанавливается денежное вознаграждение, а за сокрытие - наказание. Важным стимулом развития горного дела в России стал указ Петра I о свободе горного промысла, т.е. об отделении прав на недра Земли от прав на поверхность (отменен Екатериной II). В России начинается подготовка горн. мастеров в горнозаводских школах, созданных в Невьянске (1709), при Олонецких заводах (1715), Кунгурском и Уктусском горн. заводах (1721), в горн. школе в Екатеринбурге (1724).

Это позволило квалифицированно вести геол. поиски, опробование руд, а также усовершенствовать технологию добычи. Благодаря этим мерам горнозаводское дело развивалось быстрыми темпами.

В 30х гг. 18 в. у истоков р.Выг был построен Воицкий медный рудник. На Олонецких заводах начинается производство горнозаводской техники.

В 1725 построен Полевский медеплавильный завод (на базе Гумешевского месторождения, в 1731 - Троицкий (Талицкий) медеплавильный завод.

Событием явилось открытие крестьянином Е. Марковым в 1745 Березовского месторождения, в 1757 был осн. рудник и завод - колибель уральской золотопромышленности. В 1760 на р.Исеть построена первая в России обогатительная фабрика для извлечения золота.

В 1725 А.Н.Демидов основывает первый на Алтае Локтевский (Колывано-Воскресенский) медеплавильный завод. Значительное содержание в рудах серебра позволило Демидову организовать тайную выплавку этого металла на заводе и чеканку монет, а также основать вблизи ряд заводов, получивших общее название Колывано-Воскресенских. В 1746 эти заводы были переданы царской фамилии. В 1749 были обследованы серебряные руды по рекам Тыра и Кандой, и основан рудник. В 30-е годы 18 в. развивается добыча медных руд и строительство заводов в Казанской губернии и в Кунгурском уезде.

В 1733 архангельские купцы Ф.Прядунов и Е. Собинский доложили императрице о добыче 35 фунтов чистого серебра на Медвежьем о. в Белом м., позже там были построены рудники "Орел", "Надежда", "Стрельна", "Бояре" (1735-41). В эти же годы поморы открыли медные руды и самородное золото, для добычи которых действовали Лапландские заводы (закрылись в 1745).

С середины 18 в. горнозаводское дело перерастает в крупную отрасль промышленности России: в 1750 действовало 72 железорудных (в т.ч. чугунолитейных) и 29 медеплавильных заводов, которые выплавляли 3 тыс. т чугуна (1-е место в мире) и 900 т меди. Ведущее положение занимает Урал. В 1754 было открыто Миасское месторождение медной руды (в 1776 построен Миасский медеплавильный завод). Горнопромышленник И.А.Мосолов в конце 60-х - начале 70-х гг. 18 в. открывает новые месторождения медных руд на башкирских землях. В 1770 служащий Домрянского медеплавильного завода (ныне пос.Добрянка) Строгановых Ф. Салатанов нашел

медные руды на р.Сыстуханская; 1782 посланные от завода рудознатцы Н.Пермяков и К.Третьяков обнаружили медные руды в 7 местах на рр.Чусовая, Комариха, Каменка.

В 1788 пущены в эксплуатацию медные рудники в Агинской степи и верховьях рр.Онон и Борзя. Всего в Нерчинском крае в 18 - нач.19 вв. было открыто ок. 500 месторождений, из которых 120 разрабатывались.

Во 2-й половине 18 в., благодаря введению в эксплуатацию месторождений полиметаллических руд с высоким содержанием серебра, на Алтае, Якутии и в Забайкалье происходит становление металлургической отрасли по выплавке серебра. На Алтае, в частности, разрабатываются крупные месторождения: Змеиногорское (1744), Березовское (1756), Семеновское (1763), Черепановское (1760), Риддерское (1786), Петровское (1787). На этой базе формируется центр по выплавке серебра; Барнаульский (1739-1893), Павловский (1764-1893), Сузунский (1764-1880), Локтевский (1783-1893) сереброплавильные заводы. В связи с развитием добычи серебряных руд резко возрастает выплавка свинца (свыше 1/3 мирового производства). На Ю.Забайкалья строятся сереброплавильные заводы (Дучарский, 1760; Кутомарский, 1763; Шилкинский, 1769; Воздвиженский, 1776; Екатерининский, 1777; Газимурский, 1778 Сибиряковский 1776). В 1765 в Якутии на р.Юндыбал обнаружено месторождение серебряной руды, которое разрабатывалось в 1774-81. Серебряные руды в этот период добывались также на рудниках "Эчигальский" и "Мюкесеевский" на Лене. Это позволило России выдвинуться на одно из ведущих мест в мире по производству серебра.

После выработки месторождений легкоплавких богатых медных руд начинают закрываться медные заводы Центр. Урала. На Юж. Урале такие заводы еще продолжали работать, получая руду с Каргалинских медных месторождений (содержание меди 5%), а на Сев.Урале работали заводы на руде Турьинских рудников (15% меди). В нач.19 в. Урал по-прежнему сохраняет монопольное положение в России по добыче и выплавке меди (эксплуатируется св.30 месторождений). Добыча оловянных руд велась в 2 районах: в Карелии на месторождении Питкяранта (открыто в 1814, разработка в 1842-1904) и на Агинском месторождении в ср. течении р.Онон (разрабатывалось в 1811-59).

Важнейшее значение с нач. 19 в. приобретает разработка россыпных месторождений золота и платины, которые становятся на длительный период ведущими объектами горной промышленности России. Крупным событием явилось открытие горн.мастером Л.И.Бресницыным эффективного способа пром. промывки россыпей золота в 1814 (долины рр.Березовка и Пышма), где он заложил Мельковский, Даниловский и Становский прииски. Это послужило началом открытия и быстрого освоения золотых россыпей Урала, становления золотопромышленности России. Начинается отток рабочей силы в эту отрасль. Развитию добычи золота способствовало разрешение частной организации работ. Первым из частных заводов занялся разработкой золотоносных россыпей в 1819 Нейвинский завод Яковлевых. В 1860 на его приисках годовая добыча золота достигла 270 кг. Разработка золотоносных россыпей по сравнению с заводскими производством отличалась небольшими капитальными затратами, быстрым по времени получением конечного продукта, высокой его стоимостью и устойчивым спросом на золото. В 20-х - нач.30-х гг. ежегодная добыча золота достигла 640 кг; на приисках работало до 5000 чел.. Открытие первых россыпей золота в Сибири в Мариинской тайге (рр. Тчерикюль, Макарак, Кундат) поисковыми партиями купца А.Попова в 20-х гг. 19 в. привело к созданию там крупных приисков. Открытие этих россыпей привело к широким поисковым работам в Сибири. В 1830 Мордвинов нашел золото на р.Фомиха (Егорьевский золотой прииск), а затем были открыты россыпи золота по рр.Суенья, Березовка, Троицкая, Чесноковка, Николаевка, Поперечная, Белая, Осиповая и др. В 1836 были открыты золотые россыпи по р.Хорма. В Забайкалье в 1832 по р.Кара (левый приток р.Шилка) были обнаружены богатейшие россыпи золота, положившие начало развитию золотой промышленности в этом районе. В 1840-е гг. основаны крупные прииски, отрабатывавшие многие десятки россыпных месторождений золота в Забайкалье: Иннокентьевское (1844), Еленинское на р.Витим (1845).

В 1840 партии купца Т.Зотова открыли золото по р.Октолика, впадающей в Вангаш, а также россыпи по рр.Севагликон и Калами. Открытие золота в Вост. Сибири привело к возникновению там крупных золотопромышленных предприятий. Потребность русского правительства в золоте увеличивалась. Это вынуждало изыскивать источники пополнения золотого фонда. Поэтому во 2-ой пол.19 в. русское правительство посылало геологические партии на поиски новых золотоносных районов.

В 50-х гг. в связи с включением в состав России Приамурского края начались поиски золота на Д.Востоке. В 1840 были открыты и начали эксплуатироваться золотые россыпи Бадайбинской золотоносной обл., в 1840 открыты Олекминские россыпи (пром.эксплуатация - с 1852). Для разработки этих месторождений в 1861 было создано "Ленское золотопромышленное товарищество" ("Лензото"). В 1845 поиски золота проводились в г.Кузнецкого Алатау, от верховий Томи до р.Верхняя Терсь, в нач. 2-ой пол. 19 в. управление Алтайских заводов перенесло поиски золота на рр. Бия, Лебедь, Песчаная и Ануй, а также на вост. склоны Калбинского хр. На приисках Урала и Вост. Сибири производилось (чистый металл, т): 1820 - 0,32; 1830 - 6,27; 1850 - 7,5; 1860 - 24,42, т.е. в сер.19 в. Россия давала 40% мировой добычи золота (1-е место в мире).

После открытия первой россыпи платины на р.Уралиха (1819) там в 1824 строится Царево-Александровский платиновый прииск. Затем горн.офицер Галляховский открывает платиновые россыпи: Покровскую на р.Известная, Царево-Елисаветинскую на р.Мельничная и др. Вскоре на р.Нижний Тагил были обнаружены богатейшие Сухо-Висимские месторождения россыпной платины (встречались крупные самородки); в 1829 - Исовское золото-платиновое месторождение. Более детальное исследование недр Урала позволило в 1826 открыть первое в России месторождение графита, а в 1829 - первое месторождение алмазов (басс.р.Койва).

К началу 19 в. ведущее положение в разработке месторождений полиметаллов занимает Алтай. На базе богатых месторождений полиметаллических руд (Зыряновское, 1791, разработка с 1798; Заводинское, 1820, и др.) в течение мн. лет сохраняется ежегодная добыча более 19 в. были выявлены и начали эксплуатироваться месторождения руд олова (оловянные прииски Ононский, Кулундинские, Завитинские).

Разведочные работы на руды организуются в Кузнецком крае. здесь в 1816 построен Гурьевский сереброплавильный завод.

В 1847 по р.Малое Печище (Саяны) было открыто медное месторождение и началось строительство Спасского медеплавильного завода. В 1850-72 в долине р.Малая Быстрая добыто ок. 50 т лазурита, около 10 т нефрита. В 1870-е гг. были разведаны Солнечное. Пуринское, Новотроицкое и др. месторождения флюорита; руда их шла в сереброплавильное производство.

Во 2-й пол. 19 в. усилился процесс свертывания добычи железных, медных и серебряных руд на Урале и в Сибири. Закрываются медные рудники на Урале (дольше всех работали Каргилинское и Турьинское месторождения), из 800 разведанных месторождений Алтая разрабатываются лишь несколько десятков. Прекращается разработка серебряных руд и закрываются сереброплавильные заводы в Забайкалье: Дучарский (1849), Екатерининский (1852), Воздвиженский (1852), Нерчинский (1853) и др. В конце 19 в. закрываются крупные алтайские горн. заводы: в 1893 - Барнаульский, Павловский, Локтевский, Змеевский сереброплавильные, в 1897 - Сузунский медеплавильный и др. Упадок горнозаводской промышленности Урала, Алтая, Забайкалья и ряда др. районов во 2-й пол. 19 в. объясняется отсталой технологией рассчитанной на массовое применение дешевого ручного труда. Однако Урал остается основной железорудной базой России, обеспечивая около 75% всей добычи (20-25% приходилось на Центр.Россию). На Урале разрабатывается первое в России Петровское месторождение никелевых руд (с 1855), что позволило заложить основы никелевой промышленности (в 70-е гг. 19 в.).

В 70-х гг. 19 в. проф.А.А.Иностранцев обнаружил на побережье Кольского полуострова свинцовое оруденение, в 1875 закладывается свинцово-цинковый рудник на Медвеьем о. В районах устья р.Печенега, Базарной и Сторловой губернии в 80-х гг. 19 в. открывают месторождения серебряных руд.

Широкий размах в 60-е - 80-е гг. 19 в. приобретают разведочные и добычные работы на золото. Начинается пром. добыча золота в Хакасии (прииски "Пророк-Ильинский" и "Веселый" по р.Большой Кызас, 1868). Самыми крупными были прииски на р.Лена и ее притоках (Витим и Олекма).

Важнейшим районом добычи золота оставалось Забайкалье, которое обеспечивало в 80-е гг. ок.40% производства золота в России. В этот период для разработки россыпей применяются простейшие драги, золото извлекается на золотопромывочных фабриках.

По добыче медных руд Урал ранее не имел конкурентов. Истощение верх. зон легкоплавких руд с содержанием металла 5-15% привело к необходимости использования медистых колчеданов (2,5-3,5% меди). Способ выплавки меди из колчеданов был найден в нач. 20 в. на Карабашском медном заводе (Ср.Урал). В 1888 было открыто Дегтярское меднорудное месторождение, разработка которого началась в 1914. В 1910 начинается добыча полиметаллических руд в Приморье ("Акционерное общество в Тетюхе") на базе разведанного в 1897-1902 Дальнегорской группы месторождений свинца, цинка и олова.

В 1910 в России действовали 1100 мелких рудников и приисков по добыче золота (около 60% золота добывалось старателями). Разработки были мало механизированы - эксплуатировались 54 драги и 75 небольших гидравлических установок. Доля иностранного капитала в России в производстве золота составляла около 50% (1913). Золоторудная промышленность занимала 2-е место в России среди горнодобывающих отраслей по числу работающих (84 тыс.чел., 1913).

В 1910-11 гг. было обнаружено золото на Алдане. Богатые россыпи были обнаружены по р.Тимптон, где заложили Лебединый прииск, а также на р.Сугам. Поиски золота на Алдане возобновились по р.Томмот, и в 1916-17 гг. открыто золото по р. тырканда. Возрастает добыча золота в Хакасии: на руднике "Думный" (в басс.р.Абакан, 1898), вводится в эксплуатацию крупный рудник "Богомдарованный" (басс.р.Белый Июс, 1899). К нач.1900 наибольшее количество золота добывалось в Вост. Сибири.

На Урале добывалась практически вся платина. Серебряные руды добывались в осн. на Алтае, Урале и Забайкалье. В 1897 в Приморском крае открыто Дальнегорское полиметаллическое месторождение (разработка с 1932). Основу минерально-сырьевой базы свинцово-цинковой промышленности составляли месторождения Сев.Кавказа (Згидское, Садонское, Эльбрусское), Зап.Сибири (Змеиногорское, Золотушинское, Лазурное, Салаирское), Забайкалья (Благодатское, Кадаинское, Михайловское, Савинское), Д.Востока (Тетюхе).

Открытие и разработка месторождений полезных ископаемых в России в 19 веке были основой для организации пром. производства в стране, послужили стимулом для освоения Урала, Забайкалья, др. районов Сибири, Д.Востока. Однако на освоение открытых месторождений п.и. накладывало отпечаток несовершенства горнодобычного оборудования, в разработку вовлекались только месторождения с высоким содержанием металла в руде, как правило, неглубоко залегающие. Вследствие этого многие открытые месторождения не были вовлечены в разработку, большое количество месторождений было отработано частично, т.е. была извлечена богатая, легкодоступная часть руды, после чего рудники забрасывались. Несовершенные методы и техника разведки не позволили выявить месторождения п.и. на относительно больших глубинах и в труднодоступных (в т.ч, северных) районах.

В истории освоения минеральных ресурсов крайнего Севера и Восточной Сибири необходимо отметить роль ГУЛАГА, который успешно продолжая Российскую традицию освоения минеральных ресурсов через остроги, тюрьмы и ссылки, активно функционировал в этих районах с начала 30-х годов. Так например Норильский медно-никелевый комплекс построен руками заключенных на месте открытого в 1919-22 гг. месторождения экспедиций Н.Н. Урванцева. Не только добыча, но и геолого-разведочные работы проводились заключенными и сосланными геологами, которыми были открыты месторождения золота, олова, вольфрама и др. полезных ископаемых.

2.2.4. Минеральные ресурсы и горная промышленность экономических районов России.

На территории России с учетом природных и экономических особенностей выделяют 11 экономических районов. Однако, не все регионы связаны с цветной металлургией. Мы выделили 6:

- Северо-Запад, в том числе Кольский полуостров;
- Северный Кавказ;
- Урал;
- Западная Сибирь, в том числе Алтай;
- Восточная Сибирь (Прибайкалье, Забайкалье, Красноярский край, Тува);
- Дальний Восток (Приморье, Сахалин, Амурская область, Хабаровский край, Колыма, Чукотка, Камчатка, Якутия).

2.2.4.1. Северо-Запад России.

В состав экономического региона входят Ленинградская, Новгородская, Псковская, Вологодская, Архангельская (в т.ч. Ненецкий автономный округ), Мурманская и Калининградская области, Карелия и Коми. Площадь около 1,6 млн.км². Население 15,1 млн. человек (на 1 января 1987г.).

Геологическое строение и полезные ископаемые.

Позднеархейский, кольский, этап геологического развития характеризовался формированием кольско-беломорского метасадочно-вулканогенного комплекса, интенсивным проявлением магматизма, метаморфизма, складчатости. С базальт-дацитриолитовыми формациями связаны железорудные месторождения (джеспилиты), с габбронорит-лерцолитами и вебстеритгабброноритами - медно-никелевое (Ловно) и титаномagnetитовое (Колвицы) оруденение. С габро-норит-перidotитовыми (Мончетундра) и габбро-верлитовыми (Печенга) комплексами связано сульфидное медно-никелевое оруденение, с гранитоидами - слюдяные и амазонитовые пегматиты, редкие металлы.

В течение позднего протерозоя кольский рудный район подвергался размыву. Каледонско-герцинский период ознаменовался вспышкой тектоно-магматической деятельности, формированием глубинных разломов, внедрением щелочных габброидов, щелочно-ультраосновных пород, нефелиновых сиенитов, с которыми связаны месторождения комплексных апатито-магнетитовых (Ковдор), апатито-нефелиновых (Хибинские и Ловозерские тундры) руд.

Горно-металлургическая промышленность.

В структуре промышленного производства топливная, горнохимическая промышленность, черная и цветная металлургия, а также промышленность строительных материалов. Разрабатываются месторождения апатит-нефелиновых, железных, медно-никелевых и редкоземельных руд, угля, природного газа и нефти, бокситов и слюды, руд благородных бокситов и слюды, руд благородных металлов, торфа, горючих сланцев и др.(см.карту). На базе месторождений действуют крупнейшие производства объединения "Апатит" и "Никель", горно-металлургический комбинат "Печенганикель", Оленегорский комбинат, Ковдорский горно-обогажительный комбинат, Ловозерский ГОК, комбинат "Ковдорслюда". Эти предприятия поставляют сырье для производства минеральных удобрений, черных, цветных и редких металлов, слюды, полевшпата, ценных сортов строительного камня.

Ведется разработка месторождений медно-никелевых руд на Кольском полуострове (месторождения Мончетундры и района Печенги). На базе месторождения Ниттис-Кумужья в 1935-38 построен обогажительный комбинат (ныне ПО) "Никель". После войны 1941-45гг. были

открыты месторождения Каула, Каммикиви, Котсельваара, разведано Ждановское месторождение вкрапленных руд. На их базе действуют горно-металлургические комбинаты "Печенганикель" и "Североникель".

В Карелии разведано Кительское месторождение олова.

Добыча бокситов зарождалась на базе открытых в 1916 Тихвинских месторождений. В 1932 начал действовать Волховский алюминиевый завод. В 1949 в Архингельской области открыт Северо-Онежский бокситовый район, расположенный на юго-восточном склоне Балтийского щита. На базе Иксинского месторождения в 1976 вступил в строй Северо-Онежский бокситовый рудник. Исходным сырьем для выплавки алюминия служат бокситы Тихвинского и Северо-Онежского месторождений и нефелины Кольского полуострова. Дальнейшее увеличение добычи сырья может идти за счет более полного использования нефелинов и освоения бокситов Среднего Тимана.

На базе месторождений апатита, а также Ковдорского железо-слюдяного производится апатитовый, нефелиновый, железный, редкометалльный, бадделитовый, вермикулитовый концентраты, никель, медь, кобальт. Разработаны оригинальные технологии получения и переработки сфенового, эгиринового и титаномагнетитового концентратов, осваивается производство плавленных магниевых фосфатов.

Особенность минерального сырья его многокомпонентный состав. Большинство руд содержит широкую гамму полезных компонентов, которые при современном уровне техники и технологии могут быть извлечены в товарные продукты.

В комплексных рудах большое значение имеют запасы редких и рассеянных элементов. Кроме получения редкометалльных концентратов - бадделитового (Zr) - Ковдорский ГОК; лопаритового (Ta, Nb, TR, Th) - Ловозерский ГОК, значительное количество рассеянных элементов содержится в концентратах других ГОКов. В медно-никелевых рудах содержатся Pt и платиноиды, Au, Ag, Se, Te и другие. В Апатитовых концентратах - редкие земли (TR), Th, а также может извлекаться Ti (перовскит). В алюминиевых рудах - бокситах и нефелинах содержится Ga.

Извлечение этих элементов освоено недостаточно, хотя технологии разработаны, а в г.Апатиты специально организован "Институт Химии и технологии редких элементов" Например апатитовые концентраты реализовывались за рубеж (свыше 30% производства) и извлечение попутных компонентов было организовано в Германии.

2.2.4.2. Северный Кавказ.

В Северо-Кавказский экономический район входят Краснодарский и Ставропольский края, Ростовская область, Дагестанская АССР, Кабардино-Балкарская АССР и Чечено-Ингушская АССР. Площадь 335 тыс.км². Население 16,5 млн.человек (на 1 января 1987 года).

Важнейшими отраслями хозяйства являются нефтяная, газовая, угольная промышленность, цветная и черная металлургия, машиностроение, промышленность строительных материалов.

Полезные ископаемые

Район располагает большим комплексом полезных ископаемых - нефтью, природным газом, углем, рудами цинка, свинца, меди, молибдена, вольфрама, ртути, солью, гипсом, строительными материалами, лечебными и минеральными водами и др.

Добыча подземным способом медных руд ведется в Ставропольском крае на базе разведанного Урупского месторождения. Здесь действует Урупский горно-обогатительный комбинат, выпускающий медный и серный концентраты.

Перспективно освоение месторождения медно-колчеданных руд Кизил-Дере в Дагестане. Добычу свинцово-цинковых руд подземным способом осуществляет Садонский свинцово-цинковый комбинат, разрабатывающий месторождения Садонского и Фиагдонского рудных

районов в Северной Осетии. В предвоенные годы район поставлял около 37% производимого в стране цинка и 7% свинца.

Добычу вольфрано-молибденовых руд ведет Тырнаузский вольфрамово-молибденовый комбинат, разрабатывающий одноименное месторождение в Кабардино-Балкарии.

Добычу ртутных руд подземным способом на Сахалинском месторождении осуществляет Краснодарский рудник.

2.2.4.3 Урал

В Уральский экономический район входят Курганская, Оренбургская, Пермская, Свердловская, Челябинская области, Башкирия, Коми и Удмуртия. Площадь свыше 0,8млн.км². Население 20,1 млн.человек (на 1 января 1987г.).

Урал старейший в стране горнорудный район развития черной и цветной металлургии. Значительное развитие получили машиностроение, химическая, лесная, деревообрабатывающая промышленность, промышленность строительных материалов, нефте- и газодобыча и их переработка.

Полезные ископаемые

Урал богат разнообразными минерально-сырьевыми ресурсами (карта).

Медно-колчеданные месторождения, приурочены к вулканитам (Гайское, Сибийское, Дегтярское, Кировоградская группа и др.). Медно-порфировые месторождения распространены на Среднем и Южном Урале. Известны россыпи и коренные месторождения золота (Березовское месторождение, Кочкарское) и платины (Исовские). В карбонатных толщах обнаружены месторождения руд полиметаллов (Саурейское, Кужинское и др.). Крупнейшие месторождения бокситов (Северо-Уральский бокситоносный район и др.районы) связаны со среднедевонскими карбонатными отложениями. Различные редкометалльные месторождения, молибденовые, вольфрамовые и др.рудопоявления обнаружены в разновозрастных, в особенности позднепалеозойских гранитоидных комплексах и карбонатитах. Еще более молодого (триас-юрского) возраста минерализация радиоактивного характера зафиксирована в связи с процессами тектоно-магматической активизации на восточном склоне Урала и в Зауралье.

Горно-металлургическая промышленность.

По разнообразным полезным ископаемым Урал занимает особое место. Минеральные ресурсы топливного, рудного, химического сырья и нерудных полезных ископаемых, отличаются высоким качеством, комплексностью и благоприятными горно-геологическими условиями

По развитию цветной металлургии Урал занимает ведущее место в CIS. Наиболее развиты алюминиевая и медная промышленности.

В пределах Уральского экономического района (в Башкирии, Свердловской, Челябинской, Оренбургской областях) известно 52 месторождения меди. На базе их выросли и действуют крупные предприятия медной промышленности Урала. Интенсивная отработка месторождений привела к снижению уровня добычи медных руд. В то же время их общие балансовые запасы остаются для региона значительными как за счет резервных, так и вновь открытых месторождений. Основной сырьевой базой меднорудной промышленности Урала служат медно-цинковые колчеданные месторождения. Запасы этих руд в основном находятся на Южном Урале, а медеплавильные заводы на Среднем. Месторождения медно-колчеданных комплексных руд имеются в Свердловской обл. (Дегтярское, имени 111 Интернационала, Красногвардейское, Тарньерское, Валенторское, Шемурское, Чусовское), в Башкирии (Сибайское, Учалинское, Октябрьское, Юбилейное, Подольское, Узельгинское. Молодёжное и др.), в Челябинской обл. (Чебачье, Александровское, Талганское, имени XIX партсъезда), в Оренбургской обл. (Блявинское, Гайское, Джусинское, Весеннее, Летнее, Осеннее, Комсомольское).

Красноуральский медеплавильный комбинат ведет отработку Волковского и Вадимо-Александровского месторождений. Обеспеченность обогатительной фабрики местным сырьем составляет 91,2 %, остальная часть руды завозится с Южного Урала. За счет вовлечения в эксплуатацию разведанных месторождений Северного Урала (в Ивдельском районе): Валенторского, Шемурского, Ново-Шемурского можно значительно улучшить структуру сырьевой базы комбината. С 1995 года началась поставка руды с Сафьяновского месторождения (Свердловская область).

Кировградский медеплавильный комбинат отрабатывает шахтами Левихинскую и Ломовскую группы месторождений, Ломовский рудник в 1993 году закрылся. Составлен проект на отработку шахтой резервного Ново-Шайтанского месторождения. Обогащенная фабрика обеспечивается местной рудой на 82,4 %, остальная часть руды завозится с Южного Урала. Медеплавильный завод специализируется на плавке вторсырья, выплавка меди из местных руд составляет лишь 6 % его производительности,

Среднеуральский медеплавильный завод перерабатывает 600 тыс. т руды с Дегтярского месторождения и 400 тыс. т привозной руды с Южного Урала. С 1995 года поставка руды с Сафьяновского месторождения. Извлечение в концентраты по фабрикам: Турьинская—93,55 %, Красноуральская — 74,86 %, Кировградская — 86,36 %, Среднеуральская - 76,3%. Извлечение меди в черновую медь в отражательных печах 94,8%, утилизация серы 54%, на Пышминском медьэлектролитном заводе извлечение меди 99,3 %.

Неблагоприятно влияние отходов обогатительных фабрик на окружающую среду. На четырех обогатительных фабриках в шламоотстойниках накоплено 90 млн. т хвостов с содержанием меди 0,09—0,35%, цинка 0,24—0,61 %, золота 0,2—1,3 г/т, серебра 2,6—15,8 г/т, серы — 7—27%. В шлакоотвалах трех медеплавильных заводов накоплено более 52 млн. т шлаков с содержанием меди 0,4—0,48%, цинка 2,46—4,53%.

На Северном Урале выявлена новая группа медноколчеданных месторождений — Тарньерское, Шемурское, Ново-Шемурское, Сафьяновское, отличающихся повышенным содержанием основных и попутных компонентов (цинк, благородные металлы, кадмий, индий, кобальт и др.)

На Южном Урале, верхнеуральском районе открыт ряд медноколчеданных месторождений, часть из которых уже отрабатывается. Запасы медных руд этих месторождений с комплексом попутных полезных компонентов (цинк, сера, золото, серебро, свинец, кадмий, индий, селен, теллур, барий) обеспечивают Учалинский ГОК на несколько десятилетий. На Урале, кроме того, имеется целый ряд небольших месторождений, отработка которых по разным причинам не планируется в ближайшие годы, хотя по геолого-экономическим расчетам может быть рентабельной. Следует отметить также, что значительные запасы меди как попутного компонента сосредоточены в железорудных месторождениях, однако медь из этих руд при переработке до последнего времени почти полностью терялась.

Медь извлекается из медно-железо-ванадиевых руд Волховского м-ния и из медно-скарновых руд Турьинского м-ния

Медногорский медно-серный комбинат разрабатывает оставшиеся запасы Блявинского м-ния с использованием метода подземного выщелачивания. Обогащение руд коллективно-селективной (Гайский и Учалинский ГОКи) и прямой селективной (Башкирский медно-серный комбинат) флотацией. Всего на Урале действуют 10 медных и медно-серных заводов и комб-тов на которых, кроме меди, получают серную к-ту, медный купорос, редкие и благородные металлы. Из медноколчеданных руд Гайского, Учалинского и Сибайского м-ний получают также цинковые концентраты, дальнейшая переработка которых осуществляется на Челябинском цинковом з-де. Руды перерабатываемые в настоящее время бедные и труднообогатимые. Сквозное извлечение меди составляет только 80%, цинка 67 %, золота и серебра 30 - 45%, серы 54 %, селена, теллура, кадмия, индия, висмута, свинца и некоторых других компонентов - единицы - первые десятки

процентов. За счет внедрения новых технологий переработки руд, использования пород вскрыши для строительных целей, утилизации хвостов обогатительных фабрик, отходящих газов и металлургических шлаков медеплавильных заводов, т.е. путем более полного использования первичного сырья, можно значительно повысить количество выпускаемой продукции, ее стоимостную отдачу и улучшить экологическую обстановку в районах медеплавильных заводов.

Наличие на Урале значительных запасов высококачественных медных и медно-цинковых руд (содержание меди в уральских рудах примерно в 1,4 раза выше среднего по медной промышленности России) предопределяют необходимость дальнейшего развития меднорудной базы Урала. Восполнение выбывающих мощностей предусматривается за счет освоения в первую очередь месторождений Южного Урала и Башкирии, где сосредоточены крупные балансовые запасы меди. При этом главное внимание уделяется развитию Гайского, Учалинского, Узельгинского горнорудных районов, имеющих развитую инфраструктуру и обеспеченных людскими ресурсами. На Среднем Урале намечается ввод в эксплуатацию второй очереди Волковского рудника и освоение нового Сафьяновского месторождения.

В перспективе — разведка и подготовка к освоению открытых в последние годы в разных районах Урала меднопорфировых месторождений. Имеются перспективы выявления промышленных медно-молибденпорфировых месторождений и медистых песчаников в ордовикских отложениях Приполярного Урала.

Комплексные редкометалльные руды, содержащие Nb, Sn, Ta и др. Разрабатываются на руднике «Вишневогорский». Обогащение руд — прямой селективной флотацией и флотогравитацией.

На Урале ведут добычу благородных металлов из россыпей (от Красноуральска до Орска) и коренных м-ний. *Березовское месторождение* разрабатывается подземным способом, в основном, системой подэтажных штреков, реже горизонтальными слоями с закладкой и магазинированием руды. Обогащение руд - флотацией.

Месторождения золота, серебра и платины известны и открыты вновь за последние десятилетия практически во всех крупных геологических структурах—от Полярного Урала до Мугоджар. Только на территории Челябинской, Свердловской и Пермской областей государственным балансом запасов учтено 12 золоторудных и около 200 россыпных месторождений. До последнего времени основными эксплуатируемыми типами золотых месторождений являются золотокварцевые жилы и россыпи. Выявлены новые типы золоторудных месторождений прожилково-вкрапленного типа. Эти месторождения располагаются на периферии массивов гранитоидов в зонах позднепалеозойской тектономагматической активизации. Есть данные о более широкой золотоносности западной структуры зоны Урала — Центрально-Уральского поднятия. Однако значительных по масштабам объектов рудного золота на западном склоне Урала не известно и золотодобыча сосредоточена главным образом на его восточном склоне - в эвгеосинклинальной области.

На Урале с его высокоразвитой промышленностью освоение средних или даже мелких золоторудных месторождений, расположенных вблизи действующих горнорудных предприятий, является выгодным. В настоящее время в Свердловской области разрабатывается 3 месторождения рудного золота, 84 золотоносных и 12 платиновых россыпей; на территории Челябинской области—4 месторождения рудного золота и 26 золотоносных россыпей, в Пермской области—2 золотоносные россыпи.

Основу сырьевой базы рудного золота составляют Березовское и Кочкарское месторождения, в перспективе—освоение вновь открытого Светпинского и Воронцовского месторождений, сырьевая база россыпного золота пополнена 14 новыми россыпями.

Общая обеспеченность запасами золотодобывающих предприятий в настоящее время составляет для рудных месторождений подземной отработки 24—30 лет, открытой разработки—

до 35—50 лет; россыпных месторождений для дражного вида добычи 15—20 лет, для гидравлического— 15—20 лет.

Платина добывается из россыпей драгами вдоль р.Ис.

Уральский алмазоносный район расположен на территории Пермской, Свердловской областей и Башкирии. Первые алмазы на Урале были найдены 1829 в бассейне р.Койва, в районе Крестовоздвижинской россыпи. С 1938 начали проводиться планомерные поисковые и разведочные работы. С 1941 ведется разработка россыпей в бассейне р.Чусовая, позднее - р.Вишера. Россыпи сосредоточены в основном на западном склоне Урала в зоне меридионального простирания свыше 1100 км, где выделяются западные и восточные полосы. На восточном склоне имеются лишь мелкие россыпи. В западной полосе (Колвинская, Красновишерская, Куся-Александровна др. группы) развиты россыпи в основном четвертичного возраста. Восточная полоса (Верхневишерская, Верхнекошвинская, Верхнекойвинская и др. группы) приурочена к межгорным депрессиям, вытянутым вдоль Главного Уральского хребта, а на юге она прослежена вдоль восточной окраины Башкирского поднятия. Россыпи в основном палеоген-неогенового возраста. Древние россыпи обычно представлены плотными песчаниками и конгломератами, современные - рыхлыми породами (гравий, песок и глина). Алмазы разнообразной формы, но преобладают ромбододекаэдры и октаэдры. Кристаллы часто повреждены и представлены сростками или агрегатами из нескольких индивидов. Преобладают бесцветные и бледно окрашенные камни. В значительном количестве встречаются ювелирные камни. Образование россыпей алмазов связывают с разрушением древних (предположительно среднепротерозойско-нижнепалеозойского возраста) не обнаруженных кимберлитов. Для большинства обогащенных участков россыпей отмечается тесная пространственная связь с местами выходов на поверхности песчаных отложений такатинской свиты среднего девона, играющих, видимо, роль промежуточных коллекторов алмазов.

Разработка россыпей осуществляется открытым способом с применением экскаваторов и драг. Алмазоносные пески (рыхлые или сцементированный песчаноглинистый галечно-валунный материал) обогащаются. Расклассифицированный и обесшламленный материал подвергается раздельной концентрации отсадкой. Получают концентрат (тяжелая фракция) и хвосты (легкая фракция). Последние направляются в отвал, а концентрат на обработку методом рентгенолюминисцентной сепарации.

Залежи бокситовых руд девонского возраста установлены на восточном склоне Полярного Урала. Генетическая и формационная близость бокситов восточного склона Полярного Урала с рудами Североуральского бассейна дает основание считать, что Североуральский бокситовый пояс протягивается далеко на север, в пределах восточного склона Приполярного Урала.

Южно-уральские бокситовые рудники), расположенные на западном склоне Южного Урала в Челябинской области, имеют крайне низкую обеспеченность запасами промышленных категорий. В настоящее время единственной сырьевой базой для рудников является участок «Улуир-1» с запасами около 2 млн. т.

Комплексность использования бокситов Урала низкая. Извлекается практически только глинозем (сквозное извлечение 80 %). В процессе получения глинозема значительное количество компонентов переходит в красный шлам и в промышленных концентрациях накапливается в оборотных растворах. Концентрация в шламах достаточна для экономичного получения из них, кроме дополнительного количества алюминия (10%), также соединений железа, титана, циркония, ванадия, галлия, германия, скандия, ниобия.

2.2.4.4. Западная Сибирь.

В Западно-Сибирский экономический район входят Алтайский край, Кемеровская, Новосибирская, Омская, Томская и Тюменская области. Площадь 2,4 млн.км². Население 14,4 млн.человек (на 1 января 1987г.).

Полезные ископаемые.

Обширную территорию занимает Западно-Сибирская плита, связанная в основном с месторождениями нефти и газа. Рудная часть региона - Алтай, одно из звеньев Урало-Монгольского геосинклинального пояса.

На Алтае выделяются несколько рудных поясов (с Востока на Запад): ртутный (Катунский антиклинорий), молибден-вольфрамовый и железо-рудный (Холзунско-Чуйский антиклинорий), полиметаллический Рудного Алтая, вольфрам-оловянно-медный Колбинской зоны. Полиметаллические месторождения Рудного Алтая локализуются в области распространения девонских вулканических толщ, тесно с ними связаны, формируя семейство свинцово-цинково-медно-баритовых колчеданных месторождений вулканогенного происхождения. Основные месторождения медно-свинцово-цинковых руд: Корбалихинское, Степное, Таловское, Николаевское, Белоусовское, Березовское и др.: месторождения свинцово-цинковых руд: Риддер-Сокольное (Лениногорское), Зыряновское и др. Издавна знаменит Алтай богатыми залежами мрамора и ценными поделочными камнями (яшмы, порфиры и др.). К кайнозойским разломам приурочены 4 группы выходов термальных вод: Абаканский Аржан, Белокурихинские (к Югу от города Бийск), Рахмановские и Джумалинские источники.

Горно-металлургическая промышленность.

Район богат нефтью и газом, каменным углем, торфом, рудами черных и цветных металлов, горнохимическим сырьем, строительными материалами (карта).

На базе месторождений цветных металлов работают: Лениногорский полиметаллический, Иртышский полиметаллический, Белогорский горно-обогатительный, Зряновский свинцовый комбинаты. Основные горно-рудные районы: Южно-Алтайский (медь, золото, ртуть, свинец, цинк), Рудно-Алтайский (свинец, цинк, медь, барит), Горно-Алтайский (ртуть, вольфрам, золото).

2.2.4.5 Восточная Сибирь.

В Восточно-Сибирский экономический район входят: Бурятия, Тува, Красноярский край, Иркутская и Читинская области. Площадь 4,1 млн.км². Население около 9 млн. человек (на 1 января 1987г.).

Забайкалье и Прибайкалье - горнообогатительная область Южной Сибири, охватывает территорию Бурятии, Читинской области и частично Иркутской области.

Значительная часть Восточной Сибири расположена в т.н. зоне Крайнего Севера (Арктика). С юга она ограничена полярным кругом (66 33' северной широты). Широкое распространение ледников и зоны вечной мерзлоты, мощностью до 500 м имеет слой сезонного оттаивания менее 70 см, что создает специфические условия для строительства и горных работ.

Район богат нефтью и газом, углем, торфом, железными рудами, рудами цветных и благородных металлов, различными нерудными полезными ископаемыми.

Полезные ископаемые.

Большую часть территории занимает Сибирская платформа. Медно-никелевые сульфидные месторождения связаны с траппами в Норильском рудном районе, а медистые песчаники развиты в удоканской серии на Алданском щите.

В Байкальской горной стране первостепенное значение имеют месторождения колчедан-полиметаллических руд в зеленокаменных толщах протерозоя (Холоднинское), золота (россыпи и небольшие рудные месторождения). Известны флюорит-полиметаллические месторождения в

карбонатных толщах (Барвинское, Таборное и др.), проявления никеля, молибдена, вольфрама, редких элементов. Для Алданского щита важнейшими являются золото, каменный уголь, медь и железо. Помимо рудных месторождений золота (Алданский район), известны многочисленные россыпи. Залежи медистых песчаников известны на Западе Алданского щита (Удоканское месторождение). Открыты месторождения медно-кобальтовых руд с платиноидами (Чийское), редких элементов. Промышленное значение имеет добыча золота; выявлены рудопроявления молибдена, медистых песчаников, полиметаллических руд, ртути, редких элементов. Монголо-Охотская система и Буреинский массив характеризуются многочисленными россыпями и небольшими месторождениями руд золота, проявлениями олово-полиметаллических руд, молибдена.

С Юга Сибирскую платформу обрамляет Алтае-Саянская складчатая область.

С нижнепалеозойскими структурами Западного Саяна связаны месторождения медных, молибденовых, вольфрамовых и других руд; с венд-кембрийскими - медных руд, золота и других.

В Восточном Саяне известны месторождения титановых, алюминиевых, свинцово-цинковых руд, золота, редких и редкоземельных металлов. С верхнепротерозойскими базитами связаны крупные титаномagnetитовые месторождения (Лысанское, Кедранское). Руды алюминия представлены бокситами геосинклинального типа (Боксонское месторождение), уртитами, связанными с щелочной интрузией палеозойской активизации докембрийских структур (Боготольское месторождение), и силлиманитсодержащими сланцами протерозоя (Базыбайское, Китойское месторождения).

С Байкальской складчатостью связано массовое развитие месторождений медистых песчаников, проявление гидротермальных месторождений руд золота, меди, олова и вольфрама.

Забайкалье и Прибайкалье богаты разнообразными полезными ископаемыми: медистыми песчаниками (Удоканское месторождение), свинцово-цинковыми рудами, никелем (Чайское месторождение), алюминиевым сырьем (Мухальское месторождение) и ртутными рудами (Келянское месторождение), с палеозойскими и мезозойскими магматическими породами связаны месторождения вольфрам-молибденовых и свинцово-цинковых руд, калий глиноземного сырья (Сыннырское месторождение).

В Верхне-Чукотской складчатой области на Востоке гранитный магматизм связан с этапом формирования окраинного вулканического пояса. С ними ассоциируют месторождения руд олова, золота, ртути, полиметаллов.

Горно-металлургическая промышленность.

Добыча медных руд в южных районах Сибири ведется с древних времен (месторождения Хакасии). В Читинской области разведано крупнейшее Удоканское месторождение медистых песчаников, которое готовится к освоению.

Сырьевой базой никелевой промышленности являются медно-никелевые месторождения Норильского района (Красноярский край), где действует мощный центр цветной металлургии Норильский горно-металлургический комбинат.

Хову-Аксинское месторождение кобальтовых руд разрабатывает комбинат "Тувакобальт".

Добыча свинцово-цинковых руд ведется в Забайкалье. Нерчинский полиметаллический комбинат разрабатывает Воздвиженское, Покровское, Савинское, Новоширокинское и другие месторождения.

Горевский ГОК в Красноярском крае открытым способом разрабатывает одноименное свинцово-цинковое месторождение.

Подготовлено к эксплуатации Холодинское месторождение в Бурятской АССР.

Руды олова добывают на Шерловогорском и Хапчерангинском месторождениях в Читинской области. Освоение Шахтаминского, Давендинского и других месторождений вольфрам-молибденовых руд в Забайкалье сыграло большую роль для оборонной

промышленности в годы Великой Отечественной войны. В Восточной Сибири действует Джидинский вольфрамо-молибденовый комбинат в Забайкалье (месторождения Холтосонское, Инкурское), на базе молибденовых месторождений в Хакасии - Сорский молибденовый комбинат. Разработку жильных крутопадающих рудных тел Холтосонского месторождения ведет одноименный подземный рудник.

Готовится к освоению молибденовое месторождение в Читинской области (Жирекенский комбинат). Добычу руд редких металлов производят в Забайкалье (Орловский ГОК) и в Иркутской области в Тувинской АССР разрабатывается Терлиг-Хаинское (Терлиг-Хайское) месторождение ртути. В эксплуатации находятся коренные и россыпные месторождения золота в Читинской (Балейское, Дарасунское) и Иркутской (Бодайбинский район) областях, в Енисейской тайге, Хакасии и Туве.

2.2.4.6. Дальний восток.

В дальневосточный экономический район входят Приморский и Хабаровский края, Амурская, Камчатская, Магаданская и Сахалинская области, Якутия. Площадь около 63 млн.

км. Население 7.8млн. чел. (на 1 янв. 1987).

Of particular importance to the mining future of Russia is the Far East region, which was the Soviet Union's leading producer of gold and diamonds, as well as tin, antimony, and other. The Far East region, considered by many to be a new frontier for investment, is richly endowed with natural resources and is advantageously positioned geographically along the north-west Pacific rim. It borders on China, Korea and Japan (already its biggest trading partner), and is also accessible to the North American market (see Figure 3.1). It is an enormous area; covering about 37% of Russia's territory.

Однако, здесь живут только 5.4% населения. Следствием этого является малая освоенность территории, нехватка рабочей силы для развития промышленности.

Minerals And Mining

Geologically complex contains more than 70 types of minerals, including gold, diamonds, tin, zinc). Though vast in area and sparsely populated, the Far East is relatively well-mapped geographically, with 1:50,000-scale or better maps available for many mineral producing districts. During the past three five-year development periods, the value of geological surveying activities in the Far East more than doubled. Maps are of high quality and commonly integrate prospecting and mineral resource assessment data.

With its major reserves of non-ferrous, rare noble metals, mercury, other minerals, the Far East had long been a key provider of mineral resources for the former Soviet Union. Non-ferrous and precious metals are found in metallogenic zones along the Pacific coastline. Only a limited number of deposits have been sufficiently identified, evaluated and developed, though some notable exceptions include large deposits of tin, antimony, tungsten (24% reserves; 37% production), lead (8% reserves; 49% production), zinc (4% reserves; 14% production). Far East gold and precious stones are mined in abundance in the basins of the Kolyma, Indigirka and Upper Amur rivers. More than 90% of Russian diamonds are extracted in the Far East or Yakutia.

В Сихотэ-Алинской системе ведущая роль принадлежит добыче олова (Комсомольский, Баджалский и другие районы), известны также месторождения руд золота и вольфрама.

Добыча руд олова в Магаданской области ведется с 1937 года. Разрабатываются коренные и россыпные месторождения. На Чукотке действуют Певекский горно-обогатительный комбинат, Омсукчанский ГОК, Иультинский горно-обогатительный комбинат, в Приморье - Хрустальненский горно-обогатительный комбинат, в Якутии - Депутатский ГОК, в Приамурье - комбинат "Хинганолово" и Солнечный ГОК. Певекский ГОК разрабатывает подземным способом жильные рудные тела Валькумейского месторождения.

На месторождениях Иультинского ГОКа попутно добывают руды вольфрама. Приморский ГОК разрабатывает вольфрамовое месторождение Восток-2.

Добыча свинцово-цинковых руд в Приморье известна с конца 19 века. Предприятия ПО "Дальполиметалл" получают металлический свинец, цинковый концентрат и ряд попутных металлов. В состав объединения входят 4 подземных рудника, разрабатывающих 9 месторождений.

С открытием в 30-60-е годы новых месторождений (Садовое, Никольское и другие) значительно расширилась сырьевая база Дальневосточного ГОКа, в состав которого входят рудник, обогатительная фабрика и свинцово-плавильный завод. На севере Якутии подземным способом разрабатывают месторождение сурьмяных руд Сарылах. Подготовлены к разработке месторождения ртутных руд (Западное Паянское, Траватнейское).

Разработку месторождений рудного и россыпного золота ведут в Якутии в Амурской области (наиболее старый золотоносный район) золотодобычу ведт дражным способом и отчасти гидромониторами ПО "Амурзолото". В Магаданской области добыча производится ПО "Северовостокзолото". Впервые здесь было обнаружено золото в 1928, а в 1931 уже работало 5 приисков. В 1958 было введено в эксплуатацию первое золотодобывающее предприятие на Чукотке. На приисках используются экскаваторы, бульдозеры, драги и другая техника, на подземной добыче электробульдозеры. Размещение золотодобывающих предприятий носит очаговый характер (в основном группами приисков) и определяется ареалами распространения разрабатываемых месторождений и созданием для определенной группы приисков единых сфер обслуживания, электростанций, строительных и других баз. Эксплуатация ведется в основном открытым способом.

Richest zinc deposits have been discovered particularly within the Sikhote-Alin Mountains of the Maritime Territory, the southern reaches of the Khabarovsk Territory, in Yakutia and in the Chukchi Peninsula. Tin-ore, or cassiterite, found is also of special interest, as is copper ore at Udokan in southern Yakutia and the bauxite deposits of the Khabarovsk Territory. Tin discoveries indicated that the region would be a suitable target for commercial tin mining. Dozens of tin deposits have since been successfully exploited in the area.

Region also plays a major role in the production of tungsten, On an equivalent area basis, the minerals industry of the Far East is more developed than that in Alaska of the US. The Far East can be conveniently divided into four mining zones:

- the South Zone incorporating parts of Khabarovsk Territory and the Amur region (tin, gold and coal);
- the Pacific Zone including the Maritime Territory and the Sakhalin and Kamchatka regions (polymetallic ores and tungsten);

the Northern Central Zone including Yakutia, Magadan region and part of Khabarovsk (precious and non-ferrous metals diamonds, coal, iron ore

the Far North Zone which includes the Chukchi National Area (non-ferrous metals. gold),

Gold and diamonds are mined principally in the basins of the Kolyma and Indigirka rivers in Magadan and Yakutia and, in the south, in the Upper Amur river basin. As an example of the scale of gold mining operations in the Far East, at Susuman in the Kolyma mining district, approximately 150 km north of the town of Magadan, about 13 dredges and up to 200 open-cut placer mines are operating. Lode mining also takes place, based mainly on stockworks in diorites and sheeted shear zones, and the mineralisation is similar to that which occurs in the Juneau gold belt and Valdez Creek mining district of Alaska. Total production from the Susuman area is some 350,000 troy ounces per year (tr. oz/y) or about 35% of the total annual output from the whole of the Kolyma region. Reportedly, less than 10% of the gold resources in the Magadan region are currently being worked

the development potential of numerous mineral deposit types found in the Far East (Table 2.5) [60] There are following deposits, which are very perspective:

Udokan - a stratiform copper-sandstone body; Bugdainskoe - a tungsten-molybdenum stockwork; Agylkinskoe - a copper-tungsten skarn; Katuginskoe - a tantalum/niobium body; and Bolshoi-Seyim — a titanium body

Tabl.2.5 Subjective evaluation of Far East mineral by developnu'^t potential deposit type [60]

Present	developineit		Flit ii re		
	High	Med	High	Med	Low
Norilsk Cu-Ni-PGE	X		X		
Alaskan PGE	X		X		
Placer PGE-Au	X		X		
Diamond pipes	X		X		
Low-sulphide-Au-quartz veins	X		X		
Porphyry Cu	X		X		
Cu skarn deposits		X		X	
Porphyry Cu-Mo	X		X		
Sediment-hosted Cu	X		X		
Volcanic-hosted					
Cu-As-Sb		X			X
Algoma Fe		X		X	
Superior Fe		X			X
Fe skarn deposits		X		X	
Sn veins	X			X	
Sn skarn deposits	X				X
Tungsten skarn deposits	X				X
Polymetallic veins		X		X	
Sedimentary exhalative					
Zn-Pb	X		X		
South-east Missouri					
Pb-Zn		X	X		
Sandstone-hosted Pb-Zn		X			X
Polymetallic					
replacement deposits		X		X	
Zn-Pb skarn deposits	X				X
Simple Sb deposits		X			X
Serpentine-hosted					
asbestos		X			X
Volcanogenic Mn		X		X	
Sedimentary Mn		X		X	
Upwelling type					
phosphate deposits		X			X
Laterite type					
bauxite deposits	X			X	

Laterinc Ni		X		X
Carbonatits deposits		X		X
Shoreline Placer Ti	X		X	
Sourc.i: C.ark and Seidsov, 1992				

2.3. Полезные ископаемые Украины.

Расположена на Юго-Западе СССР. Площадь 603,7 тысяч км². Население 51,7 млн. человек (1989).

2.3.1. Геологическое строение и полезные ископаемые.

Украинский щит, располагающийся в центральной части Украины, сложен сильно дислоцированными метаморфическими, интрузивными и метасоматическими образованиями архея и нижнего протерозоя. С ними связаны месторождения руд железа, титана, никеля, графита и другие.

С Донецкой складчатой областью связано месторождение ртути Причерноморская впадина содержит месторождения бокситов, полиметаллов, а также марганца.

Закарпатский внутренний прогиб с вулканогенно-осадочными формациями содержит месторождения каменной соли, цеолитов, баритов, алунитов, ртутные (Большой Шаян, Боркут), жильные золото-полиметаллические и баритовые (Беганьское) месторождения. В метаморфическом комплексе известны проявления стратиформных колчеданно-полиметаллических, медно-колчеданных, баритовых и железо-марганцевых руд.

Мелкие месторождения силикатных никелевых руд выявлены в Побужье (Капитановское, Деренюхинское, Терновское). Они связаны с корой выветривания серпентинитов. Рудные залежи сложены нонтронитами, бурыми железняками и охрами со средним содержанием Ni 1% и Co 0,1%.

Месторождения и проявления свинцово-цинковых руд известны в Закарпатье (Береговское, Беганьское), в Донбассе (Нагольный кряж) и в Предкарпатье. Промышленный интерес представляют закарпатские вулканогенные гидротермальные месторождения. Оруденение здесь тесно связано с миоцен-паннонскими вулканическими зонами и массивами, характеризуется узловым распределением и приурочено к внутренней вулканической дуге. Месторождения сложены разнообразными вулканитами (андезиты и их пирокласты) и их субвулканическими производными. Размещение рудных тел контролируется разрывными структурами, участками развития эксплозивных брукчий, зонами интенсивной проницаемости и пористости. Жильные рудные тела имеют мощность до 5 м, содержат Pb до 2%, Zn 3-4,5%, а также серебро. Есть рудопроявления олова и меди.

Ртутные руды представлены гидротермальными вулканогенными в Донецкой ртутной провинции (месторождения Никитовского рудного поля). В Закарпатье ртутное оруденение ассоциируется в основном с гипабиссальными интрузивами (диорит-порфиритами и гранодиорит-порфиритами). Рудные тела - удлиненные по падению столбы, уплощенные линзы и гнезда. Оруденение в основном комплексное ртутно-полиметаллическое, реже - ртутное и ртутно-сурьмяное с мышьяком. Месторождения Донбасса приурочены к сводовым частям антиклиналей. Субсогласные залежи в пластах песчаников и гнезда сочетаются с секущими телами в ядрах антиклинальных складок. Руды практически мономинеральные (киноварь с незначительным количеством антимонита).

Месторождения титановых руд представлены коренными, остаточными и россыпными типами. Коренные руды связаны с интрузиями оливиновых габроидов. Небольшие дайки или штоки приурочены к зонами глубинных разломов. Содержание ильменита в них достигает 25%,

апатита - 12%. Остаточные месторождения пространственно и генетически связаны с корами выветривания основных пород. Мощность рудного пласта достигает 25-30 м, содержание ильменита 150-200 кг/м³. Кроме ильменита 150-200 кг/м³. Кроме ильменита выделяются аллювиальные (Иршинское месторождение и др.) и прибрежно-морские (Малышевское месторождение). Аллювиальные россыпи имеют протяженность до нескольких километров. Продуктивный пласт (мощностью до 10 м) содержит ильменит до 300 кг/м³. Для прибрежно-морских россыпей характерны пласто- или линзовидные рудные залежи, мощность которых достигает нескольких десятков м, а протяженность - несколько десятков км. Продуктивный пласт сложен кварцитовыми песками. Кроме лейкоксенизированного ильменита присутствуют рутил и циркон.

2.3.2. История освоения месторождений цветных металлов.

В конце 5-го - нач. 4-го тыс. до н.э. с формированием трипольской археологической культуры медного века на Правобережье Днепра и Зап. Украины проявляются первые медные орудия. Минеральное сырье для изготовления доставляли из горно-металлургических центров Балкано-Карпат. В бронзовом веке (сер.4-го - нач. 2-го тыс. до н.э.) медь и мышьяковые бронзы поступали на Украину в основном с Кавказа и отчасти из Балкано-Карпат. В сер.2-го тыс.- нач. 1-го тыс до н.э. широко эксплуатируются поверхностные выходы медьсодержащих месторождений на территорию Донбасса. Были заложены многочисленные карьеры и неглубокие шахты для добычи малахита и дальнейшей его пирометаллургической переработки (район сел Картамыш, Пилипчатино, Клиновы хутор и др.).

Попытки промышленной эксплуатации железорудных месторождений относятся к сер. 19в., тогда же добывалось золото, запасы которого были быстро исчерпаны. Месторождения свинцово-цинковых руд у г.Трускавец известны с 1836. С 19 в. в Предкарпатье добывалась калийная соль. Со 2-й пол. 18 в. известно Бориславское месторождение нефти, считавшееся одним из крупнейших в Европе. В 1879 открыто промышленное ртутное оруденение в Донбассе.

2.3.3. Горно-металлургическая промышленность.

Разработку ильменитовых и циркон-рутил-ильменитовых месторождений открытым способом осуществляют соответственно Иршинский ГОК и Верхнеднепровский Горно-Металлургический Комбинат с применением роторных, цепных экскаваторов и драглайнов. Обогащение песков гравитационное с извлечением минералов на обогатительных фабриках 80-90%.

Добычу никелевых руд открытым способом производит Побужский никелевый завод. Добываются окисленные руд Побужской группы месторождений. Переработка руд - методом электроплавки.

На долю Украины приходилась значительная часть общесоюзного производства ртути. Добыча ртутных сосредоточена в Донбассе на Никитовском Ртутном комбинате, разрабатывавшем одно именованное месторождение комбинированным способом. Переработка ртутных руд производилась в печах кипящего слоя с извлечением ртути около 85%. В настоящее время месторождение в основном отработано и напоминает о себе значительным ртутным загрязнением окружающей природной среды.

2.4. Полезные ископаемые Грузии.

Расположена в центральной и западной части Закавказья. Площадь 69,7 тыс. км². Население 5,17 млн.человек (на 1 янв. 1984).

2.4.1. Геологическое строение и полезные ископаемые

Для металлогении Грузии важное значение имеет процесс позднеальпийской тектоно-магматической активации областей завершённой складчатости Большого Кавказа. Его началом

следует считать образование широко распространенного в Гагрско-Джавской и Окрибско-Сачхерской зонах баритового и барито-полиметаллического оруденения. К следующим стадиям активизации приурочивается Кваисская приразломная свинцово-цинковая зона, редкометалльно-мышьяковый пояс Рачи и Сванети и кулисообразно сменяющие друг друга ртутные пояса Абхазии, Сванети, РАчи и Южной Осетии.

Важнейшие полезные ископаемые Грузии - марганцевые, медные, мышьяковые, свинцовые и цинковые руды, руды некоторых редких и благородных металлов.

Медные руды сосредоточены в основном в Болнисском рудном районе, где расположены комплексные медно-барито-полиметаллические месторождения: Маднеули, Цителсопели, Квемо-Болниси, Тамариси и др. Они приурочены к верхнемеловой вулканогенно-осадочной толще; рудные тела имеют форму метасоматических залежей сплошных и прожилково-вкрапленных руд, реже штоков и столбов. Характерна вертикальная зональность в нижних горизонтах месторождений развиты серно- и медно-колчеданные руды, сменяющиеся выше медно-цинковыми, полиметаллическими и баритовыми рудами. Главные минералы: пирит, барит, халькопирит, сфалерит, галенит. Среднее содержание меди в промышленных типах руд 1-1,5%; на отдельных участках - до 2-4%. Разрабатывается Маднеульское месторождение. В Аджаро-Триалетской зоне распространены жильные медно-полиметаллические месторождения, связанные с предверхнеэоценовыми интрузиями сиенит-диоритов. Разведанный Мерисский рудный узел содержит до 50 крутопадающих кварцево-сульфидных жил. На пл. ок. 180 км² выделяют несколько жильных полей. Содержание меди в жилах в ср. 1,5-2%. На южном склоне Б.Кавказа в юрской черносланцевой толще широко распространено медно-пиротиновое и колчеданно-полиметаллическое оруденение. Ведется разведка рудных полей (Адангейское, Артанское, Ахалсопельское и др.) с весьма неравномерными, порой высокими содержаниями меди.

Свинцово-цинковые руды присутствуют в отмеченных выше типах колчеданных и жильных медно-полиметаллических руд, а также имеют самостоятельное значение в месторождениях свинцово-цинковой и полиметаллической формаций. Кваисское месторождение приурочено к позднеальпийской зоне разлома, прослеженной по простиранию до 8 км и по падения св. 1 км. В породах порфиритовой свиты байоса и известняках верхней юры залегают столбообразные тела свинцово-цинковых руд. На участках Верхнее Кваиси и Надарбази содержание цинка в рудах в ср. 5,7-7,8%, свинца 1,9-2,6%. Разведана также Вальхохская и Варахкомская рудоносные структуры. Соотношение Pb:Zn = 0,4.

В Болнисском районе баритовая минерализация сопутствует медно-свинцово-цинковому оруденению; на Маднеульском месторождении барит извлекается попутно.

Запасы руды около 1 млн. т, содержание барита в руд 32-53%.

Месторождения ртутных руд и многочисленные проявления киноварной минерализации расположены вдоль южного склона Большого Кавказа. Наиболее значительны Ахейское и Авадхарское месторождения в Абхазии, представленные гидротермально измененной зоной, приуроченной к песчаникам и глинистым сланцам. Содержание металла в первом месторождении 0,4-9,1%, во втором - 0,27-0,41%. В южной Осетии открыто Эрцойское месторождение киновари.

Месторождения сурьмяных руд расположены вдоль юж. склона Главного хребта Большого Кавказа. Промышленное значение имеют Зопхитское месторождение в Верхней Раче, представленное многочисленными кварц-антимонитовыми жилами, приуроченными к глинистым сланцам лейаса и гранитоидам палеозоя. Содержание металла в руде 7-17%.

В зоне южного склона Б.Кавказа широко распространены арсенопиритовые и реальгар-аурипигментные жильные месторождения гидротермального типа. Промышленное значение имеют Лухумское месторождение в Верхней Раче и Цанское месторождение в Нижней Сванети. Первое представлено богатой реальгар-аурипигментной рудой, а также сравнительно бедной рудой в виде отдельных гнезд, пропластков и вкраплений в боковых породах (сланцах и известняках верхней юры и нижнего мела). Выявлено 5 рудных тел, содержание металла в руде от 3,6 до

13,3%. Руды Цанского месторождения - кварцевые арсенопиритсодержащие в метаморфизированных глинистых сланцах, содержание мышьяка от 3,32 до 29%.

2.4.4. Горно-металлургическая промышленность

Промышленная добыча руд цветных металлов осуществляется на Маднеульском медно-барито-полиметаллическом и Квайском свинцово-цинковом месторождениях. Маднеульское месторождение разрабатывается с 1974 открытым способом. Руды перерабатываются на обогатительной фабрике Маднеульского ГОКа флотационным методом.

Квайское месторождение разрабатывается с 1949 подземным способом. Эксплуатируется мощный раздув (до 8-10 м) крутопадающего (82-85) рудного тела участка Надарбази.

Металлургический завод в г.Рустави выплавляет высококачественную сталь. Там же расположен химический комбинат, выпускающий мышьяковые и др. препараты.

2.5 Полезные ископаемые Армении.

Армения расположена на Юге Закавказья. На севере граничит с Грузией, на востоке - с Азербайджаном, на юге - с Ираном, на западе - с Турцией. Площадь 29,8 тыс.км². Население 3222 тыс.человек (1983г.).

2.5.1. Геологическое строение и полезные ископаемые

Despite small land area, is rich in various mineral deposits, which have permitted the establishment of projects to mine process copper, copper-molybdenum, gold-bearing ores.

There are ore mining enterprises in Armenia; Arm Gold (which operates the Zod underground/surface gold mine), Arm non-ferrous metals (copper/molybdenum stock work and vein).

Медные руды гидромермального генезиса Кафанского месторождения представлены жильным и прожилково-вкрапленным оруденением в среднеюрских вулканогенных породах. На севере Армении известны Шамлугское и Алавердское месторождения медных руд жильного типа, залегающие в среднеюрских вулканогенных породах.

По запасам молибденовых руд Армения занимает одно из ведущих мест в СНГ. В Кафанском районе расположено Каджаранское месторождение, представляющее штокверк с прожилково-молибденовыми рудами, содержащими попутно рений, селен, теллур, висмут и др. Месторождение гидротермальное, приурочено к монзонитовой интрузии северной части Мегринского плутона. В юго-восточной части Армении расположено Агарацкое медно-молибденовое гидротермальное месторождение, приуроченное к тому же плутону.

2.5.2. История освоения минеральных ресурсов.

Горное производство в этом регионе относится к древнейшим в истории человечества.

В эпоху бронзы (сер.4-го - нач.1-го тыс.до н.э.) в Армении располагался один из самых крупных центров по добыче медной руды и выплавке металла. Средневековые и современные горные выработки уничтожили большинство наиболее ранних мелких воронкообразных выемок и шурфов. Однако имеются определенные свидетельства, что древнейшие разработки сосредоточивались в районах северной Армении - Алавердско-Кировоканская группа месторождений (Алаверди, Шамлуг, Ахтала и др.), вероятно также Антоновское, и районах южной Армении - Зангезурская группа месторождений (Кафан, Каджаран и др.). С середины 4-го тыс. до н.э. разрабатываются мышьяковые руды (месторождения Мецзорское, Сольвартинское, Даридаг, которые использовались в качестве лигатуры при изготовлении бронз. Для этих же целей с середины 3-го тыс. добывают сурьмяные руды (возможно, Ангехтун, Манаскерт). Относительно

большое число оловянных предметов из Лчашенского могильника середины 2-го тыс. до н.э. на берегу оз.Севан вызывает предположение о вероятных местных рудных источниках олова. С этого же времени оловянные бронзы становятся господствующим типом сплавов. По крайней мере, с начала 1-го тыс. до н.э. в значительных масштабах эксплуатируются железорудные месторождения (вероятно, Агарцин, Варажнуник и др.). Вместе с тем эксплуатация указанных медно-рудных месторождений не прекращается вплоть до средневековья и нового времени.

В средние века разрабатывались серебро-свинцовое Ахталское месторождение, полиметаллические месторождения Зангезура и медные месторождения Алавердской группы. Систематическая разработка Ахталского, Альвердского и Шамлугского месторождений относится к середине 18 в. В 1760-70 были построены Ахталский и Шамлугский медеплавильные заводы. При нашествии Омар-Хана Лезгинского в 1785 и Ага-Магомет-Хана Персидского в 1795 Ахталский, Алавердский и Шамлугский заводы и рудники были разрушены.

После вхождения территории Кавказа в состав Русского государства (нач.19 в.) для изучения минеральных ресурсов туда были направлены специализированные экспедиции. С 1886 акционерное общество "Французская компания рудников Ахталы" возобновило разработку Алавердского и Шамлугского медных месторождений. В 1900 эта компания передала свои права "Кавказскому промышленно-металлургическому обществу", арендовавшему с 1912 также Привольнинское полиметаллическое месторождение, а с 1915 владевшему полиметаллическими рудниками "Драгиль-Зами" и "Гюмуш-Магара" в Зангезуре. Руда поступала в Алаверди на завод "Манес". Кроме этих месторождений, в 19 в. интенсивно разрабатывались и полиметаллические месторождения в южной Армении - Агаракское, Кафанское, Пирдоуданское (Каджаранское) и др. Были построены Агаракский, Пирдоуданский, Катарский и Галидзорский медеплавильные заводы. В 1847-67 в Армении построено 11 новых медеплавильных заводов (в т.ч. 7 в Зангезуре). В 60-х гг. 19 в. Армения занимала ведущее место в Закавказье по выплавке меди (до 99%).

2.5.2. Горно-металлургическая промышленность.

Сырьевой базой для производства меди и молибденовых концентратов являются медно-молибденовые руды Каджаранского и Агарского *м-ний*, а также медные руды Казанского и Шамлугского *м-ний*. На базе первого действует с 1952 Зангезурский медно-молибденовый комбинат. Агаракское *м-ние* эксплуатируется с 1963. Благодаря небольшой мощности вскрыши Каджаранское и Агаракское *м-ния* разрабатывают открытым способом, Кафанское — как открытым, так и подземным. Шамлугское — подземным способом. Медно-свинцово-цинковые руды добываются подземным способом в Ахталском руднике Алавердского горно-металлургич. комб-та, обогащаются на фабрике. Более 90% руды цветных металлов добывается открытым способом Обогащение флотационное.

The Kajaran deposit is one of the world's largest copper-molybdenum deposits whose explored profitable reserves can produce at the present level of output for more than 100 years, while its indicated reserves will be able to provide output for more than 200 years. Another similar project is the Agarak copper mining and concentrating integrated works with limited reserves of approximately 15 years. Only high grade ores of the Kajaran deposit are presently mined, while the lower-quality ores are dumped and lost, despite their being economically accessible. Ironically, the recovery value of such 'poor' ores exceeds the mean recovery value of the Agarak ore deposit that is located 30 km from the Kajaran field.

Besides molybdenum concentrate, the Kajaran and Agarak concentrating mills produce copper concentrates. The latter is also produced at the Kapan concentrating mill, where the copper ores of the Kapan deposit are processed.

In recent decades, Armenia has emerged as one of the world's noteworthy gold-bearing provinces. About 10 gold ore and gold complex fields have been revealed. Extractable reserves of six gold fields have

already been proved; two of them are now undergoing extensive evaluation. The large Zod deposit in eastern Armenia is being worked by a combination of open pit and underground methods. Underground mining is carried out by the cut-and-fill stoping method. Zod is a medium-sized mine yielding 80,000-95,000 troy ounces annually.

Золотые руды Зодского месторождения перерабатывается на Арапатской фабрике. Технологическая схема включает гравитационное и флотационное обогащение и гидрометаллургическую переработку с цианидным растворением с последующим сорбционным извлечением золота.

2.6 Полезные ископаемые Азербайджана.

Азербайджан расположен в восточной части Закавказья. С востока омывается Каспийским морем, на севере граничит с Дагестаном, на северо-западе - с Грузией, на западе с Арменией, на юге - с Ираном и частично с Турцией. Площадь 86,6 тыс. км². Население 6303 тыс человек (1982).

Азербайджан - индустриальная республика с развитым сельским хозяйством, основной нефте-газодобывающий район Закавказья. Основные отрасли тяжелой промышленности: машиностроение (производство нефтепромыслового оборудования, электронная, электротехническая, приборостроительная промышленность) и металлообработка, топливная, химическая и нефтехимическая промышленность, производство электроэнергии, черная и цветная металлургия и т.д. Горная промышленность представлена добычей нефти и газа, железной руды, алунита, свинцово-цинковой руды. В структуре промышленности республики нефть и газ занимают основное место.

Медные руды представлены медно-колчеданными и медно-порфировыми залежами. Медно-колчеданные рудные тела известны в Кедабекском районе, где они в виде штокообразных тел размещены в верхних горизонтах толщи байосских кварцевых плагиопорфиров. Верхние горизонты штоков сложены медными и медно-цинковыми рудами, нижние - серно-колчеданными. Основные минералы: халькопирит, пирит, сфалерит, галенит, арсенопирит и др. Медно-порфировые руды сконцентрированы в Ордубадском рудном районе и пространственно связаны с апикальными и периферическими частями палеоген-миоценового Мегри-Ордубадского гранитоидного батолита. Основные минералы: халькопирит, молибденит и пирит. Руды на поверхности окислены и содержат 0,2-1% Cu, в глубоких горизонтах - в среднем 0,3-0,6%. В Араксинской зоне по линии Нахичеванского разлома, в области развития олигоцен-нижнемиоценовых вулканитов, размещен ряд проявлений самородной меди, образующий полосу протяженностью около 70 км, мощность отдельных меденосных пластов от 0,5 до 9 м.

Свинцово-цинковые руды связаны с колчеданно-полиметаллическими месторождениями Белокано-Шекинской металлогенической зоны южного склона Большого Кавказа (Филизчайское, Кацдагское, Катехское, Джихихское, Чедерское, Кацмалинское и др.). В Сомхито-Агдамской зоне Малого Кавказа известно Мехманинское свинцово-цинковое месторождение в среднеюрской вулканогенной толще. Два небольших месторождения свинцово-цинковых руд в Нахичеванской области - Гюмушлугское, приуроченное к известнякам среднего-верхнего девона, и Агдаринское - к вулканитам эоцена.

Наиболее значительные проявления кобальтовой минерализации известны в Дашкесанском и Ордубадском рудных районах. Первое генетически связано с Дашкесанским гранитоидным интрузивом и является наложенным на скарново-магнетитовые руды, второе находится в скарновой зоне Мегри-Ордубадского плутона. Главные минералы: кобальтин, аллоклазит, глаукоdot, саффорит, кубанит, кобальт-пирит.

Алюминиевые руды представлены залежами алунитов и бокситов. Алунитовые месторождения известны в Дашкесанском, Шамхорском и Ордубадском, Шамхорском и Ордубадском районах. Наиболее известное месторождение - Загликское, приуроченное к

вулканогенно-осадочным толщам средней и верхней юры, прорванным Дашкесанским интрузивом. Алунит ассоциирует с каолинитом, кварцем, гематитом, лимонитом, халцедоном, опалом и др. Бортное содержание алунита 25%. Мощность пластообразных залежей 20 м, 95% - рудная масса (алунит и кварц), 5% - глинистые минералы. Загликское месторождение - сырьевая база Кировабадского алюминиевого завода, введено в эксплуатацию в 1960. Проявления бокситов обнаружены в Нахичеванской области в терригенно-карбонатных отложениях девона-перми в виде тел пластовой и линзовидной формы, мощностью 2-13 м и протяженностью 1,5-2 км. Кремневый модуль типа 2:1 (аллиты и сиаллиты).

Молибденовые руды ассоциируют с медью и свинцом - в Темиручандаг-Багырсахском месторождении (Кельбаджарский район). Разрабатывается Парагачайское месторождение молибдена. Содержание Mo 0,2-1,1%, Cu 0,002-2,1%, Re в молибдените 0,04%, Se 0,006%, Fe 0,02%.

Рудопроявления вольфрама известны в Нахичеванской области и Кельбаджарском районе; отмечен шеелит в кварцевых жилах, аплитах и листовенитах и вольфрамит в кварцевых жилах. Вольфрамоносные рудные тела приурочены к роговикам верхнего эоцена в контактовых зонах Мегри-Ордубадского и Далидагского плутонов.

Мышьяковые руды представлены Биттибулагским месторождением (энаргитовым) в Кедабекском районе и Даррыдагским месторождением (аурипигмент-реальгаровым) в Джульфинском районе (разрабатывалось до 1941).

Месторождения *ртутных руд* выявлены в центр. части Севано-Карабахской зоны (Левчайское, Шорбулагское, Агятагское, Агкаинское и Нарзанликское).

Сурьма отмечена в Левском и Кесандагском (Нахичеванская область) месторождениях ртути.

As for non-fuel minerals, Azerbaijan produces aluminium, copper-molybdenum, iron ore, lead and zinc. Cobalt associated with magnetite deposits has also been mined since the 19th century. Azerbaijan is one of four former Soviet republics which exports aluminium.

Добыча руд цветных металлов осуществляется на месторождениях Загликское (алуниты), Парагачайское (молибден и медь), Гюмушлугское и Агдаринское (свинец, цинк). На базе Загликского месторождения алунита действуют алюминиевые заводы. Из алунита, кроме глинозема, получают серную кислоту и сульфат калия. Месторождение разрабатывается открытым способом.

Minor mining operations are found in Naghichevan, an autonomous republic separated from the rest of Azerbaijan by Armenian territory. In recent decades silver, lead and zinc, molybdenum, gold and mercury have been extracted in various deposits throughout the region. The Paragachay molybdenum mine in the south-east, mined after the Second World War, is related to the more significant deposits across the border in Armenia.

Добыча медно-молибденовых руд производится с 1952 подземным способом на месторождении Парагачайское. Обогащение - флотацией.

Свинцово-цинковые руды добываются с 1954 подземным способом на месторождениях Гюмушлугское и Агдаринское.

2.7 Региональная геология и месторождения Казахстана

2.7.1. Общие положения

Казахстана расположен на Юго-Западе Азиатской части бывшего СССР. Пл. 217,3 тыс. км², население 15,25 млн. чел, (1984).

Kazakhstan, like the Russian Federation, Ukraine and Tajikistan is richly endowed in mineral and energy resources. Mining has historically been considered critical to the nation's economy. Non-ferrous metals comprise the principal metallurgical sector, involving the production of copper, lead, zinc, titanium,

aluminium, tungsten, gold, silver, tantalum, uranium, plus minor metals that include antimony, rhenium, tellurium, cadmium and many more. The Ust-Kamenogorsk and Leninogorsk lead-zinc plants, the Irtysh chemical-metallurgy plant and the Ust-Kamenogorsk titanium and magnesium plant are all located in the Altai region, lead and zinc are also produced in the Shimkent plant, and copper is produced at Zhezkazgan and Balkhash. Pavlodar is a centre for alumina output, and all of these facilities draw their raw materials principally from domestic production. Current estimates of the country's mineral production and capacity are shown in (Tables 2.6 and 2.7) Sulphuric acid production is centred on the non-ferrous metals smelters at Balkhash, Shimkent, Ust-Kamenogorsk and Leninogorsk. Kazakhstan is a significant producer of ferrous, non-ferrous and precious metals, including aluminium, chrome, copper, gold, iron ore, lead-zinc, molybdenum, silver, steel, titanium and tungsten. Thirty-six primary ore mining enterprises operate in the country, plus seven major metallurgical plants. The republic was the third largest producer of gold among the CIS, accounting for about 6% of national output.

Kazakhstan occupies a leading position in the former Soviet Union with regard to major economic minerals, both in terms of explored reserves and the scope of extraction and processing. Specifically, the republic accounts for large shares of the former Soviet Union's mining and processing of the following strategic minerals: chromites, 97%; bismuth, 95%; tungsten, 52%; lead, 47%; zinc, 40%; copper, 36%; bauxites, 25%. Kazakh mineral deposits are unique in size and quality, and capable of supporting huge industrial facilities.

Table 2.6 Kazakhstan's Mineral Resources and Mining Output, as a proportion of the CIS total

Mineral Commodity	Reserves		Mining Output	
	(%)	Position held in FSU	(%)	Position held in FSU
Copper	28	2	30	2
Lead	38	1	64	1
Zinc	35	2	56	1
Bauxite	22	2	36	2
Tungsten	54	1	4	3
Tin	2	3	2	2
Molybdenum	29	2	5	4
* FSU = Former Soviet Union				

Table 2.7 Estimated production of Kazakhstan's mineral commodities (metals)

Commodity: Metals (tonnes unless specified)	1992	1993	Estimated Capacity (1/1/94)
Alumina	1,100,000	1,000,000	1,200,000
Bauxite	500,000	500,000	600,000

Beryllium (metal)	NA	NA	NA
Bismuth	55	50	70
Cadmium	1,000	1,000	1,200
Copper (metal content) mine output	250,000	250,000	250,000
Smelter output	225,000	225,000	440,000
Refined metal	225,000	225,000	440,000
Gold	24	20	30
Lead (metal content)			
Mine output	170,000	160,000	250,000
Primary smelter	160,000	150,000	250,000
Magnesium	20,000	20,000	45,000
Manganese ore marketable	35,000	50,000	200,000
Molybdenum (metal)	3,000	3,000	6,000
Silver	900	900	1,200
Tin metal, mine output	500	500	700
Titanium (metal)	25,000	25,000	35,000
Tungsten metal, W content	500	500	800
Zinc			
Mine output (metal content)	250,000	240,000	450,000
Metal	240,000	230,000	315,000

* Source: *Mining Annual Review 1994*, (Kazakhstan by R M Levine, U S Bureau of Mines)

2.7.1 Geology overview.

Much of the territory of Kazakhstan is situated within the Urals-Mongol fold belt, comprising Palaeozoic formations that are found in the southern part of the Urals (Mugodzhary), the Melkosopochnik area and in the Tien Shan, Zhungar, Chingiz-Tarbagatai and Altai mountains in the south of the country. The Pre-Caspian basin (the southeastern part of the East European Platform) is located in the northwest part of Kazakhstan, while the south-eastern mountain belt was created by tectonic movements during Oligocene-Quaternary time.

Great areas of west and north Kazakhstan are overlain by epi-Hercynian platform cover deposits (the Turan and West Siberian plates). The platform cover of these plates was formed during Triassic-Neogene times, and is 2-4 km thick (locally 6-8 km). The Archaean and Lower Proterozoic crystalline basement of the Pre-Caspian basin is overlain by a thick succession (up to 20 km thick) of Riphean-Modern sedimentary deposits.

Covering of the eroded surface of the folded and heavily metamorphosed crystalline basement took place in the Late Proterozoic with the deposition of both sedimentary and volcanic formations that

represent the protoplatform cover. This has been studied in outcrop in a few small massifs of Precambrian age. Breaking up of the protoplatform began in the Middle Riphean, but did not occur simultaneously over the whole of what is now Kazakhstan. Separation zones formed along faults, with new areas of oceanic-type crust and associated island-arc systems.

The formation of the Uralo-Mongolski fold belt as a stable continental block occurred between the Vendian and the Permian. Study of the evolution of the belt is not yet complete from the point of view of modern tectonic concepts, as many important structures are buried beneath platform cover or are overlapped by thrusts. Repeated stages of tectonic movement occurred during the Caledonian and Hercynian orogenies, and were related to displacements of the nearby East European, Siberian and Tarimskaya platforms, resulting in intensive folding, vulcanism and Intrusive magmatism. Three geosynclinal fold systems can be identified by the nature of their tectonic structure and its evolution; the Urals-Tien Shan system in the west and southwest, the Kazakhstani system in the centre and southeast, and the Irtysh-Altai system in the northeast of the country.

Comparatively small massifs of Precambrian rocks (measuring a few tens or hundreds of kilometres) are found within the Palaeozoic structure in many regions. Examples of these include the Vostochno Uralian, Kokshetau, Nonh Tien Shan and Atasu-Zhungarski massifs, among others. The Precambrian assemblage consists of porphyroids and various strongly metamorphosed greenschist rocks, calc-alkali island arc volcanic rocks, reef carbonates, diabase and silicious-carbonaceous shales. Granitoid magmatism is widely distributed.

An area of oceanic crust developed in what is now northeast Kazakhstan in the Late Vendian to Cambrian, cherts, jasper, carbonates and diabase-spilitic rocks being deposited. Elsewhere from this basin, rift-type complexes formed containing basalts, carbonaceous-silicious and carbonate rocks, often carrying metalliferous deposits. These areas include the Kokshetau massif, the Karatau and Zhungar ranges, and elsewhere. Island arc vulcanism (from basalt to rhyolite) and intrusive magmatism (gabbro, granite and syenite) originated from the Middle Cambrian.

The Urals-South Tien Shan and Zhungar-Balkhash basins, with gabbro hyperbasite basement as found in the Kempirsai massif in the Urals and the Kenterlau block in the north Balkhash region, had their origin during the Ordovician. The formation of thick flyschoid successions and andesite-basaltic volcanic rocks is characteristic of this time. The Zhungar-Balkhash basin was formed by volcanic arcs from the east and northeast (the Chingiz Range) and from the west (the Stepnyak-Betpak Dala area) with andesite-basalt vulcanism. The Urals basin was also formed from the east by a zone of island arc vulcanism.

The formation of basalts, carbonaceous-silicious slates and jaspers took place in the Altai basin in the Ordovician, and thick turbidites were deposited in the more easterly areas of Altai, as in the Cambrian.

Intensive tectonic movements during the Silurian resulted in the creation of the orogenic folded massif between the Urals-South Tien Shan and Zhungar-Balkhash oceanic basins. Thick deposits of siliciclastic (terrigenous) sediments were deposited in the central part of the Zhungar-Balkhash basin while flysch, basalt and andesite deposits were formed around the basin margins, where overthrust sheets also appeared. The level of vulcanism in the Urals region decreased during the Silurian, however, as a result of tectogenesis.

Orogenic movements during the Late Silurian were responsible for the wide distribution of terrestrial sedimentation and vulcanism in the Devonian. The greater part of the massif that divided the Urals and Zhungar-Balkhash palaeo-basins dried up, and a wide belt typified by intensive andesite-basalt vulcanism and thick red molasse was formed around the massif. In the basins, meanwhile, a similar pattern of sedimentation was maintained to that in the Silurian. In the Middle Devonian, intensive thrusting transformed the western part of the Zhungar-Balkhash basin into an orogenic area with

widespread basalt-rhyolite vulcanism and granite intrusions. Red molasse was also widely distributed and metal-bearing marine clay-carbonate and black shale sediments were deposited locally. Devonian volcanic and sedimentary formations (some salt-bearing) were distributed widely out of the residual basin, and are now found in locations such as the Karatau Range and Shu-Ili mountains, and the Teniz, Shu-Sarysu and Turgai depressions.

In the Urals basin, intensive tectonic movements commenced in the Middle Devonian, resulting in the folding and closure of some basins while marine sedimentation and underwater vulcanism continued in others. To the east, the Valeriyanskaya zone exhibited island arc vulcanism, while a deep water trough in the Altai basin, between the Chara ophiolite belt and the Irtysh fold zone, featured the deposition of jasper and basalt. Basalt and chert accumulation also took place in the area to the west of the island arc environment, while the eastern active margin of the Altai basin, the Roudny Altai island arc system, was overthrust in its central part to the southwest along the Irtysh fold zone. Kazakhstan's deposits of tin, tungsten, molybdenum, gold, copper, tantalum and other minerals are related to Devonian-aged volcanic rocks and granites, and sulphide deposits containing copper, lead, zinc and gold are associated with andesites and basalts.

The Hercynian tectonic period began in the Late Devonian (Famennian). Basalt vulcanism was reactivated in the Zhungar-Balkhash basin and a new volcanic arc appeared some 100-150 km to the south of the Devonian arc. This system was incorporated with rifting, including the Uspenski and Spasski rifts. Deep-water sediments formed in these rift structures with basalt-trachite-rhyolite and ultrabasic deposits and the formation of polymetallic and iron-manganese mineralisation, while the Caledonides of the west part of central Kazakhstan were almost universally covered by shallow-water seas.

'The oceanic phase of evolution in the Urals and Altai regions continued virtually uninterrupted during the Famennian and Early Carboniferous, although areas of terrestrial *sedimentation* gradually increased. Shallow-water carbonate and alternating siliciclastic and carbonate sediments were deposited in the Early Carboniferous outside the oceanic basins in the western and southern areas of the country. Coal-bearing sediments (the Karaganda and Ekibastuz coalfields) and multicoloured copper-bearing sediments (Zhezkazgan) were deposited in continental environments. The intensity of the tectonic movements increased strongly in the Middle to Late Carboniferous, and resulted in the folding and closure of the palaeo-basins.

The main phase of tectogenesis occurred late in the Late Carboniferous, resulting in intense folding and orogenesis, and the intrusion of granites, to which many of the metalliferous deposits of central and eastern Kazakhstan are related.

Continental vulcanism was very intensive in the Permian and Triassic, during which time both the western Beltau-Kuraminski and southeastern Balkhash-Ili (or Pre-Balkhash-Ili) belts were formed. Multicoloured molasse was formed in the western Shu-Sarysu depression during the Permian, and coal-bearing formations were deposited in some grabens in east and northeast Kazakhstan; examples are the Kenderlyk and Pavlodar coalfields).

The intrusion of alaskite or alkaline granite is recorded in some places in the Early Triassic, and trap effusions of basalt took place in the Turgai depression and in the Irtysh area (Pro-Irtyshye). The active tectonic-magmatic evolution of the Urals-Mongol belt was completed, and it was transformed into a stable continental block; the young platform. The palaeoids of the Urals-Mongol belt form a distinct arc, with folded zones of various geological ages stretching for many hundreds of kilometres curving from the north to the south and southeast. North and northwesterly directions predominate at the north end of the arc, while it changes to sub-latitudinal (Mongolian) at its south end.

During the Mesozoic and Cenozoic, the west and north parts of the belt were covered by 2-5 km of platform sediments of marine and terrestrial origin, to which deposits of oil, phosphorite, coal, iron, strontium, uranium, bauxite and other mineral resources are related.

Altogether, more than 3,000 occurrences of various economic minerals have been explored in Kazakhstan, with about 815 of these currently being exploited.

2.7.2 Руды цветных металлов

В недрах Казахстана добывают руды, из которых извлекают 60 хим. элементов. Важными особенностями являются комплексный состав руд и высокое качество.

Медные руды

Five deposit types are known to exist: copper porphyries, cupriferous sandstones, massive sulphides, skarns and lode-type deposits.

Cupriferous sandstones

Deposits of this type include Zhezkazgan, Zhaman-Aibal and the deposits of the Zhylandy group, all of which are located in the Shu-Sarysu basin in central Kazakhstan. The deposits here are hosted in grey sandstones and conglomerates within Upper Palaeozoic red formations, the stratiform mineralisation occurring as lenses and bedded deposits.

The ores are complex, containing an average of 1.24% copper with associated lead, zinc, silver and rhenium. Ore minerals include bornite, chalcocite, chalcopyrite, galena, sphalerite, native silver and lead-rhenium sulphide (zhezkazganite). Copper, copper-zinc, copper-lead, zinc, lead-zinc and lead ores are all recognised, the copper ore being the most important. Alteration around the ore zones is represented by discolouration of the host rocks' epigenetic grey colour through the loss of iron, together with the presence of silica, albite, chlorite and sericite.

Potential for new discoveries of cupriferous sandstones remains greatest in the Shu-Sarysu.

В Джезказганской группе м-ний выявлено и разведано 5 промышленных объектов (Центр. Джезказганское, Итаузское, Кипчак-пайское, Сарыобинское, Акчи-Спасское). Залегают они в пестроцветной джезказганской свите средне-верхне-карбонового возраста (мощность 700 м). Оруденение приурочено к сероцветным песчаникам, в разрезе многоэтажное. Рудные тела пластовые, плащеобразные, ленточные, согласные с вмещающими породами. Руды комплексные. Основные минералы: халькозин, борнит, халькопирит, галенит, сфалерит.

Оруденение Джеландинской группы монометалльно (Cu 1,0%). В Чу-Сарысуйской депрессии с этой формацией связаны м-ния Тасчорское, Жаман-Айбатское и несколько крупных рудопоявлений. В Тенгизской впадине в девон-пермских красноцветных отложениях известно несколько сотен небольших проявлений и м-ние Кененское.

В Тургайском прогибе, Каратау, Улугтау, Сарысу-Тенгизе, в Актюбинском Приуралье, Горном Мангышлаке и Прикаспийской впадине известно несколько сотен мелких проявлений, связанных с палеозойским и пермо-триасовым красноцветным комплексом.

Massive sulphides

Copper-bearing massive sulphide deposits are concentrated in three districts: the Kazakhstan-Irtysh region, the Chingiz Range and the Mugodzhary mountains. They are found in palaeo-volcanic structures represented by lavas and tuff formations, and occur as lenticular and tabular orebodies of massive or disseminated sulphides. Orebody dimensions range up to hundreds of metres in length and tens of metres thick.

Выделяются Среднеорский, Домбаровский и Верхнеорский рудные районы. Выделяются медно-колчеданные, медно-цинково-колчеданные и цинково-колчеданные

руды. Ряд рудопроявлений известен также в Сакмарской и Иргизской зонах Мугоджар. В Чингиз-Тарбагатайской складчатой системе колчеданные м-ния распространены в кембрийских, ордовикских и девонских вулканических толщах. Основные минералы: пирит, халькопирит, сфалерит. Единичные проявления колчеданного типа известны в Сев. Прибалхашье, Агадырском и Улутауском р-нах.

The Orlovskoe and Nikolaevskoe deposits in the Irtysh district are related to Devonian terrestrial volcanic rocks, while the Akbastau, Kosmurun and Mizek deposits in the Chingiz Range are associated with Ordovician volcanic arcs. Priorskoe and other deposits in the Mugodzhary mountains are located in Lower Palaeozoic greenstones. In each case, the ore is similar, being composed of three main types: massive pyrite, disseminated pyrite and veined gold-barite-poly metallic.

Copper grades are 1-2%, zinc up to 5-7%, lead 0.5-1%, and gold 1-2 g/t, locally rising by an order of magnitude. The predominant minerals are pyrite, chalcopirite and sphalerite, and ore structures include massive, breccia-banded, banded and colloform.

Copper porphyries

Copper porphyries are distributed throughout Kazakhstan, and are usually associated with Upper Palaeozoic volcano-plutonic belts or with Early Palaeozoic rift zones. The copper porphyries of central, northwest and eastern Kazakhstan fall into the former category, while those found in the north of the country and in the Spassk district are located in palaeorifts.

In both cases, the copper mineralisation is found in large magmatic structures in which volcanic deposits have been intruded by moderately acid granitoids. Small porphyry intrusions or breccia pipes are surrounded by wide hydrothermal alteration zones, the stockworks being pipe-, cup- or cylindrical-shaped.

Mineralisation consists typically of pyrite, chalcopirite, molybdenite and magnetite, either disseminated or in veinlet systems. Copper grades range from 0.2 to 0.7%, with associated molybdenum, gold, silver, selenium, tellurium, rhenium and, in some cases, platinum.

В ряде случаев развивается зона цементации приводящая к двух-, трёхкратному обогащению руд (Коунрадское, Бенкалинское Сокрыское). Содержание Mo 0,1-0,005%

The size of the deposits varies from those such as Aktosai, Aidarly, Kounrad, Boshekul, Koksai, Samarskoe, Kaskymys and Koktaszhal that have large resources to those such as Borly, Kenkuduk and Kaskyrkazkan. Of these, only the Kounrad deposit is currently in production. Prospects for the discovery of further copper resources of this type is good.

The Chingiz Range and the Mugodzhary mountains are considered to offer the best prospectivity for new massive sulphide discoveries.

В Северном Казахстане ряд м-ний этих руд залегает в нижнепалеозойских толщах, прорезанных крупными разломами и более молодыми гранитоидами (Бозшакольское, Одакское, Сатпакское). Форма рудных тел на м-ниях имеет вид сплошных или полых цилиндров, перевёрнутых конусов или отдельных фрагментов этих фигур.

Skarn deposits.

Промышленный интерес представляют жильные медные месторождения Кендыктасских гор. Кулисообразные крутопадающие зоны, выполненные кварц-кальцитовым агрегатом

Skarn copper deposits are typified by the Saiak group in the north Balkhash region which, together with the Kounrad porphyry copper deposit, provide the feed for the Balkhash copper refinery. Other skarn-type deposits include Irisu in the Talas Alatau range in southern Kazakhstan and Karatas in the northwest Balkhash region.

Features of this type of deposit are the relatively high copper grade (1-3%) and their associated mineralisation - 0.01% molybdenum, cobalt, 0.5-1.0 g/t gold, silver, bismuth, selenium, tellurium and iron ore. In some places, molybdenum ore grading 0.1-0.2% MoS², gold-cobalt ore grading 5-10 g/t gold and 0.1-0.2% cobalt, and borates (10-12% boric anhydride) are of independent commercial value.

The Saiak deposit is typical of the skarn coppers, and is the most important economically. It is located at the boundary between Middle Carboniferous limestones, interbedded with tuffaceous mudstone and sandstone, and Late Carboniferous granitoids. Faults that run through the zone are often filled by diorite and porphyritic dykes, skarns and metasomatic mineralisation partly or completely replacing the limestone near fault zones and igneous contacts.

The ore occurs as lenticular and layered bodies between the skarn zones, (the intrusives and the unaltered limestones. Individual orebodies can be 1,000-1,500 m long, 600-700 m wide and normally 10-15 m thick, sometimes as much as 30-50 m. The predominant minerals in the original ore are magnetite, chalcopyrite, bornite and molybdenite, with occasional pyrite, pyrrhotite, cobaltite and boron minerals. The ores can be massive, in stacked veins or disseminated.

Prospects for further discoveries of skarn copper deposits are good, promising results having been achieved from drilling at depths of 600-1,500 m in the Saiak area and at the Irisu copper-magnetite deposits in the Talas Alatau range.

Комплексные медно-магнетитовые и магнетит-медно-молибденовые месторождения имеются в Сев. Прибалхашье (Саяк-ская и Каратауская группы месторождений). Они связаны с верхнепалеозойскими гранитоидами, прорывающими карбонатные породы.

Lode copper deposits.

The Chatyrkul and Zhaisan deposits in the Kendyktas mountains in southern Kazakhstan are representative of this type of mineralisation, being located in the central part of the Chatyrkul Caledonian granite massif. The Chatyrkul deposit consists of three large vein systems hosted in extensively hydrothermally altered syenodiorites and granites. The veins dip at 45-80°, and converge in the southern part of the intrusives.

Ores consist of quartz-sulphide-magnetite, quartz-calcite-sulphide and disseminated-vein assemblages, occurring in lenticular bodies up to 1,000 m long, 300-700 m wide and 6-38 m thick. Predominant minerals are magnetite, chalcopyrite, molybdenite and uranite. The average copper grade is 3.6-4.5%, but can locally reach 20%, molybdenum grades 0.02%, iron 52%, gold 1 g/t and silver 20 g/t. Rhenium, bismuth, selenium and tellurium are often associated.

The deposit has only been explored to a limited extent, and the potential exists to increase both the reserves and the copper grade substantially. Around 30% of the currently defined and developed ore reserve is available for surface mining.

Lead and zinc

Kazakhstan has large lead and zinc resources, with principal deposit types:

стратиформным (в карбонатных и терригенно-карбонатных породах), колчеданным и скарновым (в девонском и венд-рифейском стратиграфических уровнях) типами. Каратауская

группа стратиформных м-ний локализована в терригенно-известняково-доломитовой формации фамена (м-ния Миргалимсайское, Ачисайское, Байжансайское, Шалкийское). В рудах этих м-ний, наряду со свинцом и цинком (сумма 4,5%), промышленное значение имеют кадмий, барит. Атасуйская группа стратиформных м-ний локализована в кремнисто-карбонатно-терригенной формации фамена. Рудные тела — пластовые залежи в сочетании с секущими жилами и зонами. Руды комплексные, свинцово-цинково-баритовые, сумма свинца и цинка 4,8%, барита 30—50%. Элементы-примеси — Cd, Bi, Se, Te, In. К фамен-турнейской толще относятся также м-ния Юж. и Центр. Казахстана Рудные залежи имеют форму мощных линз, прерывистых межформационных тел, секущих зон. Колчеданно-полиметаллич. м-ния сосредоточены в старейшем рудном районе Казахстана — Рудном Алтае.

Altai-type deposits are found in eastern Kazakhstan, forming the Leninogorsk, Zyryanovsk and Priirtysh ore fields that have formed the basis for major mining operations. Deposits that are in production include Orlovskoe, Nikolaevskoe, Kamyshinskoe, Novo-Berezovskoe, Irtyshskoe, Belousovskoe, Ridder-Sokolnoe, Tishinskoe, Zyryanovskoe and Grekhovskoe. Deposits that have been evaluated but not brought into production include Maleevskoe, Novo-Lenmogorskoe, Chckmarskoe, Artemievskoe, Yubileyno-Snegirikhinskoe and Strezhanskoe. Table 2.8 lists typical grades for these deposits.

The ore is hosted in Devonian volcanic formations, occurring mainly in downwarps in basaltic and rhyolitic lavas, and in limestones and sandstones. Orebodies occur in various shapes, reaching up to 3,000 m long by 100 m thick. Reserves in individual orebodies can be as much as 4.5 Mt. Mineralisation includes galena, sphalerite, pyrite and chalcopryite, average grades being 0.7-7.4% lead, 1.5-11.9% zinc and 0.1-2.0% copper. Gold, silver, cadmium, barite, selenium, mercury, antimony, bismuth, gallium, indium and germanium are often present.

Atasuiski-type base metal deposits are found mainly in central Kazakhstan in the Atasuiski, Agadyrski and Karkaralinski ore fields. Deposits in production include Zhairemskoe, Ushkatynskoe, Akzhalskoe and Karagailinskoe, while those evaluated but still unworked include Uzynzhalskoe, Besrubinskoe and Alashpavskoe.

Deposits of this sort are typified by the concentration of minerals in clayey-silicious carbonaceous rocks, with a tight spatial association between lead, zinc, barite, iron and manganese ores. The predominant mineral varies at different deposits; hence in the Karazhal deposit iron and manganese are more important, while at Besrubinskoe barite-lead-zinc ores predominate. The lead-zinc ores underlie the iron-manganese ores stratigraphically, the mineralisation occurring in lenticular deposits of sedimentary and hydrothermal sedimentary origin. Metasomatic lead-zinc, barite-lead-zinc and barite ores also occur.

Ores contain barite, galena, sphalerite and pyrite, the lead:zinc:copper ratio being 1:2:0.1. Individual orebodies measure 700-1,600 m along strike and 200-600 m wide. Their thickness varies from 2 to 100 m, and the reserve in individual orebodies can be as high as 5.0 Mt. Lead grades range from 1.5 to 15%, while zinc varies from 1.0 to 10%. Other metals normally present are silver, cadmium, barite, copper, mercury, indium, gallium, germanium, selenium and tellurium.

Table 2.8 Grades and reserves of selected lead-zinc deposits

Deposit	Reserves (Pb)	Reserves (Zn)	Grade (Pb) %	Grade (Zn) %
Kamyshinskoe	1,300	6,300	0.40	0.50
Novo-Berezovskoe	1,900	51,100	0.18	4.89
Irtyskoe	104,900	684,300	0.85	5.53
Berezovskoe	36,000	123,300	3.64	7.27
Ridder-Sokolnoe	182,900	403,900	0.45	1.16
Tishinskoe	405,800	2,348,500	1.11	6.20
Zyryanovskoe	541,100	928,300	0.78	1.40
Grekhovskoe	140,300	424,500	0.51	1.75
Maleevskoe	413,500	2,748,300	1.19	7.84
Novo-Leninogorskoe	446,400	1,174,800	1.44	4.05
Chekmar'skoe	711,000	1,941,800	0.80	2.17
Anemievskoe	—	--	2.77	8.05
Yubileyno-Snegirikhinskoe	33,900	219,500	0.89	5.87
Orlovskoe	399,900	1,279,500	1.00	3.42
Nikolaevskoe	182,000	142,300	0.50	3.77

Deposits in the Karatau district in southern Kazakhstan are of the Mirgalimsaiskoe type, stratiform lead-zinc occurrences hosted in dolomitic limestones. Jointing often exercises structural control on the ore zones, and deposits frequently exhibit multiple alternation of ore-bearing horizons. Orebodies measure up to 2,000 m along strike and 1,000 m wide, and are up to 100 m thick. Individual orebodies can contain up to 5 Mt. In some places, galena is the principal mineral where the lead:zinc ratio is 3-4:1, while elsewhere sphalerite predominates. Lead and zinc grades are 0.6-4% and 0.9-7% respectively. The Zhungar Alatau district in southern Kazakhstan is the only location where Tekeli-Kholodninski-type lead-zinc deposits have been found. Hosted in dolomitic limestones, the orebodies are banded and brecciated and have undergone hydrothermal and contact metamorphism. Lead, zinc, copper, silver, cadmium and antimony are contained in the ores, which grade 0.5-2.5% lead and 2.5-5.5% zinc. Individual orebodies contain up to 0.5 Mt.

There is potential for polymetallic deposits hosted in Precambrian metamorphic rocks, although there has been little exploration for these as yet. The Kokshetau district is known to have stratiform copper-lead-zinc mineralisation. Other exploration targets include areas where Mesozoic-Cenozoic weathering has produced secondary enrichment above primary ores, prospects for this type of deposit existing on both edges of the Turgai basin and in the Karatau foothills.

Nickel

Nickel deposits in Kazakhstan are of the nickel silicate type and are predominantly associated with the weathering of ultrabasic rocks. Nickel sulphide deposits have never been discovered in Kazakhstan. Some 40 nickel silicate deposits have been investigated, and nickel is produced from the Kempirsaiski massif in the southern Urals.

Typically, the nickel-bearing zones form an eluvial blanket over primary rocks and comprise nontronitic (iron-rich clay) and leached serpentinite zones. Highest nickel concentrations are associated with the nontronite, average values being 1.0-1.2% nickel and 0.02-0.06% cobalt.

A cobalt-nickel silicate deposit has recently been identified at Shevchenkovskoe, in the western part of the Turgai basin. The orebodies vary from 1 m to 100 m in thickness, with grades of up to 0.95% nickel and 0.06% cobalt. Other areas of similar nickel-cobalt mineralisation are found in the Ekibastuz-Bayanaul region, and in the Charskyi and Gomostaevskyi ultramafic belts in Eastern Kazakhstan.

Tin, Tungsten and Molybdenum

Although there is evidence of historical tin production in several areas of the country-, current output is limited to the by-products of tungsten and tantalum mining at five locations: Karaobinskoe (tungsten) and Bologorskoe, Bakermoe, Yubileynoe and Akhmetkino (tantalum). Four types of tin occurrence have been identified in Kazakhstan; pegmatites, skarns, greisen quartz stockworks and placers.

Оловянные руды выявлены в Калба-Нарымском Кокчетавском, Чу-Илийском, Сарысу-Тенгизском, Ба-янкольском и др. р-нах. Выделяют касситерито-кварцевую, касситерито-силикатную, касситерито-сульфидную и скарново-грейзеновую оловорудные формации. Морфологически это жилы, минерализованные зоны, штокверки, Сопутствующие компоненты: вольфрам, висмут и др. Большинство рудопроявлений олова каледонские, частично герцинские. Россыпи олова (аллювиальные, делювиальные) известны в Юж. Алтае, в Сев. Казахстане, Улугтау. В прошлом некие из них эксплуатировались.

Examples of stockwork-type occurrences are the Syrymbet and Donetskoe deposits. Syrymbet, 100 km west of Kokshetau in northern Kazakhstan, is hosted in Middle Devonian granites that have intruded Upper Proterozoic rocks. This unique deposit consists of stockworks of quartz-cassiterite veins with associated tourmaline, topaz, fluorite and sulphides. The average tin grade is 0.1-0.5%. The ore also contains tungsten, copper, bismuth and molybdenum. The primary stockwork is overlain by a weathered crust in which the tin grade is enhanced to 0.23%. The Donetskoe deposit exhibits a similar structure, and has a grade of 0.22% tin.

Tin-bearing pegmatites are found in the Altai district in the east of the country, tin being produced as a by-product from tantalum and niobium mining at the Bakermoe and Yubileynoe deposits. The tin content of the pegmatites varies from 0.01 to 2-3%. Skarn tin deposits have been located in the Shu-Iliyski district, but have not proved commercial. Prospective areas for further discoveries of tin mineralisation

are centred on the Kokshetau and Altai districts. The Ognevsko-Bakenny area of the Central Kalba district also has tin potential.

Kazakhstan has the world's largest reserves of tungsten and substantial molybdenum resources. The first discoveries were made in 1936, and until recently all commercial deposits were either comprised of stockworks or greisen quartz veins. Recent exploration has revealed tungsten-bearing skarns and deposits hosted in weathering crusts.

Известно свыше 300 м-ний вольфрамовых руд (кварцево-грейзеновые, гидротермальные штокверковые и скарново-грейзеновые м-ния, связанные с герцинскими постороженными гранитами). Руды первых 2 типов — комплексные молибден-вольфрамовые с сопутствующим висмутом, реже оловом. В скарново-грейзеновых м-ниях кроме вольфрама содержатся молибден, медь, висмут. Месторождения 1-го и 3-го типов обладают относительно высоким содержанием WO_3 , (0,25— 0,65%); штокверковые м-ния—относительно низким (0.1—0,2%). Морфология рудных тел: жилы, линзы, штокверки, минерализованные зоны. Выявлены *новые* для Казахстана перспективные стратифицированные метаморфогенные месторождения скарноидов с шеелитом среди пород протерозоя (тактитовый тип) и вольфрамоносные коры выветривания, развивающиеся по гипогенным рудам. В корях вместе с вольфрамом содержатся висмут, медь, цинк.

Молибденовые руды сосредоточены в кварцево-грейзеновых и штокверковых м-ниях. Значит, часть *за*-пасов молибдена заключена также в медно-порфировых, медно-скарновых рудах, а также ванадиеносных сланцах (Таласское Алатау, Каратау). Руды молибденовых м-ний содержат также вольфрам и висмут. Морфология рудных тел: штокверковые зоны, жилы, линзы. Среднее содержание Мо в м-ниях (%): кварцево-грейзеновых 0,15—0,50, штокверковых 0,05—0,12, молибденсодержащих медных 0,005—0,05, ванадиеносных сланцах 0,02. Основные запасы молибдена заключены в штокверковыи и медно-пор-финовых м-ниях.

The predominant tungsten deposits are stockworks, which hold over 90% of the country's tungsten and molybdenum reserves. Tungstite-bearing deposits include Karaobinsky, Akmaia and Bainazar, while those in which scheelite is the main mineral include Boguty (Figure 5.7), Verkhnee Kairakty, Batystau and Cherdoyak. Molybdenum-bearing stockwork deposits include Koktenkol and Shalgia, while Boschekul, Kounrad, Aktogai, Aidarly, Koksai and Borly are copper-molybdenum deposits.

Some of these orebodies (for example Verkhnee Kairakty, Boguty and Koktenkol) are substantial, and are typified by containing complex, low-grade mineralisation. Bismuth, copper, rhenium, selenium and tellurium are also present. Principal features of this type of deposit are the absence of clear-cut boundaries, the depth of mineralisation (up to and in excess of 1,000 m) and the development of low-temperarnre metasomatism in the surrounding rocks.

Typical of this type of deposit is Verkhnee Kairakty, which is predominantly a tungsten deposit with subordinate molybdenum. The stockwork lies above a leucogranitic intrusion and consists of an elliptical, sheet-like body. The mineralisation is contained in exocontact zones, the tungsten grade being dependent on the density of veining. Minerals present include sericite, quartz, feldspar, pyrite, scheelite, tungstenite,

bismuth minerals, molybdenite and chalcopyrite. Average grades are 0.13% WO and 0.005% molybdenum.

Typical of skarn-type tungsten and molybdenum deposits are Bayan in Kokshetau district, and Severny Katpar and Koktenkol Uchastok Promezhutochny in Zhezkazgan district. Scheelite and molybdenite are associated with bismuth and copper minerals, with silver, rhenium, tellurium, indium and germanium also present. Grades average 0.2-0.35% WO and 0.04-0.07% molybdenum. The Karatas I deposit in the northwest of the Balkhash district is a molybdenum-rich skarn, ore grading 0.05-0.7% molybdenum and 0.6-0.7% copper being found in lenses and veins associated with quartz diorites and granodiorites.

Greisen vein tungsten and molybdenum deposits contain a small proportion of the country's total reserve. Deposits are typically small but have higher grades than elsewhere (0.3-0.8% WO and 0.14-0.42% molybdenum). The veins are usually found above granite domes or within the granites themselves. In addition to tungsten and molybdenum, tin, bismuth, tantalum, niobium, scandium, silver, selenium and tellurium also occur in this type of deposit,

Tungsten-bearing weathering crusts sometimes overlie skarns and greisen veins, and exhibit enhanced tungsten, bismuth and copper grades. Tungsten-bearing placers are also found, but generally contain only small resources.

Koktenkol is primarily a molybdenum deposit, containing 46% of the country's reserves. The stockwork lies within volcanogenic sediments above a Permian granite intrusion. Principal ore minerals are molybdenite, tungstenite, scheelite, and bismuth and copper minerals, average grades being 0.071% molybdenum and 0.057% WO₃. The molybdenum content of copper-molybdenum porphyry deposits ranges from 0.005 to 0.01%.

Titanium

While a number of types of titanium deposit are known, only placers and eluvial deposits are potentially viable. Economic deposits occur in the Irtysh, Kokshetau and Turgai districts, and in the North Aral and Pre-Caspian regions.

Преобладает магматический тип (ильменит-титаномагнетитовые месторождения - Велиховское, Караобинское; титаномагнетитовые - Масальское, Ирисуйское; шорломит-ильменит-титаномагнетитовые - Красномайское). Менее распространены титаноносные пегматиты и грейзены в гранитоидах и рутиловая минерализация во вторичных кварцитах. Рудные тела в них представлены в виде изометричных и линзообразных шлиров и залежей длиной сотни и тысячи метров. Экзогенные проявления титана локализованы около выступов каледонид и герцинид. Глинистые титаноносные коры выветривания развиты по гнейсоамфиболитам, габбро и гранитоидам (Кундыбайское, Караоткельское и др. месторождения). Содержание ильменита от десятков кг/т и выше, форма рудных тел пластообразная, контакты постепенные. Наиболее важные в практическом отношении комплексные ильменит-цирконовые, циркон-рутил-ильменитовые россыпные месторождения выявлены и разведаны на севере и северо-западе Центрального Казахстана, где они связаны с погребенными прибрежно-морскими песками мезозойско-кайнозойского чехла (Тобольское, Обуховское, Кумкольское, Аласорское, Заячье и др.). Мощность рудных песков до 25м, форма пластообразная, линзо- и лентовидная. Титановые россыпи известны также в Северном Приарале, Павлодарском Прииртышье и в Зайсанской впадине.

In northern Kazakhstan, Eocene placers extend along the edge of the Kazakh shield from the Ishim River to the Irtysh River. Small- and medium-sized deposits of ilmenite-leucoxene-zircon are found, usually close to the surface and from 1 to 8 m thick. Grades are 20-50 kg/m³ ilmenite and somewhat less for zircon.

Small ilmenite deposits of Oligocene age are found in the Turgai district, with grades of up to 40 kg/m³, and averaging 1-2 m in thickness. Much larger are the Oligocene placers in the Aral region, where grades are up to 50 kg/m³ ilmenite and 10 kg/m³ rutile in 5-15 m thick horizons.

Placers in the east Pre-Caspian basin are connected with Eocene sands, and are found in synclines and troughs associated with salt dome structures. The deposits are compact and have a high ilmenite content with lesser rutile, leucoxene and zircon.

The Shokhash deposit in the Martuk district is the most promising titanium-rich placer in the country. Measuring 4,500 m by 700 m, it is located in a syncline associated with the Shaidinski salt massif, and represents a near-shore marine placer deposit. There are two ore horizons, of which the upper, 1.0-7.5 m thick, contains 90% of the resources. Average grades are 122.5 kg/m³ ilmenite, 7.9 kg/m³ rutile, 5.1 kg/m³ leucoxene and 14.7 kg/m³ zircon. Grades in the lower horizon, 2-8 m thick, are about one-tenth of these.

Kundybai, in Zhetygara district, is an example of an eluvial deposit, formed through the weathering of primary mineralised rock. The deposit measures 20 by 2 km, with ore horizons up to 5m thick. The ilmenite content is from 40 to 120 kg/m³ with 2-10 kg/m³ rutile and 5-10 kg/m³ monazite. The deposit also contains kaolin and churchite.

Prospective areas for placers exist in the Or-Temir-Emba River system, and in the Irtysh River district, while potential for Kundybai-type eluvials exists in the South Mugodzhary, Ulytau and Kokshetau districts.

Ванадиевые руды представлены комплексными титаномагнетитовыми, россыпными (ильменит-рутиловыми и магнетит-циркон-ильменитовыми), инфильтрационными, медно-свинцово-цинковыми м-ниями. Образуют также самостоятельные, м-ния в черносланцевых толщах. В титаномагнетитах (Мугоджары, Зауралье) содержание $V_2O_5 = 0,1—0,6\%$, в бурых железняках (Аятское, Лисаковское и др. м-ния) — ниже. Ванадиеносные черносланцевые (углисто-кремнистоглинистые) толщи известны в Сев.-Зап. Каратау, Таласском Алатау, Улутау, Домбралытау в Зап. Прибалхашье. В Таласском Алатау ванадиеносная пачка принадлежит кембрийской углисто-кремнисто-сланцевой формации. Содержание V_2O_5 в ней достигает 3,64—3,93%. В Баласаускандыкском рудном поле (Сев.-Зап. Каратау) содержание V_2O_5 в отдельных прослоях углисто-кремнисто-глинистых сланцев ванадиеносной пачки достигает 1,22%. Запасы ванадия в кембрийских сланцах Казахстана очень значительны, но они не вовлечены в эксплуатацию.

Tantalum, Niobium, Rare earths, Stronthium.

Tantalum and niobium resources occur in both pegmatites and greisen quartz veins, the former being the more important. Economic pegmatite-hosted resources are concentrated at Altai, in the Kalbinski district of eastern Kazakhstan, where five such deposits have been evaluated.

М-ния тантала — редкометалльные гранитные пегматиты и редко металльные граниты с комплексной минерализацией (олово, ниобий, цезий, полевой шпат, слюда, кварц и др.), связаны с кислым магматизмом девон-карбонового и пермского возрастов орогенных и посторогенных зон. Ниобиевые проявления представлены колумбит- цирконовой позднемагматической, редкометалльно-гранитовой (гагаринит-пирохлор-цирконовый тип), редкоземельной пегматитовой (пирохлор-монацит- цирконовый, монацит-ортит-фергусонитовый типы) и щёлочно-полевошпатовой метасоматической (колумбит-фергусонит-бастнезит-ксенотим-цирконовый тип) формациями. Цирконий, редкоземельные элементы и др. ассоциируют с ниобием и иногда образуют самостоятельные проявления (скарновая, альбититовая, карбонатитовая, редкометалльная, апатит-грейзеновая, гидротермальная, вулканогенная формации), которые связаны с каледонскими и герцинскими магматическими образованиями. В Сев. и Вост. Казахстане известны коры выветривания и делювиально-алювиальные россыпи, содержащие ниобий и тантал.

Typical of these is the Bakennoe deposit which is situated in a vein structure in the central part of the pegmatite belt. The orebody is located at the edge of a Permian granitic batholith, mineralisation being distributed irregularly throughout the deposit. Some 70 minerals occur in the pegmatite veins, the principal being albite, microcline, quartz, muscovite, columbite-tantalite, spodumene and cassiterite. Average grades are 0.0082% Ta_2O_5 and 0.23% Nb_2O_5 . In addition to tantalum and niobium, other minerals produced are beryllium, feldspar, muscovite and quartz.

Prospects for further pegmatite discoveries are high, as even in the Altai district, much exploration remains to be undertaken. Other possibilities include albite-garnet formations in the Kokshetau, Altai, Zharmasaur and Tien Shan districts which, although low-grade, also contain zirconium and rare earths.

Kazakhstan has excellent potential for the development of rare earths production, with five genetic types of deposit having been identified in the country. Primary rare earth production has yet to commence, output in the past having been obtained from uranium ore processing.

The Verkhnee Espe deposit in Semipalatinsk district is genetically connected with an alkaline granite mass, and contains niobium, zircon, yttrium, rare earths and beryllium. The deposit although incompletely evaluated, is considered to have the greatest potential. The orebodies are contained in alkaline pegmatites and in fenites, average grades being 0.4% rare earths 0.2% yttrium and 0.1% cerium. The principal minerals present are zirconium, pyrochlore, thorite, gadinolite, monazite and xenotime. Similar deposits are known at Chingiz-Tarbagatay in Kokshetau district, and elsewhere.

Other potential rare earth sources of significance include: uranium-bearing deposits in the Pre-Caspian basin of western Kazakhstan that also contain yttrium and cerium-group rare earth elements; carbonatite occurrences that contain complex zircon, tantalum, niobium and rare earth mineralisation (an example is the Krasnomaiski deposit in Kokshetau district) weathering crusts that contain rare earths that have been absorbed by clays.

Стронциевые руды сосредоточены в седиментационно-диагенетическом и эпигенетическом м-ниях. Промышленный интерес представляют эпигенетические м-ния (Мангышлак). Руды в основном целестиновые, со значит, примесью барита, залегают среди миоценовых глинисто-карбонатных отложениях в виде пластов и линз мощностью 0,5—8,0 м и протяженностью до 10 и более км.

Kazakhstan possesses considerable strontium resources, although there is no production at the moment. Six deposits have been delineated in the Mangyshlak peninsula in the west of the Republic). One, the Auyrtas deposit, has been evaluated.

Here, celestite is contained in lenticular and interbedded deposits within Upper Miocene coquinas, marls, clays and sands. The ore horizon lies at the base of a shelly limestone, and consists of a sheet-like deposit some 10 km long and with an average thickness of 4m. In addition to large reserves of celestite, the deposit also contains significant barite resources. Lying within 25m of the surface, and virtually horizontal, it has good potential for supporting an opencast mining operation.

Алюминиевые руды.

М-ния бокситов относятся к единому платформенному типу и связаны с мезозойско-кайнозойскими континентальными отложениями эпигерцинской платформы Центр. Казахстана. Бокситонакопление в Казахстане происходило от верхнего триаса до палеогена включительно. Economically important bauxite deposits are found around the edges of and in uplift zones in the Turgai basin. Аркалыксколское, Краснооктябрьское, Аятское и др. являются главной сырьевой базы Павлодарского алюминиевого з-да.

Most are platform-type deposits resulting from Cretaceous-Palaeogene lateritic weathering and the formation of continental sediments. Viable deposits are eluvial-sedimentary and fall into two categories: karstic, which comprise 95% of Kazakh reserves, and slope morphological.

Bauxite production is centred on the east and west edges of the Turgai basin. In the west Turgai area, 12 karst deposits have been delineated, and in the east Turgai area, six. One viable karst deposit is known in the central Turgai basin, and a further two in the Mugodzhary district, but these have yet to be developed.

Kazakh karst bauxite deposits are usually compact, up to 50-60 m thick, and amenable to surface mining. The deposits are located along the boundaries of limestones and alumino-silicate rocks, and are represented by iron-kaolin-gibbsite formations.

A typical example of these karst deposits is the Krasnooktabrskoe property in the west Turgai bauxite zone. The bauxite is found at the boundary between carbonates and volcanic rocks, in which a thick (plus-100 m) weathering profile has developed. Karst holes in the limestones were filled with clays and bauxite.

The orebodies are linear, up to 1,000 m long and 100-200 m wide. The bauxite thickness is 50-60 m. The principal aluminium mineral is gibbsite, with associated kaolin, iron oxide, titanium dioxide and siderite. Среднее содержание

Al_2O_3 - 40-44%, SiO_2 - 11,0—14,0% модуль 3,6—4,1.

Slope-type bauxite deposits, which are widespread in the central Turgai area and in the Mugodzhary district, typically are thin and are of lower grade than the karstic deposits, with a higher silica content.

These are generally not commercially viable. Бокситовые м-ния выявлены также в Целиноградской, Чимкентской и Павлодарской областях. Известны также бокситы геосинклинального типа.

В Казахстане имеются значительные перспективы выявления м-ний небокситового алюминиевого сырья (алунитов, маложелезистых каолинов, нефелиновых сиенитов и др.).

Two main areas of kaolin occurrences have been evaluated, in the Kokshetau and Mugodzhzar districts, where commercial eluvial deposits have been formed through the weathering of acid and intermediate intrusive rocks. Evaluation has been carried out on the Alekseevskoe and Eltaiskoye deposits in the Kokshetau region, and on the Soyuznoe, Yaroslavskoe and Koshensaiskoe deposits in the Aktubinsk region. Proven reserves of primary kaolin total 940 Mt, with the Kokshetau district holding 400 Mt and the Aktubinsk district 540 Mt.

Alekseevskoe contains high-grade kaolin in 18 deposits that range in areal extent from 20,000 to 2,500,000 m². The average thickness of the kaolin is over 21.9 m, with less than 5 m of overburden. The kaolin is derived from the weathering of plagiogranites and diorites. In terms of iron and titanium oxides content, the quality of the kaolin here is comparable to that developed in Western European countries, and while finely dispersed mica within the final concentrate restricts [he use of this type of kaolin in ceramics, but makes it eminently suitable for paper coating.

Soyuznoe formed through the weathering of granodiorites, producing a kaolin deposit that measures 4,300 m long, from 250 to 1,700 m wide and 13-14.5 m thick beneath 5 m of overburden. Kaolin from both Soyuznoe and Yaroslavskoe is suitable for ceramics production.

Kazakhstan has good potential for further discoveries of high-quality kaolin in both the Kokshetau and Mugodzhzar districts. The former already has a kaolin industry aimed at producing paper coating and filler-grade material, while the latter has the potential for producing high-quality kaolin that is needed for ceramics production for domestic use and for export.

Gold

Gold deposits occur throughout Kazakhstan, particularly in the eastern and northern regions. Geologically, the republic possesses nearly all types of the precious metal, except gold-bearing conglomerates. The various types of gold are concentrated by region in Kazakhstan, including gold-rich sulphides, skarn deposits and epithermal gold in the east, gold-bearing quartz in both the north and south, and pyritic gold in central Kazakhstan. There are an estimated 15-20 large or world class gold deposits in Kazakhstan, in addition to hundreds of small and medium-sized occurrences.

Золоторудные эндогенные м-ния распространены в палеозойских толщах. Экзогенные м-ния (главным образом аллювиальные четвертичные россыпи) расположены в предгорных долинах, реже в долинах равнинных рек. Известны россыпные проявления мел-палеогенового возраста. Эндогенные м-ния представлены золото-кварцевыми, золото-сульфидными, золото-скарновыми, золото-метасоматическими (березитовыми, листовенитовыми), золото-кварц-адюляровыми, золото-сульфидно-кварцевыми, золото-сульфидно-углеродистыми образованиями. Пробность золота 450—900, повышается в окисленных рудах. Рудные тела — жилы, линзы, линзообразные тела сложной формы, линейные зоны, штокверки и др.

Основная золото-рудная минерализация протекала в орогенную и посторогенную стадии развития регионов. По времени образования золото зафиксировано в

докембрии (Улугтау), но основная часть м-ний формировалась в каледонскую и геосинскую металлогеническую эпохи.

В золотосодержащих комплексных месторождениях золото встречается преимущественно в виде тонкодисперсных включений в сульфидных минералах и извлекается попутно.

There has been gold production in Kazakhstan since the Stone Age, the earliest open pit workings having been dated to 4,000 BC. Following a long gap, production resumed in 1725 from copper-gold ores at the Altai district, and the discovery of alluvial gold in the Aganakty river valley in eastern Kazakhstan in 1778 prompted production from placers in the Altai rivers. By the start of the 20th Century, gold output was around 2,500 kg/y.

Since the 1930s, there has been systematic prospecting for gold deposits throughout the Republic, and the production enterprises Kazzoloto and Altaizoloto were established to produce gold from the north and east of the country respectively. In the early 1990s these were combined to form the Kazalmazzoloto organisation which in 1993 was reorganised into Altynalmas, the national gold company. Altynalmas concentrates on gold production from primary deposits, by-product gold from polymetallic mines being the responsibility of other organisations.

The principal types of primary gold deposit found in Kazakhstan are quartz veins, stockworks and mineralisation associated with black shales, which together hold about 65% of the Republic's gold resources (Figure 5.1). Gold deposits associated with surface weathering, recently identified in Kazakhstan, are believed to hold great potential. Alluvial gold deposits are of limited significance. Table 5.1 lists typical grades.

Quartz vein deposits

Typical of this type of occurrence are the Akbakai, Beskempir, Akbeit, Aksu and Stepnyak deposits, which are associated with small diorite or granodiorite intrusives. The mineralisation is restricted to the metamorphosed contact zone between the intrusives and country rocks and to altered rocks nearby.

Ore bodies consist of quartz veins and vein zones with low sulphide contents. The gold content varies from a few to hundreds of grams per tonne; the gold distribution within the veins is heterogeneous, and the gold:silver ratio varies from 1:2 to 1:50.

A typical example of this type of deposit is Akbakai, in the Shu-Ili gold belt of southern Kazakhstan. The mineralisation is hosted in Upper Ordovician sediments that have been intruded by a granodiorite massif. Lamprophyre and porphyry dykes play an important role in the control and distribution of the ore.

Two series of fault-controlled quartz veins occur, dipping at 70-80° and 25-40°. The gold occurs native and in association with sulphides, grades ranging from 7.8 to 17.6 g/t.

Other potential areas for discoveries of this type of deposit include areas around Akbakai in the Zhalaier-Naimanskaya and Sarytumsкая districts of southern Kazakhstan, and in the Aksu-Bailustinskaya district of central Kazakhstan. Near-surface gold-silver mineralisation potential exists in the south, and in the North Zhungaria and North Balkhash districts.

Black shale ssociations.

^ Gold mineralisation occurs in association with black shales in Lower and Middle Carboniferous sediments that have been intruded by small diorite and porphyry bodies. Discrete I orebodies are found in folded and metamorphosed rocks that have a high carbon content, the ^ mineralisation being associated with pyrite and arsenopyrite. Delineation of the orebody limits is possible through the use of assay data. '^

The gold is finely disseminated within the sulphides, with grades ranging from 4.6 to 9.6 g/t. Antimonite is sometimes present, and the ores can be difficult to process on account of the arsenic content.

Deposits of this type include the Bakyrchik, Bolshevik and Vasilievskoe properties. The Bakyrchik deposit, located in the Kyzylvorskaya fold district of the Zapadno-Kalbinski gold belt in eastern Kazakhstan, occurs in Lower and Middle Carboniferous sediments that have been intruded by porphyry dykes. The host rocks have been extensively altered to schist, with some silicification and sericitisation. The orebodies occur as bands and lenses, with an average grade of 8.4 g/t; assaying is required to determine orebody limits.

Other areas with potential for this type of deposit include the Kyzylvorskaya, Akzhal-Bokonskaya, Mukurskaya and Zhanan-Chinrauskaya districts of eastern Kazakhstan, black schists of the Kokshetau massif, and carbonaceous formations of the Shu-Ili gold belt in the south of the country.

Stockworks.

Gold-bearing stockworks are generally contained within diorite or granodiorite intrusive bodies, the gold occurring both native in quartz veins or in association with sulphides. Arsenopyrite, pyrite and chalcopyrite are commonly present, with galena, antimonite, grey copper ores and bismuth also found. The gold grade varies from 3.6 to 7.0 g/t, and the ores , are often difficult to process on account of the arsenic content.

The Vasilkovskoe deposit, on the northern margin of the Kokshetau massif in the North Kazakhstan gold district, is typical of this type of occurrence. Contained in Ordovician gabbro-diorites, the deposit occurs at the intersection of two major faults. Arsenic contents vary from 1.28 to 8.5%, and two distinct types of gold mineralisation are found.

Uranium.

Kazakhstan is one of the principal areas of uranium resources in Asia, the country holding an estimated 65% of the total resources of the former USSR. Current production is about 40% of the CIS total. Two types of uranium deposits have been located; hydrothermal veins and sedimentary hosted. Hydrothermal vein deposits have been discovered in the Kokshetau massif in northern Kazakhstan, and are associated with linear zones of alkaline and acid metasomatism in Devonian volcanogenic-sedimentary complexes.

The principal source of uranium is from sheet-infiltration deposits contained in Mesozoic and Cenozoic platform sediments in southern Kazakhstan. Two large uranium-bearing provinces have been discovered

in which the ore occurs in sheet-like form in aleuite sandstones. The deposits formed at the coincidence of acidic and alkaline geochemical barrier zones in the path of underground water migration.

In the Shu-Sarysu district, almost all of the deposits are confined to Palaeogene and Upper Cretaceous sediments, forming up to six ore horizons separated by clayey strata. In the Syr Darya district, deposits occur in Lower Cretaceous, Upper Cretaceous and Palaeogene sediments, of which the Upper Cretaceous are the most productive. The uranium content is around 0.1% throughout, and minor constituents include rhenium, scandium, yttrium, selenium and rare earth elements.

Favourable geological conditions in both districts mean that the uranium can be produced by in-situ leaching with minimal environmental impact.

2.7.3 История освоения ресурсов цветных металлов.

The history of mining and metals production in Kazakhstan stretches back to before the second millennium B.C., by which time the area was already one of the principal centres for Cu-Sn bronze production in Eurasia на базе многочисленных местных медных месторождений (Джезказганское, Кенказганское, Алтын-Тюбинское и др.). Объем горных работ на Джезказгане и Кенказгане достигал примерно 1 млн.т и 800 тыс.т соответственно. Разрабатывались преимущественно окисленные медные руды. Горные разработки представлены открытыми выработками длиной до нескольких сотен м, небольшими шахтами, штольнями и канавами. Древние разработки оловянных руд (касситерита) известны прежде всего на месторождениях Калбинского и Нарымского хребта в Рудном Алтае. Они также датируются второй половиной 2-го и нач. 1-го тыс. до н.э. Медные и оловянные рудники эксплуатировались населением андроновской культурно-исторической общности. На территории их расселения часто встречаются следы развитого металлургического производства (Атасу и др.). Тогда же велась и значительная добыча золота. В начале 1-го тыс. до н.э. наблюдается сокращение добычи руд меди в связи с началом эксплуатации многочисленных железных рудников.

Археологическими раскопками обнаружен "Дзенказган" - древний медный рудник эпохи поздней бронзы, на Севере пустыни Бетпак-Дала. Разрабатывалось месторождение медных руд в зоне окисного обогащения, в которой преобладали малахит и частично азурит. Разработка осуществлялась открытыми выработками длиной до 500 м, шириной 140 м и глубиной 17,5 м. Выплавлено 30-50 тыс. т меди. Наиболее интенсивные горные работы - 2-й пол. 2-го - нач. 1-го тыс. до н.э. (археологическая андроновская культурно-историческая общность).

The relics of ancient mining provided a guide for later exploration, and by the 19th Century a number of large-scale deposits of various metals had been discovered. The 18th and 19th Centuries marked the start of industrial exploitation of Kazakhstan's mineral, based on deposits of copper, lead, gold and silver that were found both by commercial interests and by local people.

В связи с присоединением Казахстана к России и начавшимся по указу Петра I освоением русскими промышленниками месторождений руд цветных металлов и золота в Восточн. и Центр. Казахстана в 1-ой половине 18 в. была начата разработка руд месторождений на Северо-Западе Алтая.

Разработка недр Центр.Казахстана осуществлялась во 2-ой половине 19 в. промышленником С.Поповым, построившим ряд рудников (на месторождениях Берккаринском, Кушокинском, Кзыл-Эспинском, Бесшокинском, Майкюбенской угольной копи и др.) и плавильный завод в урочище Куу. С середины 19 в. началось освоение каменных углей Караганды, а в конце - нефти на Эмбе. В кон. 19 - нач. 20 вв. мелкие и средние рудники, золотые прииски и каменно-угольные копи, действовали всюду на территории К., значительная их часть в 1905-20 находилась во владение иностранных концессионеров.

In the 1920s, responsibility for both exploration and mining passed into state control, with the development of mineral deposits being afforded high priority. Local geological organisations were set up with the responsibility for geological and geophysical surveying, prospecting and exploration.

В предвоенные 30е годы были освоены месторождения на Алтае, в Жезказгане, Каратау, карьер на месторождении Коунрадское, медеплавильный завод в Балхаше.

The first copper porphyry to be discovered in the Soviet Union was located at Kounrad in 1928 the Balrhash mining and processing plant, which was constructed on the basis of this deposit, produces its first ore. The Zhezkazgan mining and metallurgical plant was built after the Second World War and is now the largest single copper producer in the whole of the CIS.

Во время Отечественной войны 1941-45 интенсивно разрабатывались марганцевые руды Жезказган-Улутауского района, хромиты Кемпирсайских месторождений, оловянно-вольфрамовые руды на Калбе и Центр.К., ряд свинцово-цинковых месторождений в Юж. и Центр.К.

В настоящее время Казахстан один из наиболее развитых регионов в части минерального сырья цветной металлургии.

The level of geological, geophysical and geochemical knowledge about Kazakhstan is satisfactory. Annotated geological and geophysical maps are available for the whole country at scales of 1:200,000, 1:500,000 and 1:1,500,000, and small-scale tectonic, metallogenic, palaeogeographical and other maps have been published. Over 40% of the country is covered by surveys at 1:500,000, these being primarily the areas metalliferous potential in central, southern, eastern and western Kazakhstan. Today, Kazakhstan produces about 4.4% of total world copper, and 29% of the copper output of the CIS.

2.7.4 The mining and metallurgical industries.

Kazakhstan's mining and metallurgy complexes occupy a key position in the country's industrial sector on account of their economic importance. There is also an extensive oil and gas industry. Удельный вес горной промышленности в Казахстане составляет около 15% объема промышленного производства. Surface workings being found near extensive copper, gold or polymetallic deposits that have been delineated through drilling in modern times. Exploration geologists still use the occurrence of ancient workings as a guide to the possibility of orebodies being found at depth nearby. Copper, copper-lead and lead deposits such as those at Zhezkazgan, Kurgasyn, Berkara, Uspenskoe, Aleksandrovskoe, Chatyrkul, Maikain, Tekeli and elsewhere were discovered by following the evidence of such prehistoric working.

Открытым способом добываются 20%, подземным 80% руд.

Kazakhstan's reserves of specific minerals are frequently close to the top of the world "league", in terms of actual output Kazakhstan features in the range 10-20 in the table, indicating the excellent potential for expansion of the mining industry. The majority of reserves are contained either within existing operations or in deposits that are ready for exploitation. Table 6.1 shows the status of Kazakh mineral reserves on a commodity-bycommodity basis.

Kazakhstan's non-ferrous metallurgy sector is one of the largest industrial contributors to the country's economy. It is divided into seven sub-sectors that comprise 28 large production organisations. Kazakh non-ferrous metals products are of world standard, and the Republic currently exports to over 30 countries.

The copper subsector is centred on two production complexes, the NPO Zhezkazgantsvetmet unit which comprises open pit and underground mines, concentrators and a smelter, and the PO Balkashmed, with similar facilities. End products from these operations include refined copper, sulphuric acid, lead, bismuth, gold and silver, molybdenum concentrate and calcium molybdate.

Table 2.9 Status of Commercial Mineral Deposits in Kazakhstan

Mineral Resource	Total Number of Commercial Deposits	Number of Deposits Exploited	Deposits Ready to be Exploited	Deposits with Proven Reserves	Other Commercial Deposits
Titanium	5	-	-	5	-
Lead/Zinc	58	29	4	15	10
Copper	74	25	9	27	13
Aluminium	22	7	1	2	12
Nickel	31	13	11	2	5
Tungsten	12	2	<i>i</i>	4	4
Molybdenum	26	7	3	12	4
Tin	6	2	1	3	-
Tantalum	12	4	-	8	-
Gold	190	65	8	55	62

The lead-zinc subsector- encompasses ten integrated mining and processing complexes, chief amongst which are the Leninogorsk and Irtysh polymetallic operations, the Zyryvanov lead plant, the East Kazakhstan lead and chemical plant and the Zhezkent MDP. In central Kazakhstan, production is centred on the Zhairam, Karagaily and Akchatau MDPs, and in the south on the Tekeli lead-zinc plant and the Achisai polymetallic operation. There are also three non-ferrous smelters, at Leninogorsk and Ust-Kamenogorsk, where they form part of the lead-zinc production complexes, and at the Shirkent lead plant. These plants have the capacity to treat hundreds of thousands of tonnes of lead and zinc concentrates annually, obtaining their feed from lead, lead-zinc and copper-zinc ores. both local and imported, and from secondary sources.

Bauxite is produced by the Krasnooktyabrskoe and Turgai mining centres and is processed at Pavlodar. Gold production is the responsibility of the Altaizoloto, Kazzoloto, Bakyrchikski, Akbakaiski and Vasilovski MDPs. and of the Maikainzoloto integrated production centre Tungsten and molybdenum are produced at the Akchatau MDP. "Rare metals" and uranium are produced by the Belogorsk MDP and by the Prekaspiyski and Tselliny mining and chemical companies. with rare metals being smelted at Irtush. The Ust-Kamenogorsk titanium-magnesium plant is amongst the world's largest.

Most of the country's coal production comes from two large organisations. Karagandaugol and Ekibastuzgol. Oil and gas production is the responsibility of six companies, which are located in Aktau, Atyrau, Kulsary, Aksai, Aktubinsk and Kzyl Orda.

Copper

Kazakhstan ranks, seventh amongst world copper producers, with 17 deposits in active production, three being copper mines and the remainder being copper-bearing polymetallic operations. In 1992, domestic consumption amounted to just 8% of output, with 22% being exported to other CIS countries and 70% elsewhere.

Медная промышленность представлена Джезказганским горно-металлургическим комбинатом. Балхашским горно-металлургическим комбинатом. Жерикентским горно-обогатительным комбинатом, Восточно-казахстанским медно-химическим комбинатом, Бозшакольским горно-обогатительным комбинатом, Иртышским медеплавильным заводом и др. Медная руда добывается как подземным (50%) так и открытым способами.

There are two main areas of copper production, north Pre-Balkhash and Betpak Dala. Two large copper mining and smelting complexes have been established in the centre of the country, while there is also a group of smaller polymetallic mines and a smelter in the Roudny Altai district. Very large copper deposits, including those at Zhezkazgan and Kounrad, have been mined for years

The Zhezkazgan mining complex is the country's largest copper producer, working cupriferous sandstone deposits. It comprises three underground mines, two open pits, three concentrators and a smelter. In 1992 the complex produced 200,000 t of refined copper and between 1987 and 1992, increased its copper exports from 35,000 to 115,000 t/y. Ore grades are up to 1.0% copper: the deposits are amenable to large-scale mining and the recovery plant yields a high-grade concentrate. A new underground mine, Annenski, is due to begin production in 1994. The Severny mine consists of two open pits that exploit the Zlatoust-Belovsk, and Akchiy-Spasski deposits. The total output of both mines is 4.7 Mt/y from a shovel-and-truck operation. Underground production capacity is 28.5 Mt/y from the Vostochny, Yuzhny and Zapadny deposits. It will exploit the Annenski deposit and underground portions of Akchiy-Spasski. Trackless mining methods used include room and-pillar and panel pillar sloping: equipment used includes foreign drills and load-haul-dump machines

The first concentrator processes copper, complex and lead sulphide ores, and has a design capacity of 8.1 Mt/y. The second plant processes copper sulphide and oxide ores, and has a capacity of 14.2 Mt/y, while third treats copper-lead ores and has the potential to handle copper-lead-zinc and lead-zinc ores if needed. Its design capacity is 4.1 Mt/y.

The smelter has a design output of 265,000 t/y of refined copper, with a purity of 99.99%. The complex produces blister, cathode and refined copper, with by-products including sulphuric acid, lead, gold, silver, rhenium, nickel and cadmium in dusts, cakes and slimes.

The operating company. Zhezkazgantsvetmet, is now evaluating the possibility of recovering underground pillars through the use of open pits up to 350 m deep, the ore tied up in worked out underground areas comprising about 20% of the total Zhezkazgan reserve.

With its operations to the north of Lake Balkhash, the country's other copper producer. Balkhashmed, exploits the Kounrad. Saiak I and II and Tastau deposits with a complex consisting of three mines, copper and molybdenum concentrators and a copper smelter Faced with the exhaustion of its own reserves, the company now receives copper concentrates from Roudny Altai, central Kazakhstan and other sources.

While further reserves *have* been delineated in the Boschekul. Koksai, Aktogai. Aidarly. Chatyrkul, Karatas and Borly deposits, their development will require massive capital investment. A mine is planned to open at Boschekul in 1996. with Aktogai and Aidarly following by the year 2000. so maintaining full use of the Balkhash metallurgical plant capacity.

The Kounrad opencast mine has a design capacity of 10 Mt/y, which has been achieved in the past. More recently. output has declined to between 7.3 and 8.1 Mt/y. Ore and waste are moved in a mixed dump truck and rail haulage operation, using 40 t and 75 t-capacity trucks and 105 t-capacity rail wagons.

Output from the Saiak deposits is 3.2 Mt/y from a shovel-and-truck operation. Because of orebody morphology, recovery from the skarn deposits is only 56%. Ore from Saiak and Kounrad is treated in the Balkhash concentrator, with subsequent smelting and refining within the complex. Oxygen-free copper from here is of a quality suitable for trading on the London Metal Exchange, and in addition Balkhashmed produces lead, zinc and bismuth from smelter dusts, gold, silver, selenium and tellurium from refinery slimes, sulphuric acid, magnetite and molybdenum concentrates, and rhenium.

Copper is also produced by the East Kazakhstan copper chemical and metallurgical complex based on the Roudny Altai polymetallic orebodies. These have adequate reserves to sustain production for many years to come.

Output from Kazakhstan's copper industry consists mainly of blister copper, both main companies also producing anode and refined metal. About 10% of the refined copper **output** is processed into bronze, brass and cupro-nickel rolled products.

Nickel

Four mines are currently working nickel silicate ore deposits in western Kazakhstan; all are associated with the Uralnikel complex, located just across the border in the Russian town of Orsk. The Rozhdestvenki, Shcherbakovski, Molodyozhny and Kzylkainski deposits are all worked by open pits. Additional reserves have been located at the Shevchenkovo deposit, which contains both nickel and cobalt. The deposit is located 50 km southwest of the Zhetugara mountains on the western edge of the Turgai basin.

Lead and zinc.

There are numerous lead-zinc polymetallic mines in eastern and southern Kazakhstan supported by a lead smelter and two zinc smelters. Kazakhstan's importance as a base metals source is highlighted by its having accounted for 56% of the CIS's mined zinc in 1991, and 64% of its lead, and it ranks amongst the top five worldwide in newly mined lead and zinc

Kazakhstan exports 56 000 t/y of lead and 73.000 t/y of zinc outside the CIS. The future of the industry is, however, unclear as few of the mines have grades above 5% combined lead and zinc, and unless there are associated precious metals, not all of these mines will be viable under market economy conditions. Production of lead and zinc is the responsibility of 12 mining and processing enterprises.

Ust-Kamenogorsk lead-zinc integrated plant	(UKLZP)
Leninogorsk polymetallic processing complex	(LPMC)
Irtysk polymetallic processing complex	(IPMPC)
Zyryanovsk lead metallurgical complex	(ZLMC)
East Kazakhstan copper, chemical and metallurgical complex	(EKCCC)
Zhezkent mining and concentrating complex	(ZhMCC)
Shirnkent lead metallurgical plant	(SLMP)
Achisai polymetallic processing complex	(APMPC)
Tekeli lead-zinc metallurgical complex	(TLZMC)
Zhaimem mining and concentrating integrated plant	(ZhMCIP)
Karagaily mining and concentrating complex	(KMCC)
Akchatau mining and concentrating complex	(AMCC)

LPMC is located in the town of Leninogorsk in East Kazakhstan and obtains its production from three ore zones. The Ridder-Sokolnoe zone is worked by three underground mines. Leninogorski, Ridderski and 40th LYCLSU Anniversary, while the Tishinski and Shubinskoe zones each have one underground operation. Development of the Novo-Leninogorski open pit in the Chekmar district has been slowed by lack of finance, and production is now expected by the year 2000.

Chekmar consists of three deposits, Gouslyakovski, Yugo-Vostochny and Chekmar, and is located 45 km from Leninogorsk. Access is via a dry weather road, and the narrow-gauge Leninogorsk-Sinyushonok railway is 15 km from the site. Overburden stripping and construction of surface facilities is currently under way, with ore produced being treated at the Leninogorsk N1 and N2 concentrators. An underground operation is also planned, with a total capacity of 2 Mt/y of ore.

The N1 and N2 concentrators produce lead, zinc and copper concentrates. Selenium, tellurium, thallium and mercury report to the zinc concentrate, while cadmium, indium, germanium and gallium are recovered with the lead. Gold and silver report mainly to the copper concentrate, and pyrite concentrates are also known for their high precious metals content. Concentrates are treated at the leninogorsk and Ust-Kamenogorsk plants, while gold-bearing concentrates are shipped to the Zhezkazgan copper smelter for treatment.

IPPC operates three underground mines, Irtyskshoe, Belousovskoe and Novo-Berezovskoe, of which the latter two are approaching the end of their reserves. The company is setting up joint ventures to develop

the Yubileyno-Snegirikhinskoe and Anisimov Kluch deposits. Its facilities include two concentrators with a combined throughput of 400,000 t/y of gold-bearing polymetallic ore.

ZLMCC operates the Zyryanovskoye and Grekhovskoe mines and is proceeding with the development of an underground mine at the Maleevskoe deposit. Its mill produces copper, lead and zinc concentrates. Selenium and tellurium are recovered with the copper, cadmium and indium report to the zinc concentrate and bismuth is recovered from the copper and lead concentrates. The operation is currently running at only 30-40% capacity.

Elsewhere in East Kazakhstan, EKCCC mines polymetallic ores containing lead, zinc, copper, precious metals and a range of minor metals from three deposits, Nikolaevskoe, Shemonaikhinskoe and Kamishinskoe, and is developing the Artemievskoe deposit for production. ZhMCC operates a similar deposit at Orlovskoe, and is currently in the process of constructing its own concentrator.

The Nikolaevskoe open pit mine opened in 1968 and has a design capacity of 1.5 Mt/y of ore. Actual production was 1.3 Mt in 1991 and 1.1 Mt in 1992, the shortfall being largely a result of limited demand for the types of concentrate produced. A conventional shovel and truck operation, the pit has reached a depth of 180-200 m, with a final planned depth of 420 m. The ore is treated at the Nikolaevskaya concentrator to produce copper-zinc and copper concentrates that are shipped to the Irtysh and Balkhash smelters for treatment.

In 1992, output at the nearby Shemonaikhinskoe open pit reached 312,000 t of ore, somewhat higher than capacity. The mine was opened in 1986, and has a design depth of 270 m. The ore is transported to the Nikolaevskaya concentrator.

In South Kazakhstan, APMPC works the Mirgalirnsaiskoe, Shalkia, Turlanskoe (Achisaikoe) and Baidzhansai deposits near the town of Kentau. Ores are processed in two concentrators at Kentau and Mirgalimsaiskaya, which produce lead, zinc and barite concentrates. Silver is recovered in the lead concentrate. The Achisai underground mine works lead carbonate deposits that are processed to give Waelz oxides; the capacity of the plant now significantly exceeds mine production.

TLZMC produces polymetallic ore from the Tekeli, West Tekeli, Koksu and Central Suuktyube deposits. The former two host separate underground operations, and the company has its own concentrator for ore treatment. The Koksu underground mine is now completing the extraction of the other two deposits.

ZhMCIP is located in central Kazakhstan and operates open pit mines in the Zhairam and Ushkatyn deposits. Ores are shipped to the Kentau and Tekeli concentrators for processing, to give lead, zinc and barite concentrates.

KMCC produces lead and barite from the Karagailinskoe deposit. In addition, the ore contains zinc, copper, silver and cadmium; the operation has its own concentrator.

AMCC operates open pit mines in the Akzhal lead-zinc deposits, producing both lead and zinc concentrates. Precious metals in the ore reports to the lead concentrate, and cadmium is recovered with the zinc.

Tungsten, Molybdenum, Tantalum.

Tungsten output is relatively low in comparison to the country's resources of the metal. Production is the responsibility of two organisations, Kazvolfram and Balkhashmed. Kazvolfram operates two mines in the Akchatau district, Yugo-Vostochni which has been operating since 1941 in the Akchatau deposit, and Zhambyl, which has exploited the Karaobinskoye deposit since 1951. Both are quartz vein and greisen-type deposits. Kazvolfram produces tungsten, tin molybdenum and bismuth concentrates which also contain metals such as tantalum, niobium, scandium and tellurium.

Development projects include opening mines in the unique Verkhnee Kairakty and Koktenkol deposits, and the installation of a pilot plant operation at the Verkhnee Kairakty stockwork deposit. The ores are complex and in addition to tungsten contain recoverable amounts of molybdenum and bismuth as well as a range of minor metals.

The Belogorski mining complex produces tantalum from three deposits, Belogorski, Ognevski and Yubileyni. Ore is treated to produce a crude tantalite-cassiterite concentrate which is then retreated to yield separate tantalum and cassiterite products. The tantalum is recovered in the Ulbinski metallurgical works, which also produces niobium from beryl ores found in pegmatite deposits, in the form of pure metal and niobium compounds.

The Belogorski complex was the leading producer of tantalum in the former Soviet Union, accounting for around 40% of the total output. Its production today is lower in the light of reduced demand.

Bauxite and alumina

Kazakhstan has two mining organisations responsible for bauxite production, at Arkalyk in Turgai oblast and near Oktabrski in Kostanai oblast. The bauxite is conveyed to alumina at the Pavlodar alumina plant, its products being exported to Russia for smelting. The Turgai operation, in the Amangeldy district of the oblast, covers four deposits, Arkalykskoe, Verkhe-Ashutskoe, Nizhne-Ashutskoe and Severnoe. Ushtobinskoe, containing both bauxite and fireclay, and one further deposit, Aktasskoe, are currently being evaluated. The deposits have limited reserves to support an increase in bauxite output, but have a sufficient reserve of high-alumina fireclay to support the development of a refractories industry. This could supply both domestic and export markets with raw materials and finished products, while there are also opportunities for its use in ceramics production and as a filler in rubber and plastics manufacture.

The Krasnooktabrskoe operations produce bauxite from the Belinski and Krasnooktabrski deposits in the west of Kostanai oblast. Open pit mining is used, the bauxite being largely of caking quality. The organisation produces about two-thirds of the feed for the Pavlodar

Kazakhstan was the former Soviet Union's third largest gold producer after the Russian Federation and Uzbekistan. In 1991, Kazakhstan produced approximately 5.3% of the total CIS production, and 50% of its silver. Промышленная добыча золота ведется в Центр. и Вост. Казахстане. Кроме подземных рудников, на предприятиях подотрасли часть добычи обеспечивается старательскими бригадами и дражными работами.

Gold deposits are found throughout the country, particularly in the east, south and north. Principal gold-mining centres include Akbakai, Aksu, Zholymbet, Bestobe, Maikain and Bakyrchik. The river beds and terraces of the Zhungarski and Altai mountains have also been demonstrated to contain alluvial gold, and gold is recovered as a by-product from the treatment of polymetallic ores in eastern Kazakhstan

In mid-1991, the government established a state diamond and gold fund, and in 1993 a consortium (Altynalmas), with the purpose of increasing gold production. A new gold treatment plant has been commissioned at the Ust-Kamenogorsk lead and zinc complex. Together with the National State Bank of Kazakhstan, Altynalmas has drawn up a programme aimed at quadrupling gold production by 1997. This would enable Kazakhstan to have a stable gold reserve to support the national currency, the tenge, as well as being able to encourage the industrial use of gold and to establish an export-oriented jewellery industry.

Most of the country's current gold production comes from the obasts of North, East and South Kazakhstan, and the Maikan-Boschekul region. The principal producer is the Kazzoloto company which, in 1992, alone produced nearly half of the country's gold. Other companies include Altaizoloto (16% of 1992 total output), Maikainzoloto (15%), Akbakaiski (12%), Bakyrchikski (4%) and Vasilkovski (3%), as shown in Figure 6.2. Some 55% of Kazakhstan's gold is derived from primary deposits, with the remainder coming from the treatment of polymetallic ores from the Roudny Altai deposits. Smelting of gold concentrates is undertaken at the Balkhash, Shimkent and Ust-Kamenogorsk metallurgical plants.

Kazzoloto operates four mines, Bestobe, Zholymbet, Aksu and Akbeit, each of which has its own concentrator. Other deposits mined by this company include Kvartzitovye Gorki, Bailusty, Tokhtarovskoe, Severny Karasu, Ushshoki, Dolinnoe and Pustynnoe, of which the latter three support open pit mines while the remainder are all underground operations. Virtually all the gold is recovered by gravity concentration and flotation.

Altaizoloto produces gold from the Vasilievskoe, Zherek, Taskora, Bolshevik, Suzdalskoe, Akzhal and Mizek deposits, and from a number of gold placers. Suzdalskoe, Zherek, Akzhal and Bolshevik are open pit mines, the remainder being underground. While easily separable quartz vein ores are mined in most of the deposits, the Bolshevik and Vasilievskoe deposits contain gold-bearing sulphides that are treated in the Akzhalskaya concentrator.

The Suzdalskoe open pit mine is located 70 km from Semipalatinsk, and has an output of 100,000-120,000 t/y of direct shipping ors. The mine uses conventional shovels and 40 t haulers to work a steeply dipping, oxidised orebody that varies in thickness from 1 to 20 m. Output is shipped to non-ferrous metals

smelters in Kazakhstan, Uzbekistan and Russia for the recovery of gold and silver. Future plans include the construction of a concentrator on site.

Production from the Maikainzoloto Mining Board's operations comes mainly from open pit mining of the Alpis, Abiz, Souvenir and Mizek deposits. Production at Maikain is from underground. In addition to gold, the operation recovers silver, copper, zinc, cadmium and other minor metals, and barite.

Located 320 km from Sernipalatinsk, the Mizek deposit contains gold-barite and gold-quartz mineralisation. The orebodies consist of a series of steeply dipping lenses that vary in thickness from 10 to 17 m. An oxidised zone extends to a depth of 40 m. Open pit mining is used, with production in recent years averaging around 110,000 t/y; the planned capacity is 200,000 t/y. Gravity and flotation processes are used to recover the gold at Maikainzoloto's Tortkudinskaya concentrator.

During 1994 at Bakyrchik, a company was formed by the Australian company, Minproc Resources, and Chilewich International Corporation of the US to work in partnership with Altynalmas. Located in east Kazakhstan, the Bakyrchik mine was opened in 1965 on the basis of a major gold resource. In recent years, it has been producing some 80,000 t/y of gold ore from underground and from an open pit. In the first phase of the planned expansion, it is intended to increase underground mining to 150,000 t/y, to build a small-scale demonstration plant to treat sulphide ore using the Redox (nitric acid oxidation) process to produce approximately 27,000 oz/y and to develop a 200,000 t/y heap leach or other oxide operation to produce a further 11,000 oz/y. A gold refinery capable of producing London good-delivery bars is also planned.

In the second stage of the expansion programme, to be funded in late 1994, the goal is to invest around \$100 million in order to lift sulphide ore production to around 1.0 Mt/y and gold output from these ores to 221,000 oz annually. Incorporation of the oxide operation would result in a combined annual output of 230,000 oz of gold.

Production from the Akbakai company is centred on the Akbakai and Arkharly mines, both of which are underground operations. Gravity and flotation are used to produce a concentrate from the finer ore sizes, while the remainder is shipped as self-fluxing ore to the Balkhash and Irtysh metallurgical plants.

The Vasilkovskoe mine is located 17 km northwest of Kokshetau, and has been under development since 1979. Pilot operations were carried out between 1980 and 1987, with some 1.5 Mt of ore and 1.2 Mt of low-grade material being mined from an open pit. Some 30,000 t of material was stockpiled for potential heap leaching. The project was shut down between 1988 and 1993 due to financial constraints, work being resumed in 1993 on the construction of a concentrator. The mine is a conventional shovel and truck operation, using 75 t-capacity haulers. Its design output is 2.2 Mt/y of ore, which will be processed by gravity concentration and cyanidation. Full production is scheduled for the year 2000.

2.8 Полезные ископаемые Узбекистана.

Узбекистан расположен в сев. и центр. части Ср. Азии. На Севере и Северо-Западе граничит с Казахстаном, на Юго-Западе - с Туркменией, на Северо-Востоке и Юго-Востоке - с Киргизией и Таджикистаном, на Юге - с Афганистаном. Пл. 447,4 тыс км². Население 19,9 млн чел (на 1 янв.1989).

A variety of metals and minerals are produced in Uzbekistan, including, in addition to gold, lead and zinc, copper-molybdenum, tungsten, uranium. The Almalyk integrated copper complex in Uzbekistan, based on a large open pit, is one of the largest in the CIS. The huge Kalmakir open-pit operation contains 1,000m tonnes of reserves of low grade ore grading 0.4% copper, plus some molybdenum. In 1990, Uzbekistan accounted for 8%, or 81,220 tonnes, of Soviet copper output.

Uzbekistan produces a reported quarter of the former Soviet Union's total annual gold output, with about 80% coming from mines in the Navoi desert, in the north-western part of the republic. Uzbek officials are actively seeking foreign assistance to expand and modernise Uzbekistan's 10 primary gold mining operations, as the republic loses at least 10% of its annual gold production through waste because of the use of outdated, inefficient extraction technology. Leaching technology will be utilised to treat the estimated 165m short tons of stockpiled material at the Muruntau gold mine, which grades 0.034 ounces of gold a ton.

Mining operation are soon to begin at three silver deposits in Uzbekistan's Kyzyl-Kum region, marking the first time silver would be produced in the country. Open-pit mining is to be used, yielding output of silver, plus gold, nickel, platinum and cobalt ore.

В недрах Узбекистана обнаружено свыше 850 месторождений 1600 рудопоявлений.

Значительны запасы природного газа, руд золота, меди, свинца, цинка, вольфрама, солей, алюминиевого сырья, нерудных строительных материалов.

2.8.1 Месторождения цветных металлов.

Известно около 900 месторождений и проявлений *медных* руд различных генетических типов. Промышленное значение имеют медно-порфировые месторождения в Алмалыкском районе Ташкентской области. Содержание Cu в промышленных рудах 0,3-1,0%, в окисленных - от 0,32 до 3%, в зоне вторичного сульфидного обогащения 0,3-4%; содержание Mo до 0,01%. Кроме того, руды содержат повышенные концентрации Au, Ag, редких металлов и др. В Ферганской и Сурхандарьинской областях распространены проявления медистых песчаников неогенового и мелового возраста. В юго-зап. отрогах Гиссарского хребта и Кызылкума известны рудопоявления медно-колчеданного типа.

Свинцово-цинковые руды представлены плутогенными скарново-гидротермальными полиметаллическими, вулканогенными стратиформными месторождениями. Скарново-гидротермальные месторождения приурочены к контактам карбонатных пород с интрузиями сиенит-диоритового состава. Сульфидные руды прожилково-вкрапленные, иногда массивные, состоят из галенита, сфалерита, пирита, халькопирита, блеклых руд, гематита, магнетита. Помимо Pb и Zn, содержат редкие металлы. Промышленные вулканогенные стратиформные месторождения выявлены в ритмично переслаивающихся вулканогенно-осадочных породах девона. Пластовые и линзовидные рудные тела сложены галенитом, сфалеритом, пиритом, реже халькопиритом, марказитом, ковеллином, борнитом; из нерудных минералов - баритом, кальцитом, доломитом. В пром. концентрациях, кроме Pb и Zn, содержат Ba, S и редкие металлы. Соотношение Pb к Zn 1:1,5. Крупные колчеданно-полиметаллические месторождения в вулканогенно-осадочных породах ниж. карбона (Гиссарский хребет) содержат в пром. количествах Pb, Zn, Cu, Ag, Bi и редкие металлы. Соотношение Pb к Zn 1:2,2. Жильные месторождения известны в Кураминском хребте.

Неоднократно поднимался вопрос об использовании *каолинов* Ангренского угольного месторождения для производства алюминия.

Залегающие во вскрыше вторичные и в почве угольной залежи первичные каолины используют как сырье для производства цемента, керамических изделий; в перспективе рассматриваются как глиноземное сырье.

В углях некоторых пластов содержится *германий*, извлечение которого налажено из пылегазовых отходов работающей в Ангрене электростанции.

Известно свыше 40 проявлений и месторождений *стронциевых* руд осадочного происхождения. Единственное пром. месторождение выявлено в сульфат-карбонатных отложениях палеоцена (Бухарская обл.).

Запасы *золотых и серебряных* руд Узбекистана находятся в собственно золоторудных и комплексных месторождениях, где тонкие включения Au и Ag вкравлены в сульфидные, реже жильные минералы и извлекаются попутно. Собственно золоторудные и золото-серебряные эндогенные месторождения представлены постмагматическими образованиями вулканного и плутоногенного типов. Вулканогенный тип гидротермальных месторождений связан с вулканич. и субвулканич. породами андезитового, трахиандезитового и дацит-андезитового состава среднекаменноугольного - раннепермского возраста (Кураминская зона); плутоногенный в терригенных породах - со штоками и дайками диорит-гранодиоритовой формации позднекаменноугольного - раннепермского возраста, прорывающими метаморфич. углистые сланцы ордовика-силура (Юж.-Букантауская, Туркестано-Алайская и Зеравшано-Туркустанская зоны). Свободное золото составляет около 70%, остальное связано с сульфидными минералами. Ср. проба золота 890-910. Экзогенные месторождения - аллювиальные и пролювиальные, реже элювиальные четвертичные россыпи.

2.8.2 История освоения минеральных ресурсов.

В бронзовом веке началась добыча руд, из которых получали мышьяковые, сурьмяные и другие сплавы на основе меди. Добыча руд благородных металлов и бирюзы известна с 1-го тыс. до н.э. Изготовленное из бронзы с золотом, инкрустированное бирюзой оружие использовалось сакскими племенами. К этому же времени относится начало разработки оловянных и магнетит-гематитовых руд с выплавкой олова и железа. В 3-7 вв. возникают специализированные плавильные центры. Горнодобывающее производство на территории У. характеризуется примитивным уровнем орудий труда, преобладают кустарные предприятия с низкой производительностью. Разрабатываются в основном маломощные руды с богатым содержанием металлов, добыча ведется в зонах дробления, разломах, маломощных линзах.

Период максимального развития горного дела приходится на 10-11 вв. В Чаткальских, Нуратинских горах, Карамазаре, окрестностях Ферганы, Султануиздага действовало св. 10 тыс. горных разработок, в т.ч. серебряные рудники "Лашкерек", "Канджол", "Табошар", "Кансай", "Канимансур", "Актепа", "Ризак"; золотые - "Кызылалма", "Чадак"; полиметаллические - "Дуган", "Кенкол"; железные - "Ахангараут" и др.; медные "Актау", "Шейхджели"; свинцовые - "Учкулач", "Иланчи"; бирюзовые копи - "Унгурликан" и др. Кроме того, добывали медный купорос, ртуть, олово, сурьму, смолу, асфальт, нефть, уголь, нашатырь, серу, минеральные краски, гончарную глину, квасцы, змеевик, жерновой песчаник, тальковый камень, аметист, разнообразные стойкие материалы. Открытая разработка сочеталась с подземной. Шахты, глубина которых превышала 300 м, были оборудованы вентиляционными камерами и имели сложную систему крепления кровли, вплоть до полного оклада. Технология добычи включала огневую и клиномолотковую отбойку, поддержание кровли целиками, деревянными стойками, рамами, доставку к рудоподъемному стволу волокушами, подъем с помощью деревянного или металлического ворота.

С конца 11 в. в связи с децентрализацией государства добыча п.и. сокращается, а в 13-18 вв. из-за монголо-татарского нашествия горное дело приходит в упадок. Шла фрагментарная добыча золотых, полиметаллических и железных руд, бирюзы, строительного камня, песка, глин. Лишь с конца 18 в. в незначительных масштабах возрождается добыча медных руд, минеральных красок,

угля, нефти и некоторых других полезных ископаемых. Горнодобывающая промышленность сосредоточилась в основном в Ферганской долине.

2.8.3 Горно-металлургическая промышленность

Удельный вес горной промышленности в общем объеме промышленного производства Узбекистана составляет 9,9%. Отраслями общесоюзного значения являются добыча газа и руд цветных металлов.

С 40-х гг. эксплуатировались месторождения вольфрамовых (Чаргардонское, Ойгаинское, Лянгарское, Каратюбинское) и оловянных (Карнабское, Лапасское) руд, большая часть которых выработана. С 70-х гг. добыча висмутовых руд осуществляется на месторождении Устарасайское, вольфрамовых (с 40-х гг.) - на Ингичкинском и Койташском месторождениях. Разработка производится подземным способом с штольневой и шахтной вскрытием горизонтов. Используются камерно-столбовая система разработки с магнетизированием руды и со сплошной выемкой; поддержание выработанного пространства - оставлением целиков. Руда доставляется к местным обогатительным фабрикам автосамосвалами. Добыча медных и молибденовых руд осуществляется на Кальмакырском и Сарычекинском месторождениях, свинцовых и цинковых руд - на Учкулачском месторождении. Разработку ведет Алмалыкский горно-металлургический комбинат открытым способом. Свинцово-цинковые руды железнодорожным транспортом доставляются на Алмалыкскую обогатительную фабрику для получения концентратов металлов. Фабрика перерабатывает также отвалы забалансовых руд отработанного Кургашиканского свинцово-цинкового месторождения.

Промышленная добыча золотых руд ведется в Зап. и Вост. Узбекистане. комбинатом "Узбекзолото". Разработку производят открытым способом по бестрансп. системе с использованием экскаваторов и драглайнов; обогащение - флотацией. Наиб. крупное разрабатываемое месторождение - Мурунтауское, где попутно получают урановый и вольфрамовый концентраты. Кроме того, золото извлекают из медно-молибденовых руд.

2.9 Полезные ископаемые Кыргызстана

Кыргызстан- расположен на Северо-Востоке Ср.Азии. Граничит на Севере с Казахстаном, на Западе с Узбекистаном, на Юго-Западе и Востоке с Китаем. Площадь 198,5тыс.км2. Нас. 3886,5тыс. чел. (на 1.01.84г.) .Столица - г.Бешкек.

Kyrgyzstan was the Soviet Union's principal producer of antimony and mercury metall, one of the nation's primary sources of uranium ore and concentrates, and a major supplier of coal for Central Asia. Kyrgyzstan produced 55% of Soviet mercury sometimes occur in conjunction with fluor spar. The principal deposits are located along the northern foothills of the Alay mountain range, which extends along the southern regions of Fergana valley. Kyrgyzstan has sizeable reserves of these two commodities, in addition to smaller reserves of tin and tungsten.

Other minerals in Kyrgyzstan include gold, lead, salt and arsenic. Kyrgyzstan recently announces that Canada's Cameco Corporation, large, lowcost integrated uranium producer, may soon participate in the development of the significant Kumtur gold deposit, located approximately 50 km from the Chinese border. Cameco's wholly-owned subsidiary, Kumtur Operating Company, is now undertaking a C\$10m feasibility study at the deposit and has reportedly confirmed earlier Soviet estimates of a 500 tonne gold reserve. Once the evaluation is completed in November 1993, Cameco will decide whether to proceed with raising the more than C\$300m required to exploit the deposit. Most of the capital will be needed for construction of a gold milling facility which could take three to four years to complete.

2.9.1 Геология месторождений

Промышленное значение имеют оловянные, ртутные, сурьмяные, полиметаллические и редкометалльные месторождения; известны месторождения пирита, осадочных железных руд, установлено молибден-ванадиевое оруденение, имеются месторождения нефти и газа, угля.

Медные руды представлены различными промышленно-генетическими типами: медно-порфировые (Талды-Булакское, Андашское, Каракольское месторождения) и скарновые (Куру-Тегерекское месторождение); рудопроявления медистых песчаников и гидротермальных жильных тел и рудных зон обычно имеют небольшие размеры. Медно-порфировые месторождения связаны с интрузиями диоритовых порфиров и гранодиоритов палеозоя. Содержание Cu колеблется от 0,2 до 0,6%. Попутные компоненты - молибден и благородные металлы. Скарновые месторождения представлены комплексными рудами с содержанием Cu 0,6-1,0%. Попутные компоненты - молибден и благородные металлы.

Свинцово-цинковые месторождения стратиформного типа развиты в герцинских структурах Среднего Тянь-Шаня (Чаткальский хр., Гава-Сумсарский район, хр.Молдо-Тоо). Среднее содержание в них Pb 2-3%. В ряде каледонских структур Северного Тянь-Шаня, активизированных в герцинское время, широко распространены трещинно-метасоматические тела в магматических осадочных образованиях (Боординское, Ак-Тюзское, Гранитогорское, Ак-Кульское, Курганское, Шаныкское, Шыргытское, Арсинское и др.).

Сурьмяные руды распространены в Чаткало-Кураминской и Фергано-Какшаальской структурно-фациальных зонах Южного Тянь-Шаня. В первой из них месторождения сурьмы приурочены к Терек-Кассанскому рудному району (месторождения Терек-Сайское и Кассанское), во второй - к Южно-Ферганскому ртутно-сурьмяному поясу (месторождения Кадамджайское, Сев.-Ак-Ташское и Абширское). Сурьмяное оруденение контролируется краевыми разломами глубокого заложения. Месторождения представлены джаспероидно-антимонитовой рудной формацией. Основной рудный минерал - антимонит. Сырьевую базу Кадамджайского сурьмяного комбината составляют месторождения Кадамджайское, Терек-Сайское и др. В восточной части Алайского хр. размещается Иркеш-Савоярдинский рудный район, где в зонах крутопадающих разломов среди сланцев силуро-девона развито сурьмяно-полиметаллическое оруденение, представленное в основном кварц-карбонат-джерсонитовыми рудами.

Ртутные руды развиты на территорию Кыргызстана, занимающей центральную часть Среднеазиатской ртутной провинции. Ртутное оруденение группируется в двух рудных поясах: Южно-Ферганском и Зеравшано-Гиссарском. В Южно-Ферганском ртутно-сурьмяном поясе выделяются следующие основные промышленные типы ртутных месторождений: джаспероидный (Хайдарканское, Чаувайское), листовенитовый и карбонатный (Алдыр-Кооское, Курсалинское, БИРКСУ, Сымапское). Ртутное оруденение часто ассоциирует с сурьмяным. Основные рудные минералы: киноварь, иногда метациннабарит, ливингстонит. При разработке различают руды ртутные и комплексные - ртутно-сурьмяно-флюоритовые. По разведанным запасам ртути Кыргызстан занимает ведущее место в СССР. Сырьевой базой для Хайдарканского ртутного комбината являются разведанные месторождения Хайдарканское, Чаувайское и др.

В пределах Кыргызстана известны моно- и полиметалльные месторождения и рудопроявления мышьяка; в виде примеси мышьяк присутствует в значительном количестве в рудах полиметаллических и других месторождений, где может извлекаться попутно с основными компонентами.

Оловянные руды имеются во всех складчатых областях Кыргызстана, представляя практически все известные формационные типы месторождений олова. К формации оловоносных пегматитов относятся проявления Туркустанского хребта, где известны многие сотни пегматитовых жил, содержащих олово и слюду. Типичные представители грейзеновой формации - месторождения Чон-Кызылсуйское в хребте Терсей-Ала-Тоо и Узун-Булакское в Чаткальском хр. Форма тел грейзенов: зоны, линзы, гнезда различных размеров (не более первых сотен в длину и первых метров в ширину). Наряду с касситеритом встречаются вольфрамит, шеелит и др. Многочисленные оловопроявления скарновой формации развиты в районе западного окончания Кыргызского хребта (Береговое, Чирканакское и др.). В метасоматитах по повышенному содержанию касситерита выделено несколько десятков рудных тел. Наряду с касситеритом развиты халькопирит, магнетит, пирит. К касситерит-слуэфидной формации относятся

месторождения Чат-Карагайское в Таласском хр. и Сары-Булакское в хр. Какашаал-Тоо. На Чат-Карагайском месторождении олово устанавливается в жильных телах совместно со свинцом и цинком. Месторождение Сары-Булак - трубообразное (глуб. до 500 м) тело нацело окисленных комплексных (олово, медь, свинец, цинк) якозитовых руд в известняках девона на контакте с одноименной интрузией гранитоидов. К касситерит-кварц-силикатной формации относятся многочисленные кварц-турмалиновые жилы с касситеритом, вольфрамитом, шеелитом и флюоритом, развитые среди гранитоидов и терригенных образований на Востоке (в Сары-Джазском вольфрам-оловорудном районе).

Вольфрамовые руды представлены в основном двумя типами: контактово-метасоматическим (скарновым) и гидротермальным. Рудно-скарновые тела с шеелитом наиболее развиты в Ср.Тянь-Шане (Кумбельское, Кашка-Суйское, Турегельдинское, Кен-Суйское месторождения), где они в виде линзообразных метасоматических залежей с вкрапленным оруденением развиты в экзо-контактных частях гранитоидных массивов. Гидротермальные вольфрамовые руды (вольфрамит и шеелит) ассоциируют с оловом в кварц-турмалиновых и кварцевых жилах юго-восточной части Южного Тянь-Шаня, в Сары-Джазском вольфрам-оловорудном районе.

Алюминиевые руды представлены рудопроявлениями бокситов, месторождениями нефелиновых сиенитов, андалузит-силлиманитовых сланцев, алунитов и каолинов. Бокситы среднекаменноугольного и поздне триасово-раннеюрского возрастов известны в горном обрамлении Ферганской долины, в Туркустанском и Алайском хребтах.

Качество руд удовлетворительное, кремневый модуль 1,0-12,0. Содержание в бокситах (%) Al_2O_3 в среднем около 40, SiO_2 -30, FeO - 12, Fe_2O_3 - 2. Нефелиновые сиениты известны во всех складчатых областях Кыргызстана. На месторождениях Сандыкское и Зардалекское разведаны массивы нефелинсодежащих пород. Среди них выделены участки с более высоким (19,2% на Сандыкском и 22,6% на Зардалекском) содержанием глинозема; кремневый модуль 2,8, щелочной - 0,91. Андалузит-силлиманитовы сланцы развиты среди протерозойских толщ Таласа, но как глиноземное сырье не изучены. Алуниты и каолины известны во многих районах Кыргызстана, но планомерному изучению на глинозем не подвергались.

2.9.2 История освоения рудных месторождений.

Археологические находки из древних выработок Северного Кыргызстана свидетельствуют о том что добыча полезных ископаемых на ее территории производилась в эпоху древности и раннего средневековья (3-5 вв.). Согласно письменным источникам в горах, в окрестностях г.Шельджи, расположенного в восточной части Таласской долины, имелись серебряные рудники. В этом районе в горах Таласского Алатау и на южных склонах Кыргызского хр. выявлено св.100 средневековых выработок полиметаллических руд; существовало, по крайней мере, шесть рудников с крупномасштабной (по тем временам) добычей. Выработки закладывались с пониманием условий залегания рудных тел. Извлеченная руда измельчалась и подвергалась обогащению. Серебро извлекалось методом купеляции. В районе Шельджи, помимо серебро-свинцовых руд, добыча которых являлась основной, разрабатывались также месторождения коренного и россыпного золота (крупнейший рудник - в верховьях р. Чонур). Наиболее интенсивно рудники Шельджи эксплуатировались в 9-11 вв. Добыча руд продолжалась, судя по археологическим материалам, и в 12-14 вв. В 10-12 вв. интенсивно функционировали рудники в горах Южного Кыргызстана, в районе Ферганы. Письменные источники сообщают о добыче там ртути, а также свинца, нефти и др. Полезных ископаемых. На всем протяжении Туркустанского и Алайского хребтов выявлены древние горные выработки, шлаковые скопления и крупные рудоплавильные центры. Для получения металлической ртути из руды применялся сложный технологический процесс с возгонкой и конденсацией в специальных керамических сосудах металлической ртути. Как и в остальных областях Средней Азии, на территории Кыргызстана расцвет горного дела приходится на 9-12 вв. С 13 в. в развитии горного дела наступает заметный

упадок. С 9 в. и вплоть до 19 в., иногда с перерывами, эксплуатировались самые разнообразные рудные и нерудные месторождения. Добыча меди концентрировалась на месторождениях бассейна р. Чу (например, на месторождении Бала-Тегерекское отмечено не менее 20 наклонных штольнеобразных выработок длиной до 35 м). Эксплуатировались медные месторождения Ак-Ташское и Кара-Кыштанское (Киргизский хр.), на которых зафиксированы древние выработки глубиной 20-60 м. В эпоху средневековья увеличилась добыча свинцово-серебряных руд (месторождения Таласского района, месторождения Кен-Шаныка; рудник "Джангиз-Арча"). В районе Кен-Шаныка обнаружены также шлаки. На ряде месторождений Юж. Киргизии велась добыча ртути, сурьмы и иногда мышьяка (Чаувайское месторождение, где штольнеобразные древние выработки углублялись в склоны горы до 120 м; на р. Шахмардан - месторождение Гальбит-камар; в горном кряже Алтын-бишик, где древние выработки отмечены на площади до 6 км; в горах Адыген-Тоо близ р. Бирк-Суу; месторождение Хайдарканское). Золото разрабатывалось по склонам р. Чаткал, близ Санталаша.

2.9.3 Горно-металлургическая промышленность.

Удельный вес горной промышленности в общем объеме промышленного производства республики составляет 4,8%. Оксиды редких металлов, сурьма и ее соединения экспортируются более чем в 50 стран мира.

Добыча руд цветных металлов осуществляется с 1941. С 1942 осваиваются Кадамджайское сурьмяное и Хайдарканское ртутное месторождения. В 50е гг. были включены в разработку разведанные Чаувайское ртутное, Терек-Сайское сурьмяное, Ак-Тюзское, Ак-Кульское, Боординское, Сумсарское и Каинское полиметаллические месторождения. В 60е гг. начата эксплуатация новых ртутных (Сымапское и др.) и редко-металльно-полиметаллических (Ак-Тюзское и др.) месторождений. На их базе действуют Кадамджайский сурьмяный, Хайдарканский ртутный и Киргизский горно-металлургический комбинаты. Первоначально рудные месторождения Киргизстана вследствие особенностей их горно-геологических условий (небольшие масштабы, горный рельеф местности, рассредоточенность рудных залежей) разрабатывались подземным способом, с 50х гг. - и открытым. Вскрытие при подземных работах - штольнями (Терек-Сайский рудник), вертикальными стволами (рудники Хайдарканского комбината), комбинировано штольнями и вертикальными стволами (Кадамджайский рудник). Системы разработки: камерно-столбовая, с магазинированием руды, поэтажно-подсечная, поэтажного обрушения. Доставка руды на обогатительные фабрики и металлургические заводы - автотранспортом, за исключением Кадамджайского рудника (электровозная откатка). Открытым способом разрабатываются месторождение Ак-Тюзское и частично Хайдарканское (комплексные ртутно-сурьмяно-флюоритовые руды). Система разработки - транспортная; горно-транспортное оборудование - экскаваторы, автосамосвалы. При добыче используются методы совместного взрывания вмещающих пород и руд, управляемое обрушение. Доставка руды к обогатительной фабрике - автосамосвалами через усерднительные склады. Дробление руды - щековыми и конусными дробилками; измельчение - шаровыми мельницами; обогащение - флотацией. Монометаллические ртутные руды перерабатываются методом обжига во вращательных трубчатых печах, ртутные концентраты - методом электровакуумного обжига и в "кипящем слое".

2.10 Полезные ископаемые Таджикистана.

TAJIKISTAN расположен на Юго-Востоке Ср. Азии. Граничит на Западе и Севере с Узбекистаном и Киргизией, на Востоке с Китаем, на юге с Афганистаном. Площадь 143.1 тыс. км. Нас. 5,112 млн. чел. (на 1 янв. 1989).

Mining in Tajikistan is active and includes a wide range of energy and mineral resources. Tajikistan possesses a variety of non-fuel minerals, including silver at the Bolshoi Kanimansur deposit, mercury, molybdenum and precious metals in the northern Karamazar mountains. Lead, zinc, silver, bismuth and

copper concentrates are produced at the Adrasaman Complex, while there exists placer gold in the Darvaza district at Yakh-Su and lode gold deposits at Toror in the western Zeravshan mountains. Antimony output has been particularly strong in recent years, ranking second among the 15 former Soviet republics. Tungsten has been mined in Tajikistan since the mid-1940s, where the principal ores are scheelite (calcium tungstate) and copper, with molybdenum, tantalum and columbium as byproducts.

Tajikistan is one of a few CIS states which exports aluminium, approximately 150,000 tonnes in 1992. Tajikistan accounts for around 15% of the aluminium output of the CIS, and exports make up more than 60% of the state's foreign trade income. Aluminium production at Tajikistan's huge Tursunzade smelter reached an estimated 360,000 tonnes last year, slightly below the 370,000 tonnes produced in 1991. The Tursunzade plant, close to the border with Uzbekistan, has an annual capacity of 517,000 tonnes, and is now dependent on Russian alumina since Azerbaijan cut on supplies after a number of payment disputes.

Gold, or 'tilo' in Tajik, has been mined for centuries in Tajikistan, though no data on output was ever released through the Soviet government. In 1993, Tajik officials hope to increase gold output to 1.5 tonnes and 4 tonnes in 1994. The 1993 estimate falls short of an official target of 1.8 tonnes of gold.

Primary centre for gold concentrate production is the city of Kamsai, just 40 km north of Khujand. The Kamsai plant was commissioned in the 1920s to treat polymetallic ores. Retrofitting at the plant occurred in the 1980s; the facility now treats only gold ores from placer and vein deposits in the Kairakum area. Kamsai has 40 concentrating tables, each with 3.2 cubic metres/hr capacity. It is the second largest concentrating plant in Tajikistan, with the largest near Pendjikent at Toror in the south-west.

2.10.1 Геология месторождений.

Терр. Т. находится на сочленении Урало-Монгольского геосинклинального пояса и Средиземноморского геосинклинального пояса.

Северный Таджикистан (Карамазар) включает южные склоны Кураминского хребта и горы Моголтау. В районе обнаружены м-ния полиметаллич., золотых, серебряных, висмутовых, вольфрамовых, молибденовых руд.

Сев.-Восточный Таджикистан занимает зап. часть Ферганской межгорн. впадины. С ней связаны м-ния нефти и углей. Центральный Т. относится к герцинидам Южно-Тянь-Шаньской складчатой системы. В р-не выявлены м-ния руд сурьмы, ртути, вольфрама, олова, золота, флюорита, углей.

В Юго-Западном Таджикистане обнаружены м-ния нефти, горючего газа, каменной соли, целестина, россыпного золота. Юго-Восточный Т. включает Памир, где выявлены месторождения руд олова, боросиликатов, редких металлов, пьезооптического и магнезильного сырья, самоцветов.

Основные запасы медных руд связаны с полиметаллическими (Алтын-Топкан, Торор и др.), вольфрамовыми, золоторудными и медно-висмутовыми м-ниями Карамазара (Каптархонское), содержащими 0,3—1 % Cu. Кроме того, в р-не Дарваза выявлены два стратиформных проявления медистых песчаников и конгломератов верхнепермского возраста (Равноуское, Дарайтангское), содержащих 1—2% Cu.

Выявлено 3 проявления никелевых руд на Памире. Оруденение приурочено к гипербазитам. Руды комплексные медно-никелевые, вкрапленные массивные и брекчиевидные пирротин-виоларитового состава, кроме Ni, содержат Cu и Co.

Запасы свинцово-цинковых руд связаны с комплексными полиметаллич. м-ниями, широко распространёнными по всей терр. Т. Осн. часть разведанных запасов сосредоточена в Карамазарской рудной пров. Рудные поля Зап. Карамазара (Алтын-Топкан, Курусайское, Кансайское и др.) содержат м-ния преимущественно скарнового типа. Рудные тела линзообразной и столбообразной формы с высоким содержанием Pb, Zn и низким Cu, Ag залегают на контакте

слабокислых гранитоидов и карбонатов девонского возраста. Главные рудные минералы: галенит, сфалерит и пирротин, второстепенные — халькопирит, галеновисмутит и др. Для рудных полей Вост. Кармазара характерен трещинно-жильный гидротермальный тип м-ний (Канимансурское, Замбаракское, Чукурджилгинское и др.) с прожилково-вкрапленными гнездовыми и агрегативными рудами. Для Дарваза характерны телетермальные м-ния (Иокунджское).

По запасам сурьмяных руд Таджикистан занимал одно из ведущих мест в СССР. М-ния и проявления приурочены к Зеравшано-Гиссарскому ртутносурьмяному поясу. Большая часть из них — стратифоомные залежи пластообразной линзообразной формы связаны с брекчированными джаспероидами и относятся к кварц-флюорит-антимонитовой формации. Руды сурьмяные и ртутно-сурьмяные (Джизжикрутское м-ние, Шинг-Магианская группа м-ний). Меньшее распространение имеют гидротермальные жильные и штокверковые м-ния (Кончочское рудное поле), где в качестве попутного компонента присутствует Au, реже флюорит. Сурьма как попутный компонент в комплексных полиметаллич. рудах пром. интереса не представляет.

На Ю.-З. республики выявлены м-ния целестина (Sr).

Оловянные руды разл. генетич. типов известны на Памире (Трезубец Заречное) и в Центр Т. (Маихура, Тагобикульское) Наибольший интерес представляют кварц-касситеритово-сульфидный и скарновый типы руд. Характерны станниновые руды (Казнок-Мушистонское рудное поле) Кроме того, касситерит является осн. сопутствующим минералом в нек-рых м-ниях вольфрамовых руд.

Молибденовые руды сосредоточены в скарновых м-ниях гор Моголтау, в Центр Т. и на Памире Промышленный интерес представляют собственно молибденовое м-ние Южно-Янгиканское, столбообразные рудные тела к-рого сложены молибденитом, пиритом и шеелитом, а также молибдено-вольфрамовое м-ние Чорух-Дайронское, где в шеелитовых скарнах с глубины 100—150 м молибдено-вольфрамовые руды сменяются медно-молибденовыми.

Пром м-ния *вольфрамовых* руд сосредоточены в Кармазаре (Чорух-Дайронское Шапталинское), Центр Т. перспективные — на Памире (Икарское) Оруденение, осн. скарнового и гидротермального типов приурочено к зонам трещиноватости и скаполитизации. Руды содержат 0,25—1% WO и попутно — Sn, Cu, Mo, Zn и др.

Месторождения *висмутовых* руд распространены в Кармазаре, Центр Т. и Памире. Месторождения представлены двумя типами: скарновым (железо-висмутовые) и гидротермальным (медно-висмутовые с попутными Ag и Au). Рудные тела в виде жил, линз и столбов развиты в экзоконтактовых частях гранитоидных массивов и вулканогенных комплексах дацит-липаритового состава. В качестве попутного компонента Bi присутствует в рудах вольфрамовых золотых и полиметаллических месторождений. Месторождения и проявления *ртутных* руд приурочены к Зеравшано-Гиссарскому ртутно-сурьмяному поясу. Ртутная минерализация гидротермального генезиса локализуется на контактах карбонатных и терригенных пород, в брекчиях и трещиноватых участках однородных пород. Руды в осн. ртутно-сурьмяные. Морфология и размеры рудных тел, их количество на месторождении варьируют в широких пределах. Наиболее значительное месторождение Кавнокское. Комплексные месторождения руд *редких металлов* сосредоточены в Центр. Юго-Вост. Т. Редкометалльная минерализация связана с пегматитами и зонами альбитизации и грейзенизации в гранитах. Небольшие рудные тела разнообразной морфологии не образуют промышленных залежей.

Алюминиевые руды представлены м-ниями и проявлениями бокситов, алунитов и нефелиновых сиенитов. Бокситы среднекаменноугольного и поздне триасово — раннеюрского возраста известны в Центр. Т. и на Памире. Рудные тела в виде гнезд, линз и пластов содержат в ср. до 30 % Al_2O_3 . М-ния алунитов в Кармазаре связаны с гидротермальной переработкой андезито-дацитов и содержат до 26% Al_2O_3 Наиболее значительны месторождения нефелиновых сиенитов Центр. Т. (Гурпинское, Тутекское). Содержание глинозёма в крупных сиенитовых штоках составляет 22%.

Руды *золота* сосредоточены в собственно золоторудных и комплексных м-ниях. На терр. Т. выявлено 4 золоторудных пояса и 18 перспективных площадей. Большая часть м-ний формировалась в герцинскую металлогеническую эпоху. Собственно золоторудные экзогенные месторождения связаны с аллювиальными четвертичными россыпями в предгорных долинах и террасах равнинных рек (р-ны Дарваза, Памира, Зеравшана). Коренные эндогенные месторождения представлены шестью типами. Большая часть запасов связана с золото-кварцевыми (Карамазар), золото-скарновыми (Центральный Т.) и золото-кварц-сульфидными (повсеместно, за исключением межгорных впадин с россыпными м-ниями золота) м-ниями. Руды некоторых м-ний комплексные и содержат повышенные концентрации Ag, Cu, Bi.

М-ния *серебряных* руд известны в Карамазаре, Центр. Т. и на Памире. Рудные тела столбообразной, линзовидной и жильной формы содержат серебро в виде самостоят. минералов (аргентит, пираргирит, прустит, самородное серебро) и в виде изоморфной примеси в галените. минералах висмута. М-ния гидротермального и скарнового происхождения. Все собственно серебряные м-ния отрабатывались в древности, содержание серебра в целиках древних выработок св. 1000 г/т. Серебро, как попутный элемент, имеет пром. значение в полиметаллич., медно-висмутовых, вольфрамовых и золотых рудах Вост. Карамазара. Прожилково-вкрапленные, реже гнездовые и агрегативные руды формируют рудные тела трещинно-жильного типа. Собственно серебряные м-ния известны в Карамазаре, на Памире (Токузбулакское) и др.

2.10.2 История освоения ресурсов цветных металлов.

С неолита началась добыча металлич. руд и появились первые плавильные мастерские. Позднее металлургич. произ-во широко распространилось по всей терр. Для плавки использовали в осн. окисленные руды меди, олова, сурьмы и др. металлов. Добыча золотых руд и лазурита в Дарвазе и Бадахшане известна с 3-го тыс. до н. э. Наибольшего расцвета горн. промысел на терр. Т. достиг в 9—12 вв., о чем свидетельствуют следы древних горн. выработок и металлургич. произ-ве в горах Карамазара (Канимансур — рудник "Мансура"), Сев.-Вост. Центр. Т. (Рудное ущелье Кондара, серебряный рудник «Конинукра»), Памира, Дарваза («рубиновая гора» — Кухилал, ущелье лазурита Ляджвардара) и т. д. Технология добычи руды, получения металла включала: выемку котлованов, проходку штолен, уклонов, шурфов; огневую и клино-молотковую отбойку; поддержание кровли целиками, деревянными стойками и рамами; доставку руды кожаными мешками, волокушами; сортировку-обогащение дроблением измельчением; естеств. вентиляцию выработок; освещение лучинами; водоотлив; плавку в открытых печах. Добыча золотоносного песка велась промывкой его на шкурах животных по долинам рек Зеравшан, Сауксай, Пяндж и в горах Дарваза. На серебряном м-нии Канджольское в Карамазаре насчитывалось ок. 1500 открытых разработок, шахт с площадью камер до 300 м², шурфов глубиной до 200 м. Суммарный объем вынутых из шахт пород достигал 3,5 млн. м³. В таких же масштабах велись горн. работы в р-не дарвазских золотоносных россыпей, на Акджилгинском рудном поле Памира на выс. 4000—5000 м и в др. р-нах. Наряду с рудными полезными ископаемыми интенсивно разрабатывались различные строительные горные породы, минеральные краски, стекольное сырьё и др., о чём свидетельствуют памятники архитектуры в Пенджикенте, Гиссаре, Курган-Тюбе и др. местах. В 13—19 вв. горн. дело приходит в упадок. Функционируют редкие кустарные промыслы: разработка каменной соли, железных руд, россыпного золота в Дарвазе. Пром. разработки россыпного золота возобновились в кон. 19—нач. 20 вв. в незначительных объёмах.

2.10.3 Горно-металлургическая промышленность.

Удельный вес горной промышленности в общем объеме промышленного производства республики составляет 6,4% (1988).

По ряду цветных металлов Таджикистан занимал значительное место в CIS и в мировом производстве.

Добыча руд цветных металлов ведется с 30х гг. 20 в. и сосредоточена на северных и в центральных районах. С 40х гг. действуют Чалатинский, Сардобский и Алтын-Топканский полиметаллические рудники в Карамазаре, на их сырьевой базе работают Адрасманский ГОК, Алмалыкский горно-металлургический комбинат (в Узбекистане). Разработку месторождения сурьмяных руд Джижикрутское в Центральном Таджикистане осуществляет Анзобский горно-обогатительный комбинат. Ленинибадский комбинат редких металлов, эксплуатировавший с 30х гг. месторождение вольфрамовых руд Чорух-Дайронское, базируется с 60х гг. на Южно-Янгиканском медно-молибденовом месторождении. Месторождения эксплуатируются подземным способом.

Обогащение флотацией в пневматических и механических флотомашинах и др. Получаемые после обогащения медный, свинцовый, цинковый, ртутный, сурьмяный концентраты и молибденовый промпродукт отправляли в Казахстан и др. КОнцентрат висмута перерабатывается гидрометаллургическим заводом в Исфаре.

Промышленная добыча золотых руд велась в Т. с 50х гг. старательскими артелями на приисках Дарвазы и Ранкуль. С 1968 разведку и разработку золоторудных месторождений осуществляет ГОК "Таджикзолото". Коренные месторождения Сев.Т. эксплуатируются подземным способом, Центр.Т. - открытым. В Юж.Т. открытым способом ведется добыча россыпного золота, в 1972-80 гг. использовался дражный метод разработки, позднее - гидромониторный. На мелких россыпях добычу осуществляет старательная артель "Памир". При подземной добыче кварцевых золотосодержащих руд применяются системы разработки с магазинированием руды, этажного обрушения, камерно-столбовая. Отбойка руды мелкошпуровая, доставка на поверхность в вагонетках, затем проводят гравитационное и флотационное обогащение и цианирование.

2.11 Полезные ископаемые Туркменистана.

Туркменистан расположен на юго-западе Средней Азии. Граничит на Севере с Казахстаном, на Востоке и Северо-Востоке с Узбекистаном, на Юго-Востоке с Афганистаном, на Юге с Ираном, на Западе омывается Каспийским морем. Площадь 488,1 тыс.км². Население 3534 тыс.чел. (на 1 янв.1989).

. Важнейшие полезные ископаемые Туркменистана: нефть и горючий газ, горнохимическое и индустриальное сырье, а также нерудные строительные материалы. Минерально-сырьевая база цветной металлургии не развита, и, соответственно, промышленность незначительна

Проявления медных руд представлены осадочными и гидротермальными генетическими типами. Первый тип распространен в Гаурдак-Кугитангском районе и приурочен к верхнеюрским и нижнемеловым красноцветам. Оруденение образует линзы мощностью 0,1-0,15 м, реже до 1,5-5 м. Горизонты прослеживаются на всей территории района. Главные породообразующие минералы - малахит и азурит. Содержание Cu 0,15-0,58%. Многочисленные гидротермальные проявления в Западном Копетдаге представлены небольшими жилами с невысоким содержанием Cu и связаны с барито-витеритовыми и свинцово-цинковыми проявлениями.

Мелкие месторождения свинцово-цинковых руд и многочисленные рудопроявления известны в различных районах республики. Кугитангское и Базартюбинское месторождения залегают в верхнеюрских известняках. Залежи длиной 160-1200 м имеют форму слабонаклоненных рудных столбов, реже линзовидную или трещино-жилую. Руды почти нацело окислены. Главные рудные минералы - смитсонит, церуссит и др. Среднее содержание Pb 2,77-6,21%, Zn 1,7-4,08%. Руды содержат также Ag.

Титан-циркониевые россыпи с промышленными концентрациями ильменита, циркона, лейкоксена известны в песчаных массивах Мешед и Гейрджаны, в дельтах рр. Теджен и Мергаб, в междуречье Кушки и Кашана и в нижнем течении Кушки.

Молибденовые руды гидротермального генезиса известны в зоне тектонического нарушения в верхнеюрских известняках Б.Балхана. Содержание Мо св.1%. Промышленные концентрации Мо выявлены в песчаниках триаса Туаркырского района. Аномальные концентрации металла связаны с палеогеновыми глинами и горючими сланцами.

Многочисленные проявления ртутных руд контролируются зонами разрывных нарушений в терригенно-карбонатных отложениях нижнего мела; мощность рудных тел 0,2-2,5 м, содержание ртути 0,13-0,58%.

Гидротермальные проявления таллиевых руд известны в пределах Челекенской брахиантиклинали. Целестиновая (Sz) минерализация широко распространена в осадочных отложениях от юрского до неогенового возраста. Промышленная концентрация целестина связана с палеоценовыми сульфатно-карбонатными отложениями. Основные запасы сосредоточены в осадочно-эпигенетических месторождениях, где пластообразные и линзовидные залежи залегают на глубину 15-25 м. Руды сплошные и прожилково-вкрапленные. Осадочно-эпигенетические проявления пластового целестина отмечены в нижнемеловых лугунно-континентальных отложениях юж. Прикарабогазья. В значит. концентрациях целестин совместно с баритом обнаружен в неогеновых и четвертичных россыпях и в современных гидротермах Челекена.

REFERENCES

1. Барский Л.А. Основы минералургии. М., 1984.
2. Барский Л.А., Козин В.З. Системный анализ в обогащении полезных ископаемых, М., 1978.
3. Разумов К.А., Перов В.А. Проектирование обогатительных фабрик, 4 изд., М., 1982.
4. 1982.
5. 1982.
6. 1982.
7. 1982.
8. 1982.
4. Полькин С.И., Адамов Э.В. Обогащение руд цветных металлов. М., 1983.
5. Мосинец В.Н., Грязнов М.В. Горные работы и окружающая среда. М., 1978.
6. Ласкорин Б.Н., Барский Л.А., Персиц В.З. Безотходная технология переработки минерального сырья. Системный анализ. М., 1984.
7. Ситтиг М. Извлечение металлов из отходов, пер. с англ., М., 1985.
8. Красный Л.И. Геология региона Байкало-Амурской магистрали. М., 1980.
9. Кузнецов В.А. Проблемы металлогении зоны БАМ. "Геология и геофизика", 1980, N 6.
10. Магакьян И.Г. Основные черты металлогении Армении. "Сов. геология", 1959, N 7.
11. Паффенгольц К.Н. Геологический очерк Кавказа. Ер., 1959.
12. Милановский Е.Е., Хаин В.Е. Геологическое строение Кавказа. М., 1963.
13. Смирнов В.И., Геология полезных ископаемых, 4 изд., М., 1982.
14. Смирнов В.И. Эндогенное рудообразование в геологической истории. "Геология рудных месторождений", 1982, N 4.
15. Баландин Р.К. Геологическая деятельность человека. Техногенез. Минск, 1978.
16. Трубецкой К.Н., Уманец В.Н., Никитин М.Б. Классификация техногенных месторождений, основные категории и понятия. "Горный журнал", N 12, 1989.
17. Быховер Н.А. Экономика минерального сырья. [т.1-3], М., 1967-1971.
18. Мирлин Г.А. Минеральные ресурсы на рубеже XX и XXI столетий. "Изв. АН СССР, сер.Геол.", 1983, N 9.
19. Марголин А.М. Оценка запасов минерального сырья, М., 1974.
20. Астахов А.С. Экономическая оценка запасов полезных ископаемых. М., 1981.
21. Каждан А.Б., Кобахидзе Л.П. Геолого-экономическая оценка месторождений полезных ископаемых, М., 1985.

22. Мещеряков Ю.А. Рельеф СССР. М., 1972.
23. Мильков Ф.Н. Природные зоны СССР. 2 изд., М., 1977.
24. Морфоструктура и морфоскульптура гор и общие закономерности рельефа СССР. М., 1986.
25. Материалы XXVII съезда КПСС. М., 1986; Основные направления экономического и социального развития СССР на 1986-1990 годы и на период до 2000 года. М., 1986.
26. Народное хозяйство СССР за 70 лет. Юбилейный статистический ежегодник, М., 1987; Народное хозяйство СССР в 1988 г. Статистический ежегодник, М., 1989; СССР в цифрах в 1988 году. Краткий статистический сборник, М., 1989.
27. Геологическое строение СССР, т.1-5 и комплект карт, М., 1968-69.
28. Короновский Н.В. Краткий курс региональной геологии СССР, М., 1976.
29. Наливкин Д.В. Очерки по геологии СССР. Л., 1980.
30. Милановский Е.Е. Геология СССР. ч.1, М., 1987.
31. Ферсман А.Е. Полезные ископаемые Кольского полуострова. М.-Л., 1941.
32. Минеральные месторождения Кольского полуострова. Л., 1981.
33. Павленко Н.И. История металлургии в России 18 века. М., 1962; Урал и Приуралье. М., 1968.
34. Геология СССР, т.12 - Пермская, Свердловская, Челябинская и Курганская области. Полезные ископаемые. ч.1, М., 1973; Геология СССР, т.13 - Башкирская АССР и Оренбургская обл., ч.1, М., 1964.
35. Нехорошев В.П. Геология Алтая. М., 1958; Тектоника Алтая, Л., 1966 (Тр. Всес. науч.-иссл. геол. ин-та. Новая серия, т.139); Кузнецов В.А. Тектоническое районирование и основные черты эндогенной металлогении Горного Алтая, Новосиб., 1963 (Тр. Ин-та геологии и геофизики АН СССР, в.13).
36. Волков В.В. Основные закономерности геологического развития Горного Алтая. Новосиб., 1966.
37. Mining Journal, 1 February 1991, 'Russian Roulette', Vol 316, No 8107. Mining Journal Publications Ltd, London.
38. James P. Dorian, 3 October 1991, 'Armenia aims to cut out the middle man', Financial Times, London, p.30.
39. Zhansetov, Shakarim F. and Madenyat A. Asanov, June 1992, 'Kazakhstan's Mineral Raw Materials Industry and Its Potential', Conference on Commonwealth Mining Development: Prospects, Problems and Opportunities for International Co-operation, Institute of Economics Research, Khabarovsk, Russia, 2-5 June.
40. Mining Magazine, January 1992, 'Gold Mine Development in Kazakhstan', Mining Journal Publications Ltd, London, p.43.
41. Mining Journal, 4 October 1991, 'Mineral Interest in Tajikistan', Vol 317, No 8142, Mining Journal Publications Ltd, London.
42. Mining Journal, 23 April 1993, 'Tajikistan: Gold Estimate', Vol 319, No 8221, Mining Journal Publications Ltd, London, p.294.
43. Mining Journal, 28 August 1992, 'Central Asian Mining', Vol 319, No 8188, Mining Journal Publications Ltd, London, pp.143.
44. Mining Journal, 29 January 1993, 'Cu, Pb, & Zn in the CIS', Vol 320, No 8209, Mining Journal Publications Ltd, London, pp.82-83.
45. Mining Magazine, 25 May 1990, 'Soviet Gold Glasnost', Vol 314, No 8072, Mining Journal Publications Ltd, London, p.417.
46. Mining Magazine, April 1992, 'Newmont Agreement in Uzbekistan', Mining Journal Publications Ltd, London, p.257.
47. United Nations, UNCTAD Commodity Yearbook, 1992 and 1988 editions, published in 1992 and 1989 respectively, New York.
48. Mining Journal, 1992, Mining Annual Review 1992, London.

49. US Bureau of Mines, June 1992, "Countries of the Former USSR", by Levine, Richard M., in Mining Annual Review 1992, Mining Journal Publications Ltd, London, pp.148-152.
50. Dorian, James P. and Vitaly T. Borisovich, September 1992, "Energy and Mineral Resources of the Former Soviet Republics: Distribution, Development Potential, and Policy Issues", Resources Policy, Vol 18, No 3, Butterworth-Heinemann Publishers, London, pp.205-229.
51. Jensen, Robert G., Shabad, Theodore and Arther W. Wright, 1983, Soviet Natural Resources in the World Economy, University of Chicago Press, 700p; author's files.
52. Darian J. Mining in the CIS. Commercial opportunities abound. - Financial Times Business Information. 102 Clerkenwell Koal, London, EC1M 5SA, 1993.
53. Мирлин Г.А. - Союз Советских Социалистических республик. - Горная энциклопедия, т.5, Б., 1991, п.6, 29-35.
54. Нордига И.Г. - Г.Э., т.5, стр.6-12.
55. В.Е.Хаин - Г.Э., т.5, стр. 12-19.
56. Смирнов В.И. - Г.Э., т.5, стр.27-29.
57. Гейлган Л.М. - Г.Э. т.5 (т.4), стр.35-43.
58. Goskomgeologii PSFSR, 1991, 'Mineralnie Resursi Rossii Economica i Upravlenie', (State Committee of RSFSR for Geology and Production of Mineral Resources and Energy Fuels, 1991, 'Mineral Resources of Russia: Economics and Management'), Issue O, Moscow.
59. Murray, Stewart, 22 June 1992, 'New Perspectives on an Old Gold Mining Country', Financial Times World Gold Conference, Montreux.
60. Russian Far East Update, September 1992, 'Focus: Licensing RFE Mineral Resources', Russian Market Information Services, Seattle, Washington, pp.5-7.
61. World Bureau of Metal Statistics, May 1992, World Metal Statistics Yearbook 1992, London, England, 71p.
62. US Bureau of Mines, 1982-1993, Mineral Commodity Summaries, various years, Washington, DC.
63. Metallgesellschaft, 1992, Metalstatistik 1981-1991, 79th edition, Frankfurt, Germany.
64. Dorian, James P. And Vitaly T. Borisovich, 1992, 'Energy and Minerals in the Former Soviet Republics: Distribution, Development Potential, and Policy Issues', Resources Policy, vol 18, No 3, Butterworth-Heinemann Publishers, London.
65. Clark, Allen L. And Genady V.Sekisov, June 1992, 'Geology, Mineral Resources and the Mineral Development Potential of the Russian Far East', Conference on Commonwealth Mining Development: Prospects, Problems, and Opportunities for International Co-operation', Institute of Economics Research, Khabarovsk, Russia, 2-5 June.

Глава III. Руды, рудные комплексы, рудные тела.

Извлечение цветных металлов основано на концентрации минералов и химических элементов с последующим выделением их в индивидуальные продукты. Первоначальная концентрация происходит в природных условиях за счет геохимических и геологических процессов, вследствие которых образуются месторождения полезных ископаемых. Добытая из месторождений руда подвергается искусственной концентрации методами обогащения. Полученные концентраты подвергаются химико-металлургическим процессам концентрации с выделением металлов.

3.1. Геохимическая характеристика месторождений.

Степень концентрации элементов в месторождениях определяется сопоставлением с их геохимическими концентрациями. Распространенность элементов в земной коре (рис.3.1., табл.3.1) в некотором роде характеризует их "дефицитность".

Главным считают химические элементы, присутствующие в природных образованиях в количестве свыше 1%, второстепенными - 0,1-1%; микроэлементами - прочие, распространенность которых $\leq 0,1\%$. Геохимиками даны оценки средних содержаний химических элементов в слое литосферы и различных типах горных пород [15, 19].

Геохимическая классификация элементов земной коры (табл.3.2) показывает, что наибольшее число элементов литосферы, имеющих химическое сродство к кислороду, образует группу оксифильных. Эта группа включает главные элементы литосферы, являясь основой вещества земной коры (подгруппа литофильных элементов). Часть оксифилов, имеющих тенденцию накапливаться вместе с железом, выделяется в подгруппу сидерофильных элементов.

Группа сульфофильных объединяет элементы, имеющие повышенное химическое сродство к сере [19]. В горных породах эти элементы присутствуют главным образом в виде сульфидов, имея тенденцию накапливаться вместе с серой в сульфидных месторождениях. Отдельную группу составляют благородные металлы, включающие платиноиды, серебро и золото, встречающиеся в природе преимущественно в самородном виде.

Микроэлементы первых трех групп делятся на минералогенные и рассеянные. Минералогенные элементы (например, тантал, бериллий, селен, теллур и др.) даже в случае ничтожного среднего содержания их в литосфере образуют большое число собственных минералов. Большая часть атомов минералогенных микроэлементов находится и в рассеянном состоянии, присутствуя в виде примесей в кристаллических структурах других минералов.

Рассеянные элементы или совсем не образуют собственных минералов, присутствуя в структурах минералов других элементов в виде изоморфной примеси, или же образуют минералы, встречающиеся в природе чрезвычайно редко. Рассеянное состояние является следствием близости размеров и химических свойств их атомов и ионов с каким-либо из широко распространенных элементов. Типичными парами служат алюминий-галлий, калий-рубидий, кремний-германий, цирконий-гафний. Некоторые рассеянные элементы благодаря особенностям строения их атомов имеют двойственную природу и могут рассеиваться как в кислородных соединениях, так и в сульфидах (галлий, германий и таллий).

Гидрофильные элементы характерны для гидросферы и в большинстве своем составляют анионную часть химических соединений, присутствующих в водных растворах. Элементы атмосферы и газовой составляющей твердой литосферы образуют группу атмосфильных элементов, большая часть которой представлена благородными газами [19].

Таблица 3.1

Распределение химических элементов в континентальной литосфере по декадам В.И.Вернадского [19].

Декада	Среднее содержание, вес. %	Логарифмы содержаний	Число элементов	Элемент
I	10(20-50)	1,...	2	O, Si
II	10 - 10	0,...	6	Al, Fe, Ca, Mg, Na, K
III	10 - 10	1,...	4	Ti, P, H, C
IV	10 - 10	2,...	9	Mn, S, F, Ba, Sr, V, Cr, Zr, Cl
V	10 - 10	3,...	14	Ni, Rb, Zn, Cu, Co, Ce, Y, La, Nb, Sc, N, Li, Ga, Nb
VI	10 - 10	4,...	25	Pb, B, Th, Sm, Gd, Pr, Dy, Er, Yb, Hf, Br, Sn, Cs, As, Bc, Ar, U, Ge, Mo, Ho, He, Eu, Tb, W, Ta
VII	10 - 10	5,...	8	La, Tl, J, In, Tm, Sb, Gd, Sc
VIII	10 - 10	6,...	5	Ag, Hg, Bi, Ne, Pt
IX	10 - 10	7,...	4	Pb, Te, Au, Os
X	10 - 10	8,...	3	Rc, Ir, Kr
XI	10 - 10	9,...	1	Xe
XII	10 - 10	10,...	1	Ra

Таблица 3.2

Геохимическая классификация элементов земной коры [19].

Группы элементов		Элементы		Микроэлементы ($\alpha < 0,1\%$)			
главные		второстепенные		минералогические		рассеянные	
I. Оксифильные:		O, Si, Al, Fe, Mn, Ti, P, (C)		Li, Be, B, F, Sr, Ba, Y		Ga, Ge, Rb	
литофильные		Mg, Ca, Na, K		и элементы группы редких земель Zr, Nb, Ta, Sn, Cs, W, Th, U,		Hf, Sc, Tl, Re	
сидерофильные		Fe		-		V, Cs, Co, Ni	
II. Сульфидофильные (халькофильные)		-		-		S, Cu, Zn, As, Se, Mo, Ag, Sb, Te, Hg, Pb, Bi	
III. Благородные		-		-		Pb, Os, Yr, Pt, Au, Ag	
IV. Гидрофильные		0		H		Cl, Br, J, S,	
V. Атмофильные		0		C		He, Ne, Ar, Xe, Rn	

Химические элементы в горных породах распределены неравномерно. Отклонение содержания от среднего в сторону уменьшения характеризует рассеяние элемента, а отклонения в сторону увеличения - его концентрацию. Процессы рассеяния и концентрации химических элементов в земной коре осуществляются в результате миграции атомов под воздействием внутренних сил Земли, определяющих формирование коры земного шара (эндогенные процессы миграции), или внешних сил, возникающих на поверхности Земли при взаимодействии литосферы, атмосферы и гидросферы (экзогенные и гипергенные процессы миграции).

А.Е.Ферсман ввел понятие "кларк", определив его как среднее содержание элемента в земной коре, выраженное в процентах (кларк кислорода 46,60; кремния 27,72). Для концентрации элементов в месторождении В.И.Вернадский ввел кларк концентраций - показатель степени концентрации элемента в отдельном месторождении по сравнению с геохимической концентрацией. В связи с этими понятиями руду можно определить как отложение в котором кларк концентрации некоторого элемента достигает цифры, достаточной для рентабельности его извлечение табл. 3.3. приведены оценки концентрации некоторых металлов, характеризующих рудные скопления.

Природные геохимические аномалии, где концентрация отдельных химических элементов или минералов экономически выгодна для использования, являются месторождениями полезных ископаемых. Концентрация химического элемента в промышленных месторождениях обычно превышает его среднее содержание в литосфере в десятки и сотни тысяч раз (табл.3.4.).

Некоторые элементы, которые играют важную роль в экономике и давно известны, в действительности достаточно редки. Например, медь

Таблица 3.3.

Кларки и концентрации в рудных телах.

-----Т-----Т-----Т-----Т-----

Металл	Кларк	Минимальная концентрация, рентабельная для извлечения, %	Минимальный кларк концентрации в рудном теле
--------	-------	--	--

-----+-----+-----+-----

Al	8,13	20-30	3
Fe	5,00	18-30	4
Mn	0,10	20-35	200
Cr	0,02	20-30	1000
Cu	0,007	0,3-1,0	450
Ni	0,008	1,0-1,5	125
Zn	0,013	1,0-4,0	80
Sn	0,004	0,5-1,0	125
Pb	0,0016	1,0-4,0	600

U 0,0002 0,05-0,1 250

Таблица 3.4.

Масштабы концентрации металлов в рудах промышленных месторождений.

-----Т-----	
Концентрация, %	Элементы
-----+-----	
X 10	Алюминий, железо
X 10	Железо, титан
X 10	Марганец, медь, цинк, ванадий, ниобий
X 10 - X 10	Свинец, никель, литий, олово, вольфрам, берил- лий, тантал, уран, хром
X 10 - X 10	Золото, молибден, кобальт
X 10 - X 10	Ртуть, сурьма, платина
-----+-----	

менее распространена, чем цирконий, распространенность свинца сравнима с распространенностью галлия, а ртуть встречается реже, чем любой из редкоземельных элементов. Вместе с тем относительно распространенными являются некоторые малоиспользуемые элементы: рубидий находится в природе в количествах, сравнимых с никелем, ванадий значительно более распространен, чем олово, скандий - чем мышьяк, а гафний, один из последних открытых элементов, более распространен в природе, чем йод. Доступность элемента в значительной степени зависит от его способности образовывать индивидуальные минералы; наиболее трудно извлекаются рассеянные элементы: индий, рубидий, галлий, гафний, рений и др.

Количество элементов, находящееся в рассеянном состоянии, во много раз превышает количество, концентрирующееся в рудных месторождениях. Глинистые минералы содержат больше алюминия, чем боксит, но технология извлечения алюминия из глинистых минералов менее экономична. Магний извлекают из морской воды, где его концентрация 0,13%, хотя имеются громадные по запасам месторождения оливина, содержащего около 13% магния. Иногда использование определенных редких элементов обусловлено не только их полезными свойствами, но и возможностью их попутного получения при добыче более распространенных элементов.

3.2. ГЕОХИМИЯ МИНЕРАЛОВ.

Химические элементы в процессах геохимической миграции подчиняются закономерностям химических равновесий. Группы систем равновесия в геохимии

определяют формы нахождения химических элементов. Различают следующие формы нахождения химических элементов в земной коре [23]:

- 1) самостоятельные минеральные виды (кристаллохимические и коллоидные системы) - молекулы и их соединения;
- 2) изоморфные примеси в минералах: закономерные вхождения атомов и ионов в чужие кристаллические системы;
- 3) магматические расплавы: силикатные, кремнеалюминиевые, сульфидные, карбонатные, фосфатные и др. - сложные, изменчивые, насыщенные газами системы, обладающие высокими температурами и большими давлениями; химические элементы находятся в них в виде простых и комплексных ионов;
- 4) водные растворы и газовые смеси: молекулярное, атомное и ионное состояние химических элементов;
- 5) биогенные: нахождение химических элементов в живых организмах как в виде сложных органических, так и в виде неорганических соединений;
- 6) состояние рассеяние: форма нахождения, охватывающая все элементы земной коры, для некоторых из них являющаяся доминирующей или даже единственной.

В земной коре в настоящее время установлено около 2500 самостоятельных минеральных видов и более 7000 разновидностей. По распространенности минералы (по А.К.Болдыреву) делятся на пять групп:

- 1) очень распространенные, основные составные части редких горных пород (полевые шпаты, кварц, слюды, кальцит и др.);
- 2) распространенные, существенные составные части редких горных пород или входящие в большинство горных пород в незначительных количествах (апатит, нефелин, лейцит и др.);
- 3) среднераспространенные, непородообразующие, но встречающиеся в большинстве месторождений полезных ископаемых в составе руд (пирит, халькопирит, галенит, ильменит и др.);
- 4) редкие, встречающиеся в сравнительно небольшом количестве месторождений или в небольших концентрациях (самородное серебро, сильвин, витерит, минералы бериллия, тантала и др.);
- 5) очень редкие, известны не больше, чем в единичных точках земного шара, и в небольших количествах (криолит, германит, рейнерит, и др.).

Участие минералов различных классов в составе земной коры приводится в таблице 3.5.

Таблица 3.5.

Количество минералов земной коры по весу (по Н.И.Сафронову).

-----Т-----Т-----Т-----			
Минеральный класс	Минимальное количество минералов	Слагаемый состав земной коры, вес, %	Элементы, наиболее часто входящие в состав минералов данного класса
-----+-----+-----+-----			
Самородные	90	0,1	Pt и ее группа, Au, Ag, Cu

элементы			Hg, Bi, C, S, As
Сульфиды и их аналоги	200	0,25	S, Se, Te, Sb, As, Fe, Cu, Pb, Zn Ag, Co, Ni, Hg, Bi, Mo, Au
Окислы	200	17,0	O, Si, Fe, Al, H, Ti, Mn, Cr, Sn, Nb, Ta, TR
Силикаты	800	80,0	Si, O, Al, Fe, Ca, Na, K, Mg, реже Mn, Ti, B и др.
Карбонаты	80	1,7	C, O, Ca, Na, Ba, Sr, Cu, Pb, Zn
Бораты	40	Незначительно	B, O, Ca, Mg, Na, H, иногда S, Cl
Фосфаты, арсенаты, ванадаты	350	0,70	P, As, V, O, Ca, Mg, Ca, Al, Fe, Mn, отчасти Al, H, редко Pb, Cu, Zn, Cl, F, U
Сульфаты	260	0,10	S, O, Na, K, Mg, Ca, Al, Fe, H, реже Cu, Pb, Sn, Ba, Sr
Хроматы, молибдаты, вольфраматы	15	Незначительно	Cr, Mo, O, Fe, Mn, Pb, Cu, Ca, H
Галогениды	100	То же	F, Cl, Ca, Mg, Na, K, Al, иногда Li, H, O
Итого	2135	99,85	

Широко распространена изоморфная форма геохимического распределения элементов. Состав даже самых простых бинарных соединений по результатам анализа оказывается значительно более сложным, чем это следует из формулы соединения. Например, ZnS (сфалерит) может содержать примеси Fe, Mn, Cd, Ga, Ge, Sn, Se. Нередко минералы можно представить как бы состоящими из смеси двух или трех соединений - смешанных кристаллов.

Изоморфные ряды перемещаются и изменяются при изменении температуры и давления. Изоморфный природный ряд имеет более сложный характер, чем изоморфный ряд в химии, так как соответствует условиям не только физического, но и геологического и генетического характера.

Образование природных изоморфных составов минералов определяют геохимическая среда и концентрации элементов. При недостаточной концентрации какого-либо элемента или их группы для образования свойственных этим элементам решеток требуются другие, но определенные элементы (компенсационный изоморфизм). Например в щелочных расплавах богатых P_2O_5 , но отличающихся недостатком Ca, в решетку апатита попадают TR, Mg, компенсируя недостаток Ca. Их содержание в таких апатитах достигает нескольких процентов, в то время как в апатитах, образующихся в геохимической среде с избытком Ca, изоморфные примеси присутствуют в ничтожных количествах [23]. В геохимических процессах при изменении термодинамических условий происходит не только образование, изоморфных соединений, но и их распад.

При высоких температурах в кристаллическую решетку минералов может входить большее число изоморфных примесей и в большем количестве, чем при

низких температурах. Распад высокотемпературных изоморфных соединений происходит *при* более низких температурах например распад частичной изоморфной смеси KAlSi_3O_2 и $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ в калиевых полевых шпатах с образованием пертитов распада. Высокотемпературные генерации минералов, область кристаллизации которых охватывает большой температурный интервал, обладают большим числом примесей по сравнению с низкотемпературными, в большинстве случаев являющимися *более* чистыми. Это явление Д.Е.Ферсман назвал явлением авторизации (самоочистки). На земной поверхности, в условиях гипергенеза распад изоморфных смесей происходит в результате

a) Изменения валентности при окислении в зоне гипергенеза. В оливинах $(\text{Mg, Fe})_2(\text{SiO}_4)$ в качестве изоморфных примесей к Mg Fe всегда находятся Mn, Ni, Co. При окислении Co^{2+} и Mn^{2+} переходят в трехвалентную форму, а Мп и в четырехвалентную.

Различия в растворимости в кислотах. При гипергенезе у сфалерита $(\text{Zn, Cd})\text{S}$ происходит разделение Zn и Cd, так как ZnS растворим в кислых растворах, тогда как CdS при повышении pH нерастворим и будет выделяться в виде самостоятельного минерала гринокита. Переход атомных и атомно-ионных решеток в ионные характерен для халькофильных элементов и их соединений. Им объясняется разделение многочисленных примесей в блеклых: рудах, разделение Zn и Ga при окислении сфалерита.

Рассеяние имеет свои пределы. различные для разных элементов, и зависит от особенностей строения атомов и от внешних термодинамических условий. Для так называемых "малых" или "редких" элементов частичный изоморфизм является единственным в связи с незначительной их распространенностью. Основная часть их атомов, если не исключительно все, находится в земной коре в состоянии рассеяния. Это, во-первых, типичные элементы рассеяния-Sc, Ga, Hf, In, Rb, Br, J и др., во-вторых, радиоактивные элементы. Значительная часть довольно распространенных (циклических) и редких элементов тоже находится в состоянии рассеяния,

Так, значительная часть иттрия и редких земель находится в апатите, сфене и флюорите, изоморфно замещая кальций; трехвалентный ванадий замещает в магнетите окисное железо; селен — серу в пирите. Одни и те же химические элементы могут давать самостоятельные минеральные виды, изоморфно замещать другие элементы в кристаллических решетках и находиться в состоянии рассеяния, например TR. Be, Mg, Fe, Al, Nb, Ta, V, Th и др.

3.3. Genesis of ores and minerals.

The ores as natural associations of minerals corrected with endogenic, exogenic and metamorphic processes.

Endogenic (or hypogene, deep) processes take place in the depths of the Earth, and are connected with the magmatic activity or the metasomatic transformations of rocks. The processes of the solidification of magma lead to the formation of various magmatic rocks, while the gaseous and water solutions, which are separated from the magma, transfer

various substances, which in certain conditions of the environment, as is the case with Fissures, are segregated in the form of minerals.

Endogenic processes take place at high temperatures and pressures. The temperature of the crystallization of magmatic rocks in relation to the content of the melt fluctuates between 1200° and 700 °C, with the pressure covering the range from approximately 5 500 to 500 bars (or from 550 to 50 MPa). The formation of pegmatites, metasomatic rocks, skarns and greisens, hydrothermal ore veins, etc. connected with the magmatic process.

Exogenetic (or hypergene, surface) processes take place at the surface or close to the surface of the earth, as well as in the atmosphere and the hydrosphere. These processes are manifested in the physical or chemical deterioration of rocks, ores, and minerals, and the formation of such minerals that are stable in the earth's surface conditions. This also includes biogenic processes of mineral formation.

Minerals and rocks that have originated as a result of endogenic and exogenic processes accompanied by a change in physicochemical conditions, undergo certain transformations, or **metamorphism**.

The magmatic processes' of mineral formation proper include those within which minerals originate synchronically with the crystallization of magma.

The magmatic rocks formed in the depths of the Earth, are called *intrusive*, or deep rocks. If the solidification of magma takes place at the earth's surface, they are called the *effusive* rocks.

The processes of magmatic differentiation should be regarded in conjunction with liquation i.e. the separation of one liquid magma into two non-miscible liquids. Under continuous cooling of both liquids they yield rocks different in their composition. This is how, for instance, schlieren excretions, or mineral accumulations of a somewhat different composition than the groundmass, are formed. Sometimes as a result of liquation, the melt, rich in metal compounds, is separated from the silica, which leads to the formation of liquation deposits of copper, nickel, and chromium.

The different cases of the crystallization of silicate and ore minerals from the ultrabasic and basic magmas leads (fig3.2). to the formation of three types of magmatic deposits. They are respectively called early magmatic, when ore minerals are crystallized prior to or synchronically with silicates (the first case), liquational when the separation of the ore melt from the silicate melt takes place as early as in the liquid stage (the second case), and late magmatic ^ (Hysteromagmatic), when the ore melt is separated from the silicate melt and the crystallization of ore minerals takes place later than silicates, as if the ore minerals were cementing the silicates and filling the fissures (the third case). "•

Early magmatic deposits can be exemplified by the chromite, the platinoids of the Urals and the diamond-bearing kimberlites of Eastern Siberia. A classical example of liquation deposits is the Norilsk and the Talnakh copper-nickel deposits in the Krasnoyarsk Region, the Monchegorsk deposit in the Kola peninsula, Sudbury in Canada, and others. The later magmatic deposits include Donskaya group of chromite deposits in Aktyubinsk Region Kachkanar, the Pervouralsk and other deposits of titanomagnetite and ilmenite in the Urals, the Khibiny apatite-nepheline deposit in the Kola Peninsula. К этому типу месторождений относятся титаномагнетиты ЮАР, Канады, США, Индии,

Норвегии, Швеции, Финляндии. Alkaline rocks are usually light-coloured and their density is low (2.7-2.8). These rocks are not widely spread (approximately 0.4% of all magmatic rocks). However, their practical significance can hardly be overestimated since such highly important deposits as apatite, rare-earth minerals, zircon, titanium and other ores are associated with them. The nepheline syenites to be characterized by the presence of apatite and various zircon-and-titanium silicates (eudialyte, titanite, etc.).

Nepheline syenites form small massifs, sometimes layered intrusions. The largest alkaline province in the world is the Khibiny Mountains in the Kola Peninsula, distinguished by a variety of rocks. There nepheline syenites are responsible for the deposits of apatite and nepheline.

The association of minerals in carbonatites is unusual. Accessory minerals are not found in other associations and containing rare earths, niobium, tantalum, uranium, zirconium, strontium, titanium, fluorine, and phosphorus. Some of the carbonatite minerals are of great practical importance. They include pyrochlore, uranium-tantalum, pyrochlore-hatchettolite, bastnaesite, parisite, columbite, baddeleyite, and others. Carbonatites are also connected with the deposits of iron ores, from which, apatite, baddeleyite, phlogopite (vermiculite), etc. are recovered as by-products.

Carbonatites form small stocks, ring-dike and radiating dikes, in sharp contrast to the concentrically-zonal alkaline magmatic complexes of rocks, among which they are deposited and where they compose the central parts. These alkaline zonal complexes are characterized by a rigid correspondence to the platform regions and to the zones of regional fissures. Ring-dikes converging and diverging in the deep regions have been found to be exceptionally characteristic.

They are characterized by the minerals, containing TR, Ta, Nb, Zr, U and Th (zirkelite of $\text{CaZrTi}_2\text{O}_7$, baddeleyite, hatchettolite, pyrochlore), in addition to the minerals of titanium and zirconium mentioned above. The further stage is associated with the segregation of fine-grained calcite-dolomite accumulations with alkaline amphiboles, serpentine, talc, which associate with pyrochlore, as well as with fersmite, zircon, and aeschynite. The concluding stage is remarkable for the formation of fine-grained dolomite-ankerite separations with siderite, aegirine, arfvedsonite, and also with epidote, chlorite, albite, bastnaesite, parisite and the sulphides of copper, lead, zinc, etc.

Mineral associations of the concluding stages distributed in the central part of the carbonatite.

Наиболее известны карбонатные месторождения. Ковдорское (Kola Peninsula) (флотопит, вермикулит, железные руды), Пхалаборва в ЮАР (фосфор, цирконий, медь), Сукулу в Уганде (фосфор); Араша в Бразилии, Луэше в Заире, Ока в Канаде (ниобий); Белая Зима в Вост.Сибири (Вост.Саяны) (ниобий, тантал).

. Diagram showing the separation of ore components in magma and the formation of various types of magmatic deposits (fig. 3.3)

The copper and nickel of the liquation pertains to typically magmatic deposits. The enclosing rocks for them are: gabbro, norites, rock-forming minerals are represented by pyroxene, plagioclase, and olivine. The process of liquation predetermined the emergence

of ore melt, rich in sulphur, chalcophile and siderophile elements. Under the crystallization of this melt there emerge substantial accumulations of sulphides of iron, copper, and nickel, entering into the composition of the largest copper-and-nickel deposits in the world, e. g. the Norilsk, Talnakh, and the Pechenga deposits, the deposits of Sudbury in Canada and those in South Africa.

The mineral association of ore minerals is extremely characteristic: pyrrhotite-pentlandite-chalcopyrite. It can be assumed that if two of these minerals are found, the third one will be found too. Pyrrhotite is the principle, and the most widespread mineral: it forms granular aggregates with grains of the size up to 1 cm, and intergrows with pentlandite and chalcopyrite. Pentlandite forms idiomorphic, coarse, with grains sometimes up to several centimetres in size. Pentlandite is intersected by pyrrhotite and chalcopyrite. Chalcopyrite is the latest of the sulphides mentioned above. It often contains fine inclusions of bomite, cubanite, sphalerite, and galena.

The presence of platinoids in ores, e. g. palladium-platinum (Pt, Pd) and sperrylite is extremely characteristic.

The process of mineral formation from the gaseous phase is called pneumatolysis. The main gases during the eruptions are: water vapours, HCl, H₂S, CO₂, H₂, CO, O₂, chlorous and sulphate compounds of sodium, potassium, calcium, and aluminium. The chlorine compounds of Fe, Cu, Mn, Pb, the compound of boron, fluorine, bromine, phosphorus, arsenic, antimony, mercury, etc. are also found in gases. The industrial value of minerals of volcanic origin is extremely restricted. It is native sulphur (sometimes containing selenium), small deposits of which are in Kamchatka and the Kuril Islands, Japan, Chile, and Italy.

Месторождения руд вольфрама, олова, бериллия, лития, особенно широко распространены в районах развития гранитов (оловянные и вольфрамовые месторождения Вост.Сибири, Казахстана, Рудных гор в Чехословакии и ГДР, Малайзии).

Pegmatites are coarse- and gigantic granular veined bodies, close in the composition to those intrusions, with which they are connected and from which they are distinguished and sometimes the presence of rare-metal and rare-earth minerals.

The form of pegmatites is predominantly veined, and lens-like. Pegmatites are deposited in gneisses and crystalline schists. Pegmatites are usually at a distance of 1-2 kilometres from the intrusive rocks.

Пегматиты содержат редкоземельные элементы, скандий, а также служат источникам лития, цезия, рубидия, бериллия, тантала, олова.

The composition of the comparatively rare gabbro-pegmatites corresponds to gabbro (basic plagioclase and pyroxene). Ilmenite and magnetite enter into their composition too.

В гранитных пегматитах известны минералы лития (петалит, эвкрипит, сподумен и его драгоценные разновидности - кунцит, гидденит), цезия (поллуцит), тантала (воджинит, иксиолит, манганотанталит, симпеонит, холтит и др.), иттрия (иттриалит) скандия (тортвейтит), бора и бериллия (гамбергит, родицит),

благородный берилл, морганит (воробьевит), цветные турмалины (рубеллит, индиголит, верделит) и др.

Pegmatitic veins are remarkable for the concentration of valuable mineral resources. For instance, in Karelia ceramic pegmatites (feldspar, quartz) are widely spread. In Irkutsk Region, Mama and Chuya river basins there are vast fields of muscovite pegmatites. The latter have also been found in the Kola peninsula, Karelia, eastern Sayan (Biryusa river) and on the Enisei ridge. Rare-metal pegmatites are known in eastern Kazakhstan, in the Kola Peninsula, Eastern Sayan in Central Asia, the Transbaikalian Region, and elsewhere. Rock-crystal-bearing and other pegmatites of the chamber type are found in the Ukraine (Volyn), Kazakhstan, in the Urals and Aldan. Pegmatites are known in India, Afghanistan, Brazil, Canada, the USA, Zaire, and other countries of Africa.

The processes of **metasomatism** are widely spread in the formation of **pegmatitic** and **hydrothermal** ore veins (fig.3.4).

The practically important are postmagmatic, metasomatic processes with which quite a few ore deposits are associated: (1) the contact-metasomatic, or skarn, process; (2) the near-contact leaching, leading to the formation of apogranites, greisens, and secondary quartzites. It should be connected with a low-temperature periverticinal metasomatism (beresitization, listvenitization, chloritization).

Метасоматически замещенные, редкометалльные пегматиты отличаются развитием зон альбитизации и грейзенизации, возникших под воздействием горячих газово-водных растворов, химически неравновесных по отношению к составу первичной пегматитообразующей минеральной массы. Из метасоматически замещенных пегматитов добывают горный хрусталь, оптический флюорит, драгоценные камни, руды лития, бериллия, цезия, рубидия, иногда руды олова, вольфрама, тория, урана, ниобия, тантала, редкоземельных элементов.

Skarns are formed at the contact of aluminosilicate (granitoids) and carbonate (limestone, dolomites) rocks as a result of their metasomatic replacement. Skarns, that have emerged as a result of the replacement of the aluminosilicate rocks are called endoskarns, while the replacing carbonates have acquired the term exoskarns (endo- and exo- in relationship to intrusion).

В скарнах широко распространены месторождения железных руд (магнетитовые), а также железокобальтовых руд с магнетитом и кобальтином (в России - Дашкесанское месторождение на Кавказе); месторождения меди с халькопиритом (в России - Турбинское на Урале, Чатыркульское в Казахстане и др.; в США - Бишоп, Клифтон и др.; в Мексике - Кананеа, Санта-Эулалия; в Канаде - Тасу-Империяль и др.); месторождения вольфрама с шеелитом (в Ср. Азии; в США, Румынии, Китае, Канаде, Турции, Бразилии, Боливии, Австралии, Индонезии и др. странах); месторождения молибдена с молибденитом, обычно содержащим вольфрам и формирующий молибдошеелит (в России - Тырныаузское на Кавказе; в Марокко - Азгур; в Китае - Янцзы-Чжанзы; в Иране - Шерифабад; в Бразилии - Кишаба и др.); месторождения свинцово-цинковых руд с галенитом и сфалеритом (в России - Дальнегорское на Д. Востоке, Кызыл-Эспинское в Казахстане, Алтын-Топкан в Ср. Азии и др.; в США - Лоренс, Бингем и др.; в Югославии - Трепча; в

Мексике - Эль-Потоси и др.; в Аргентине - Агилар; в Иране - Равендж; в Афганистане - Калайи-Асад; в Китае - Тембушань и др.); месторождения золота, обычно связанного со скарнообразующими сульфидами (известны в СССР, США, Мексике, Бразилии и КНДР); месторождения олова с касситеритом (напр., Питкяранта в Карелии, Россия); месторождения бериллия с разнообразными бериллиевыми минералами - гелвином, даналитом, хризобериллов, фенакитом, берtrandитом, бериллом (напр., Айрон-Маунтин в США); месторождения бора с котоитом, людвигитом, суанитом, ашаритом и флюоборитом (в России, Болгарии, Чехословакии, США, Франции, Перу, Малайзии). Кроме того в скарнах известны менее значительные месторождения руд платины, урана и тория, флогопта, графита, виверита, пьезокварца.(fig3.4)

Skarns are an extremely important genetic type of the deposits of metallic mineral resources and phlogopite-mica. Mineralization, as a rule is of a superimposed type in respect to skarn minerals. Magnesian skarns are characterized by the following ore formations and typical of the former USSR:

Ludwigite-magnetite	-Tayozhnoye, Eastern Siberia
Phlogopite	-Slyudyanka in the Baikal region; the Aldan group of deposits
The Following formations are of practical value to limestone skarns:	
Scheelite	-Ingichke, Koitash in Central Asia
Molybdenite-scheelite	-Tyrnyauz in the Northern Caucasus
Magnetite	-Vysokogorsk and others in the Urals; Sokolovsk and Sarbai in the Kustanai Region; Temir-Tau, Tashtagol in Western Siberia, Abakan in Khakassiya.
Polymetallic	-Altyn-Topkan and others in Central Asia, as well as in the Primorski Krai, and Kazakhstan
Cassiterite	-Kitelya in the near Ladoga district. Maikhura and the Takfon deposit in Tadzhikistan
Chalcopyrite and magnetite-chalcopyrite	-Turyinsk in the Urals, Sayak in Kazakhstan
Cobaltite-magnetite	-Dashkesan in the Transcaucasus region
Saflorite-glaucodot	-Khovuaksy in Tuva
Helvite-magnetite	-the deposits in Kazakhstan
Boron-silicate	-The Primorski Krai

Scheelite skarn deposits are known in China, South Korea, Australia: magnetite deposits are found in Sweden and the USA; polymetallic deposits-in Mexico, Argentina, etc.

Besides, skarns are remarkable for the cases of gold and bismuth mineralization. The practical value of skarn deposits consists in that they yield the whole of mica-phlogopite output, approximately 50% tungsten, about 30% of lead and zinc, a considerable amount of molybdenum, iron, copper and other metals.

Albitites are metasomatic rocks formed as a result of processing granitoids by postmagmatic solutions bringing forth a substantial change in their content and structure. The action of these solutions results in an intensive development in the apical parts of granitoids of albite, lithium micas and other minerals of practical value, e. g. columbite, pyrochlore, zircon, beryl, and rare-earth minerals. Substantially albiticized granites are called apogranites

The deposits of rare metals in albitites are known in the Transbaikal region and in Kazakhstan. Rich deposits of niobium and tantalum are connected with columbite-bearing albiticized granites of Northern Nigeria.

Greisens are metasomatic rocks formed as a result of the processing the main specimens of granites by postmagmatic gaseous and water solutions. As a rule, greisens are formed in domes in dome-like protrusions of granite intrusions, in their exocontact zones and along ore veins. By their mineral composition greisens are substantially quartz-muscovite rocks, often with lithium micas, topaz, tourmaline, fluorite and such valuable minerals, as cassiterite, wolframite, molybdenite, and beryl. In the greisens of the Transbaikal region we can find the transparent variety of beryl of the aquamarine colour.

Gaseous and water solutions, causing greisenization, contain a large number of volatile components: F, Cl, B, etc. in composition with which there occurs a transportation of rare metals. The migration of tin takes place and to explain the characteristic paragenesis of cassiterite with topaz, fluorite, and micas.

The wolframite deposits of the Eastern Transbaikal region, and the accompanying them greisen zones have identical mineral composition. All the principal minerals of ore veins, including those of the ore type, e.g. wolframite, scheelite, pyrite, cassiterite, are formed at the place of the rock-forming minerals of granitoids and other rocks, enclosing ore veins.

Greizen deposits are known in the Transbaikal region, Kazakhstan (USSR), in South America, Malaysia, China, Burma, Czechoslovakia, etc.

The process of sericitization is widely spread in rocks and is particularly characteristic of pyrite, copper-molybdenum (copper-porphyric), and quartz-gold-bearing deposits. Sericitization in latter cases is manifested intensively, and the quartz-sericitic rocks are formed which often contain pyrite. The quartz-sericitic rocks with pyrite developed in the Beresovskii gold-bearing deposit in the Urals.

Hydrothermal solutions are hot water solutions, separated from magma or formed as a result of the liquefaction of gases. Hydrothermal origin is shared by most of the ore nonferrous, rare and radioactive metals, gold. Among hydrothermal deposits V. Smirnov singled out the following three classes: plutogenic, volcanogenic, and amagmatogenic, or telethermal (stratiformal).

Plutonogenic-hydrothermal mineral associations are connected with acid and moderately acid magmatic rocks and are formed as a result of the fallout of minerals from the postmagmatic hydrothermal solutions. The temperature of the process is between 450 and 50°C. The form of mineral bodies is varied, mainly veined.

Plutonogenic hydrothermal paragenesis includes mineral associations of tin and tin-tungsten veins, gold-quartz, cobalt-nickel-arsenic, polymetallic (lead-zinc), cobalt-nickel-silver-bismuth-uranium veins, etc.

Deposits of the ore mineral associations the main veined mineral of which is quartz, can be exemplified by the Ononsk

cassiterite, the Chikoi molybdenite, and the Bukuka wolframite deposits of the Transbaikalian region, the Berezovsk gold with pyrite and the Kochkar gold with arsenopyrite deposits of the Urals, the chalcopyrite deposits of Almalyk in Uzbekistan and Kadzharan in Armenia, the bismuth deposit of Andrasman in Uzbekistan, the Sadonsk group (Sadon, Zgid, and Kholst) of polymetallic deposits of the Northern Caucasus, the cobalt-nickel-arsenic deposit of Khovuaksky in Tuva, the gold deposits of the North-East of the USSR, and many others.

Volcanogenic- hydrothermal mineral associations are genetically connected mainly with the terrestrial andesite-dacite volcanism. The depth of the formation of volcanic associations is usually not more than 1-2 kilometres. Volcanogenic ore mineral associations include gold-silver, sulphide-cassiterite, polymetallic copper (chalcopyrite-enargite-chalcocite), copper-molybdenum (veinlet-disseminated) ores with mercury and arsenic, and some others.

Underwater volcanic eruptions of the basic, medium, and acid magma (basalts, andesites, and liparites) are genetically bound to pyrite deposits, composed mainly of pyrite, sometimes of chalcopyrite, sphalerite, galena and more seldom of other sulphides.

Колчеданные месторождения формируют залежи сплошных или массивных, а также вкрапленных руд. Эти залежи имеют форму пластов, линз, штоков и жил длиной до 5000 м, мощностью до 250 м, глуб. распространения до 2000 м. Наиболее древние (архейские) м-ния известны в Канаде, Австралии, Юж. Америке и Индии. Протерозойские - (Карелия, Сибирь), Швеция, Норвегия, Финляндия, Австралия, нижнезойские - (Прибайкалье, Тува), Норвегия, Швеция, Австралия, Испания и Португалия. Средне и верхнепалеозойские - (Урал, Рудный Алтай, Центральный Казахстан, Ср.Азия, Кавказ) и ФРГ. Мезозойские - Кавказ, Италия, Турция, Франция, Югославия. Кайнозойские - Кавказ, Япония, Иран, Греция, Куба.

Amagmatogenic- (nonmagmatogenic) hydrothermal associations can test only upon an assumption. That a large number of lead-zinc and copper deposits, referred.. to this group, have a rigid stratigraphical control. Amagmatogenic deposits comprise the largest copper deposits of the cupreous sandstone type (Dzhezkazgan in Kazakhstan, Udokan in the Chita Region). In other countries deposits of this type are in Zambia and Zaire, and the lead-zinc deposits of the Karatau Mountain Range in Kazakhstan (Mirgalimsai, and others), Zhairam in Central Kazakhstan and the Three State deposits in the USA. Copper mineralization corresponds to sandstone, while that of the lead-zinc type corresponds to carbonate rocks.

The compounds of mercury, antimony, and arsenic are extremely volatile and are sublimated from very low depths, and, besides, the minerals of arsenic and mercury often

occur among igneous rocks for example in the sublimates of the Mendeleyev volcano in the Kunashir Island.

Deposits of antimony and mercury are of great practical value. Among them the following mercury deposits can be mentioned: the Khaidarkan deposit in Southern Fergana, Aktash in Altai, Nikitovka in Donbass, Almaden in Spain, and others. Antimony deposits are: the Kadamdzhai deposit at the foot of the Alai Range, Abshir and others in Central Asia, the Turgai deposit in Kazakhstan and in China, etc.

Telethermal deposits yield more than 95% of mercury and about 80% of antimony output. Telethermal deposits also include the large deposits of fluorite in Takob and Aurakhmat (Central Asia), Amderma on the coast of the Kara Sea, etc. The deposits of barite can be exemplified by the Kutaisi in Georgia, the Arpaklen group of deposits in Turkmenia, comparatively small deposits of tin-tungsten and gold-silver ores.

The formation of weathering crusts, sediments, and then sedimentary minerals and rocks at the surface of the earth is obvious (fig.3.5).

The more stable mineral is quartz, and the less stable ones are microcline, plagioclases, muscovite, with biotite, amphiboles, pyroxenes, and olivine completing the descending scale of stability. The basic plagioclases are much more susceptible to weathering as compared with the acid varieties. Same can be said of ultrabasic and basic rocks, when compared, for example, with granites. Other highly weathering resistant minerals are those of the oxide group and include spinel, rutile, anatase, and corundum. Silicates are exemplified by tourmaline, topaz, and zircon. The native minerals are represented by diamond and platinoids. Many minerals of the metamorphic strata, e. g. garnets, disthene, sillimanite, sphene, and others also share the stability of those mentioned previously. Hence, weathering resistant minerals are the oxygen-containing ones. This calls for no special comment since their origin is closely related to oxygenous medium. Sulphides are the unstable minerals in the weathering crust; they are easily decomposed and form numerous secondary minerals.

Under chemical weathering there occurs a chemical disintegration of minerals and new minerals are formed.

Bauxites are the sedimentary or residual rocks, which are an ore of aluminium. They consist of aluminium hydroxides, i.e. diaspore, boehmite, hydrargillite, with the mixture of ferric hydroxide, ferriferous chlorites, kaolinite, SiO_2 and TiO_2 . According to mineral composition the following types of bauxites are distinguished: diaspore, boehmite (anhydrous), and hydrargillite (hydrated).

Macroscopic bauxites represent fine dispersed soft or compact rock. Their hardness is usually 2-4; the density is about 2.5. The colour is white, grey, yellow, red, white and red are particularly characteristic (depending on the content of iron). Bauxites often have a clear-cut oolitic structure; they often resemble clay rocks. They are hardly hygroscopic, and very thin, as compared with kaoline.

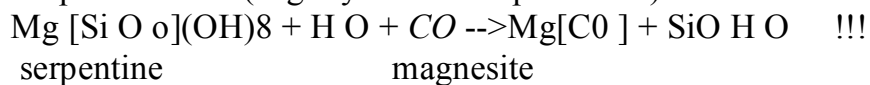
Bauxites are of great practical importance as an ore of aluminium. The content of Al_2O_3 in them must not be less than 45%. The content of iron oxide does not play any

considerable role and can be up to 20-25%. The main harmful impurity is silica. The silicic modulus —

Al₂O₃ — in industrial ores must not be lower than 2.6. SiO₂ !!!

Under metamorphism of bauxite ores corundum rocks and emeries are formed.

The weathering of serpentinous ultrabasites is conducive for the emergence of nontronite, a mineral of an irregular chemical composition (sometimes containing nickel, isomorphically replacing magnesium), montmorillonite, halloysite, of iron hydroxides and manganese (occasionally with cobalt), chalcedony, opal, magnesite, calcite, and quartz. Nickel-bearing nontronites of the Southern Urals and Western Kazakhstan are a good ore of nickel (Buruktau, Novaya Buranovka, Chuguevskoye, and others). Besides silicate nickel ores the weathering of serpentinites is responsible for the concentration of iron, manganese and cobalt, which leads to the formation of the deposits of brown iron ore, or naturally alloyed ores. Magnesite also proves to be a valuable mineral raw material under the weathering of serpentinites. It is formed during the hydrolytic action of water, rich in carbon dioxide, upon serpentinites. Solutions containing magnesium deposit magnesite in deeper horizons (slightly altered serpentinites):



Minerals of residual bauxite deposits, formed under the lateritic weathering of ultrabasic and alkaline rocks in hot and humid climate conditions, as well as minerals of the silicate-nickel deposits after serpentinous ultrabasic rocks.

If hot tropical climate and alkaline medium are relevant for the lateritic weathering with the formation of hydrated oxides of aluminium (bauxites), it is in the moderate climate in the subacid or the neutral medium that the weathering of granites and gneisses take place with the formation of kaolinite. The mineralogy of these formations is by no means complicated: the principal mineral here is kaolinite, sometimes in a mixture with halloysite and chalcedony. Residual kaolinite deposits are known in the Ukraine. They correspond to the long formed weathering crust of the Pre-Cambrian granites and gneisses (the Glukhovetsk and Turbinsk deposits in the Kiev Region, the Prosyansk deposit in the Dnepropetrovsk Region, and others, as well as in the other regions of the Urals, Western Siberia, and elsewhere).

Ore minerals, particularly, sulphides, are easily destroyed and are transferred into numerous, sometimes very bright, secondary oxidized minerals: sulphates, oxides, carbonates, phosphates and other. This results in the formation of oxidation zones of sulphide deposits, or the 'iron caps'. These zones were given this name because of the brown oxides of iron, which are concentrated in the upper, oxidized part of the deposit.

In the cementation zone the ores of copper, silver, gold, lead, and zinc are formed. The thickest cementation zones are formed in those cases when the primary ores are represented by pyrite and chalcopyrite, hence, this zone is of particular importance to

copper deposits, where chalcocite, covellite and bornite, sometimes form considerable accumulations.

The oxidation of arsenopyrite leads to the emergence of iron hydroxides and scorodite. The arsenides of nickel and cobalt in the oxidation zone form bright annabergite and erythrite. Cobalt is characterized by its bound with the hydroxides of manganese, or asbolan ores. There appears a wide group of minerals that are difficult to diagnose when the process of oxidation of antimonite Sb_2S_3 and other minerals of antimony, e.g. valentinite, senarmontite, stibiconite, etc. takes place. They are often referred to by such a generalized term as 'antimonial ochre'. The oxidation of bismuthine is responsible for bismuth ochre, or bismite. The oxidation of molybdenite is responsible for the appearance of a bright-yellow molybdenum ochre, ferrimolybdate. Powellite is also characteristic of the molybdenite zone of oxidation. In the oxidation zone proustite and pyrargyrite are transformed into native silver, electrum, cerargyrite, and argentite. All of them, in mass accumulations, can have practical value.

The zone of the iron cap is characterized by the accumulation of gold not only at gold-bearing deposits, but also at the deposits of other types, such as those of pyrite. Numerous secondary minerals emerge in the oxidation zone of the uranium deposits. They are: uranophane, kasolite, autunite, torbernite, zeunerite, sulphates, and the carbonates of uranium.

The placers abundantly yield diamonds, gold, platinum, cassiterite, scheelite, zircon, monazite, garnet, ruby, sapphire, rutile, ilmenite, and magnetite. Since the mineral genesis of placers is of various kind, it is practically impossible to find them all together. Thus, placers, containing diamond, are characterized by pyrope, ilmenite, olivine, diopside, and grossular with gold-bearing placers the minerals are: magnetite, ilmenite, zircon, apatite, sphene, garnet, cordierite, and other common minerals of the acid and medium intrusive, as well as metamorphic rocks, etc. It is quite natural that the platinum-bearing placers are characterized by quite a different inventory of minerals than the one that is typical of placers with cassiterite, monazite, etc.

It is quite obvious that together with heavy minerals of practical importance placers contain a number of widespread weather-resistant highly important rock-forming and accessory minerals of magmatic, sedimentary, and metamorphic rocks (quartz, feldspars, garnets, titanite, tourmaline, andalusite, sillimanite, disthene, pyroxenes, amphiboles, spinel, epidote, fluorite, apatite, and *many* others). It is these minerals that constitute the placer itself.

Из россыпных месторождений добывают до 90% золота, 90% циркона и ниобия, 80% редких земель (монацит), 70% титана и олова, 65% алмазов, 60% тантала. Различают генетические типы россыпей делювиальные, пролювиальные, аллювиальные, дельтовые, прибрежно-морские, морские. Россыпи золота, урана, алмазов, титана и циркония известны в разл. горизонтах осадочно-вулканогенных толщ, выполняющих геосинклинальные и платформенные прогибы. Россыпи золота, урана и алмазов залегают в базальных, меж- и внутриформационных конгломератах, распространённых по периферии прогибов; титана и циркония — в мелкозернистых, хорошо отсортированных песках (кварцитах). Физическое.

состояние россыпей (рыхлые или плотные) зависит от степени метаморфизма пород. В рыхлых слабометаморфизованных сохраняются крупные зерна золота, уранинита, ильменита, алмазов.

Под влиянием метаморфизма происходит перераспределение золота, переход его в связанное состояние с сульфидами (размеры частиц золота 1—100 мкм), появление зелёных или бурых пятен пигментации на кристаллах алмазов, разложение уранинита с образованием браннерита и тухолита, распад ильменита и образование гематита, анатаза, брукита, а иногда и сфена.

Золото-ураноносные докембрийские россыпи известны в ЮАР (ВИТВАТЕРС-РАНД), Канада (БЛАЙНД-РИВЕР), Гане' (Тарква), докембрийские алмазоносные россыпи.—в Юж. Африке (Тортъя) Бразилии (Боа-Виста), Индии (Шахидан Кхамария), палеозойские — в Бразилии, мезозойские — в Бразилии (Минас-Жерайс), Анголе (Касаи-Лунда) Зимбабве. Титан-цирконовые россыпи. за рубежом не разрабатывают в связи с наличием крупных м-ний сырья на современных пляжах. В СССР они распространены в палеозойских и мезозойских отложениях Вост.-Европ. платформы и по окраинам Зап.-Сибирской плиты.

(Beach-submarine placers) -- большая группа россыпей современной и древних береговых зон озёр, морей и океанов. Среди них различают: дельтовые, лагунные, морские и золотые россыпи ильменита, рутила, циркона, монацита, золота, касситерита, алмазов, янтаря и др. полезных минералов, принесённых реками из внутр. частей континента или поступивших в россыпь в результате размыва источников питания, расположенных в береговой зоне.

Chemical sediments formed salts, limestone, dolomite, lignites, coals of formation and other.

ОСАДОЧНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ залежи полезных ископаемых формирующиеся в процессе осадконакопления на дне водоёмов. По месту образования они разделяются на речные, болотные, озёрные, морские и океанические; среди двух последних различают платформенные (континентальные) и геосинклинальные. Осадочные месторождения., особенно морские, обычно имеют крупные размеры: отд. пласты протягиваются на десятки км, а свиты пластов — на сотни км и более. По характеру осадконакопления среди них выделяют 4 класса: механические, химические биохимические, вулканогенные.

К механич. осадочным месторождениям . относятся речные, прибрежно-морские и океанич. россыпи золота, платины, алмазов, минералов титана, олова, вольфрама и др.

Хим. осадочные месторождения . включают м-ния солей, гипса, ангидрита, боратов, барита, руд железа, марганца, алюминия (бокситов), а также (медн. молибдена, ванадия, урана, возникших из истинных и коллоидных растворов на дне водоёмов.

К биохим. осадочным месторождениям относятся м-ния горючих газов, нефти, углей, фосфоритов, карбонатных и кремнистых пород при хим. процессах вследствие жизнедеятельности организмов в водах и на дне водоёмов.

Вулканогенные осадочные месторождения возникли из осадков, питаемых продуктами подводного и прибрежного вулканизма; к ним принадлежат колчеданные месторождения

Медистые песчаники и сланцы (copper sandstones and slates);- пласты песчанистых и сланцевых осадочных горн. пород, содержащие минералы меди. Распространены на значит. площадях, имеют выдержанную мощность, обладают строгой приуроченностью к определённым стратиграфич. горизонтам обычно лагунных и заливно-лагунных осадков древних морей. Характерны многоярусные залежи, имеющие постоянные переходы к слабоминерализованным породам. Образуют крупные м-ния, среди к-рых выдающимися являются Меденосный пояс центральной Африки и Удоканский рудный район в Читинской обл. России (протерозойского возраста), Джезказганское м-ние в Казахстане (каменноугольного возраста) и Мансфельд-Зангерхаузен в Германии (пермского возраста). Главные медные минералы рудных залежей представлены борнитом, халькозином и халькопиритом, которые в ассоциации с более редкими сульфидами железа, цинка, свинца, никеля, кобальта, молибдена, рения, висмута, сурьмы, мышьяка и др. минералами формируют вкрапленную руду.

Мировые запасы меди в медистых песчаниках ~~составляют~~ 25% от их общего кол-ва. Они являются вторым (после медно-порфировых руд) крупным источником меди с попутным извлечением свинца, цинка, серебра, местами кобальта и урана (Африка). Простая пластовая форма, крупные размеры, пологое и неглубокое залегание многих залежей позволяют применять открытые системы разработки.

Остаточные месторождения (residual deposits) ~~состоят~~ из продуктов выветривания горн. пород, накапливающихся вследствие выноса поверхностными водами их растворимых соединений, формирующих инфильтрационное месторождение К наиболее значит. О. м. принадлежат м-ния бокситов, каолинов, силикатных никелевых руд, бурых железняков, оксидов марганца, скопления магнезита, талька, минералов титана, олова, вольфрама, тантала, ниобия, золота.

Бокситы латеритного профиля выветривания образуют площадные и карстовые залежи, формирующиеся в обстановке жаркого и влажного климата; процесс их образования сводится к накоплению свободного глинозёма за счёт разложения алюмосиликатов при повышении концентрации его по сравнению с содержанием в исходных породах в 4—6 раз. Каолины отличаются от бокситов незавершённым разложением коренных пород, не дошедшим до стадии обособления свободного глинозёма и задержавшимся на стадии формирования силикоглинозёма или глин. Осадочные месторождения силикатных никелевых руд связаны с корами выветривания аподунитовых и апоперидотитовых массивов; эти м-ния возникают при накоплении силикатных, содержащих никель минералов в процессе преобразования змеевиков в остаточные глинисто-охристые продукты коры выветривания, содержание никеля в неизмененных змеевиках составляет 0,1%, при формировании осадочных месторождений никелевых руд оно увеличивается в 10 раз и достигает 1%.

The biochemical process is also responsible for the formation of the sedimentary deposits of vanadium, uranium, and some sulphides of Mo, Pb, Zn. An organic substance possesses adsorptional properties and selectively accumulates vanadium and uranium, as a result of which large industrial deposits of these ores are formed. The most important ore minerals are roscoelite, carnotite, and tyuyamunite.

В месторождениях мирового океана большее практич. значение имеют, кроме, нефти и газа, россыпные м-ния олова, редких металлов, золота, алмазов, железомарганцевые конкреции и корки, полиметаллич. илы и массивные сульфиды.

Морские россыпи (золота, платины, алмазов, касситерита, циркона, монацита, рутила, ильменита, титаномagnetита и др.) формируются в прибрежной зоне шельфов и на пляжах в условиях интенсивного перемыва осадков волнами (естеств. шлихования) либо являются реликтовыми аллювиальными в затопленных морем речных долинах. Наибольшее значение имеют оловоносные россыпи у берегов Индонезии, Таиланда и Малайзии, золотоносные россыпи у Аляски и Тихоокеанского побережья Сев. Америки, алмазосодержащие гравийные отложения у берегов Юго-Зап. Африки (Намибия), редкометалльные прибрежные россыпи на пляжах у берегов Австралии, Индии, Бразилии. Железо-марганцевые конкреции представляют собой стяжения слабо окристаллизов. или аморфных оксигидратов Fe и Mn, на к-рых сорбированы цветные металлы. Поэтому они перспективны как комплексные руды Mn, Si, Ni, Co и др. металлов.

Полиметаллич. руды представлены . металлоносными илами рифта Красного м. с высоким содержанием Zn (до 29%). Si (до 5%), Ад (до 295 г/т), Au (до 5,6 г/т) и массивными сульфидами, обнаруженными в ряде участков рифтовой зоны срединных хребтов Тихого ок. (Восточно-Тихоокеанское поднятие, хребет Хуан-де-Фука, Галапагосский рифт, Калифорнийский зал. и др.). Массивные сульфидные руды содержат (по анализам отдельных образцов) до 55% Zn, до 30% Si, до 1,5% Ад, до 0,79% Ai и образуют небольшие конусовидные или пластовые тела на поверхности базальтов. Образование полиметаллических сульфидных руд связано с высокотемпературными гидротермальными растворами, формирующимися при циркуляции океанских вод по трещинам разогретых молодых базальтов в ходе новообразования океанской земной коры в зонах спрединга.

Из морских россыпей извлекаются руды железа — в Японии (в заливах Токийском и Ариаке) и в Новой Зеландии, платины—в США (в бухте Гудньюс), касситерит — в странах Юго-Вост. Азии: Бирме, Таиланде, Малайзии, Индонезии добывается 100% циркона и рутила, 80% ильменита, более 40% касситерита. Разработка россыпных месторождений ильменита, циркона, рутила и монацита ведётся у побережий США, Норвегии, Индии, Шри-Ланки, Бразилии, Австралии и др. Ок. 95% мирового (без СССР) объёма рутила, 77% циркона, 25% монацита приходится на россыпные м-ния шельфа Австралии; Бразилия поставляет на мировой рынок до 50% добываемого в М.о. монацита. Россыпные м-ния алмазов разрабатывались в разное время в пляжевой и шельфовой зонах у берегов Намибии. В 1975 объём добычи алмазов со дна моря достиг 20% валовой стоимости и 5% объёма мировой добычи,

3.4. ПАРАГЕНЕЗИС МИНЕРАЛОВ.

В процессах осадконакопления, тектоники и магматизма образуются определенные группы месторождений, формирование которых в земной коре происходит в различные металлогенические эпохи. Закономерности регионального размещения месторождений, изучаемые металлогенией, приводят к совместному нахождению определенных химических элементов, минералов и горных пород - парагенетическим ассоциациям. В соответствии с химическими свойствами элементов происходит их совместная концентрация в природных системах. Соответствующие геохимические классификации построены с учетом расположения элементов в таблице Д.И.Менделеева, но, с другой стороны, связаны с генезисом месторождений (табл.3.6.). Парагенезис может быть обусловлен одновременным или последовательным образованием минералов в результате одного процесса а также последовательным образованием их одного из другого путем замещения и т.д. В таблице 3.7 приведены основные парагенетические ассоциации важнейших элементов и минералов, встречающихся в месторождениях полезных ископаемых различных генетических типов [22]. Совместное нахождение элементов в различных минералах связано с определенными физико-химическими процессами.

Парагенезис элементов и минералов, слагающих руды, играет важную роль при поисково-разведочных работах и оценке месторождений полезных ископаемых. Если в дунитах, например, встречен хромит, то возможно нахождение в них и платины. Если габбро содержит пирротин и халькопирит, но в них может присутствовать и никельсодержащий пентландит. В гранитных пегматитах, содержащих кристаллы сподумена, следует искать касситерит. В месторождениях прожилково-вкрапленных руд наряду с сульфидами меди может находиться в промышленных количествах молибденит. В колчеданных пиритных рудах, помимо основных промышленных элементов (Си, Au, Ag, S), постоянно присутствуют Zn, Cd, As и Другие элементы, поэтому необходима комплексная переработка таких руд. Для латеритов характерно наличие в железной руде ценных примесей - никеля и хрома, позволяющих использовать их как природно-легированные руды [22]. Минеральные ассоциации основных типов месторождений цветных металлов приведены в таблицах 3.8-3.26

3.5. Рудные комплексы.

По своей геохимической природе подавляющее большинство разрабатываемых и разведанных рудных месторождений являются комплексными, так как распределение и миграция химических элементов в земной коре приводит к образованию различных по составу кристаллических минеральных соединений. Основные месторождения руд цветных металлов являются комплексными. К таким месторождениям следует отнести: сульфидные медно-никелевые; гидротермальные; медные; свинцово-цинковые; сульфидные касситеритовые [41, 14, 24].

В основной части добываемых руд можно, с известной условностью, выделить группу ведущих компонентов (медь в медных рудах, никель и медь в медно-никелевых рудах и т. п.) и сопутствующих компонентов. Один и тот же компонент может быть в одном типе руд основным, а в другом (или в других) сопутствующим. Лишь немногие ценные компоненты (например, алмазы, плавиновый шпат) имеют единственный источник сырья и практически не имеют сопутствующих ценных компонентов.

По цветной металлургии СССР сделал следующий любопытный анализ:

Число основных промышленных типов руд..... 25 Число ценных компонентов в рудах отрасли 70 Число ведущих ценных компонентов (без учета редкометалльного сырья) 16 Число сопутствующих ценных компонентов (без учета редкометалльного сырья) 36 Доля стоимости сопутствующих компонентов в суммарной стоимости всех ценных компонентов (без учета сырья редкометалльной, золотодобывающей и алмазной промышленности) 35%

Более чем третью часть ценности добываемого сырья составляют сопутствующие элементы, которые могут быть извлечены только при комплексном использовании сырья (табл. 3.27) [22].

Все руды цветных металлов следует рассматривать как комплексное сырье, при переработке которого необходимо разрабатывать технологические схемы и режимы разделения и методы использования всех ценных компонентов.

Металлы, элементы или соединения их в рудах, подвергаемых обогащению, условно могут быть разделены на три категории по следующим признакам [22]:

I категория—основные для данной подотрасли металлы, которые могут быть выделены при обогащении в самостоятельные концентраты. Главной задачей является повышение извлечения их в соответствующие концентраты;

II категория — сопутствующие элементы — цветные металлы не основные для данной подотрасли (например, молибден для медной подотрасли, медь в вольфрам-молибденовой и т. д.), которые также могут быть выделены в виде самостоятельных концентратов или промпродуктов. Обычно содержание в рудах сопутствующих металлов ниже, чем основных, и эти руды относятся, как правило, к труднообогатимым. Резервы повышения извлечения сопутствующих компонентов нередко выше, чем основных металлов подотраслей, так как на технологию извлечения последних обращается наибольшее внимание и она непрерывно совершенствуется;

III категория—некоторые редкие металлы, элементы-спутники (благородные, редкие и редкоземельные элементы), извлечение которых тесно связано с повышением извлечения тех или других основных металлов в соответствующие концентраты, поскольку они не выделяются в виде самостоятельных концентратов.

Комплексная переработка руд цветных металлов позволяет получить попутную продукцию, общая стоимость которой составляет около 30 % стоимости всего товарного выпуска. В СССР на предприятиях цветной металлургии из

минерального сырья сложного состава извлекалось около 70 элементов и производилось около 700 различных видов продукции. На обогатительных фабриках освоены новые комплексные схемы обогащения многих типов руд цветных, редких и благородных металлов, а также налажено производство разнообразной попутной продукции. На обогатительных фабриках выпускалось около 30 наименований продукции. Кроме основных концентратов, из редкометальных руд выделяют: кварцевые пески, полевошпатовый продукт, дистен-силлиманитовый, слюдяной и ставролитовый концентраты. В медной подотрасли получали 7 видов концентратов: медный, цинковый, пиритный, молибденовый, магнетитовый, свинцовый, баритовый. На фабриках свинцово-цинковой подотрасли, кроме свинцового и цинкового концентрата, получали медный, пиритный, баритовый, оловянный концентраты и золотосодержащий продукт.

Оловянная и вольфрам-молибденовая подотрасли получали по 6 видов продукции, в том числе концентраты: медный, цинковый, свинцовый, вольфрамовый, оловянный, флюоритовый (оловянная подотрасль) и медный, молибденовый, вольфрамовый, оловянный, висмутовый (вольфрам-молибденовая подотрасль).

Выделение сопутствующих элементов, например молибдена из некоторых медно-молибденовых порфировых руд, меди из свинцово-цинковых, меди и висмута из вольфрам-молибденовых и оловосодержащих руд, в одноименные концентраты или промпродукты возможно при очень низких содержаниях этих элементов в исходных рудах. Золото и серебро в большинстве случаев концентрируются в медном, свинцовом, и цинковом концентратах. Медь в основном теряется с отвальными хвостами и пиритными концентратами. Значительны еще потери цинка с медными концентратами. Потери олова с сульфидами составляют 10-14%.

Пиритные концентраты используются как сырье для получения серной кислоты, но при этом проблемы переработки их с целью извлечения всех ценных компонентов еще не решены и содержащиеся в них цветные, редкие и благородные металлы теряются безвозвратно. Недостаточно высокое содержание железа в пиритных огарках и наличие в них вредных примесей (цинка, свинца, мышьяка и др.) сдерживают их использование в железорудной промышленности. Из пиритных концентратов извлекают в основном серу, остальные ценные компоненты (железо, медь, цинк, золото, серебро, селен, теллур, кадмий, таллий) извлекают при обогащении и металлургии неполно и в ограниченном масштабе.

Комплексность при обогащении определяется не только извлечением цветных, редких и драгоценных металлов, но и выделением при обогащении в виде товарной продукции неметаллических ценных полезных ископаемых. Например, на фабриках, перерабатывающих баритсодержащие руды, дополнительно получают баритовые концентраты для химической и нефтяной промышленности, на фабрике Верхне-Днепровского ГМК—дистен-силлиманитовый концентрат и кварцевые пески для литейного производства. На некоторых фабриках получают песок, гравий, слюдяные и полевошпатовые концентраты. Почти на всех фабриках, перерабатывающих пиритсодержащие руды, получают пиритные концентраты [41].

Необходимо отметить, что правомерно и более широкое понятие комплексности, предусматривающее совместное использование в технологии энергетических ресурсов и микрокомпонентов, улучшающих плодородие почвы, использование шахтных вод и т. д. Так, хвосты молибденовых обогатительных фабрик могут играть роль микроудобрений.

Повышение комплексности использования ресурсов цветных металлов приводит к одновременному увеличению ресурсов для других отраслей серосодержащего сырья, содопродуктов и удобрений для химической промышленности; строительных материалов для строительной индустрии; железа (в том числе в ферроникеле) для черной металлургии; топлива (благодаря энергии сжигания сульфидов) для топливно-энергетических отраслей.

Важным условием комплексности использования руд цветных металлов является извлечением редких элементов. Элементы относимые к группе редких, составляют почти половину периодической системы элементов Менделеева, хотя составляют около 0,2% земной коры. Собственно крупные м-ния большинства редких элементов встречаются *редко*.

Крупные и уникальные по запасам м-ния редких металлов с содержаниями, достигающими целых процентов (ниобий, литий, бериллий) и десятков процентов (стронций) сопоставимы, а иногда превосходят м-ния традиционных п. и. (напр., меди, свинца, цинка и др.). Поэтому такие элементы являются редкими не столько по распространённости в земной коре, сколько по уровню их промышленного использования. Ранее относимые к РЭ олово, вольфрам, молибден, сурьма, ртуть и др. элементы с развитием производства и их использованием стали традиционными и теперь к числу редких не относятся.

М-ния и их типы отличаются большим разнообразием, что обусловлено широким спектром РЭ и тем, что для образования промышленных скоплений необходимы сравнительно невысокие концентрации РЭ, а также комплексным характером оруденения, делающим даже невысокие концентрации РЭ промышленно значимыми. В табл. 3.28 приведены основные типы руд и источники получения редких металлов, но этим не исчерпывается всё их многообразие.

Исходя из формы нахождения элементов редкие руды могут быть подразделены на руды, в к-рых РЭ присутствуют в виде собственных редкометалльных минералов и составляют их основную промышленную ценность, и руды, используемые для получения широко распространённых металлов и неметаллов, в которых РЭ присутствуют в виде изоморфных примесей и извлекаются как попутные компоненты.

Руды собственно редкометалльных м-ний образуют комплексные месторождения. Напр., редкометалльные пегматиты обычно содержат в своём составе тантал (в тантало-ниобатах), литий (в сподумене, петалите, слюдах), бериллий (в берилле, слюдах), иногда цезий (в поллуците и слюдах), олово и тантал (в касситерите) и по существу являются их месторождениями. Комплексными являются не только руды, но и многие рудные минералы (напр., лопарит — источник получения тантала,

ниобия, титана, редких земель; колумбит содержит в своем составе тантал, ниобий, уран, торий).

Рассеянные (trace) элементы (рубий, кадмий, скандий, галлий, индий, таллий, германий, гафний, ванадий, селен, теллур, рений встречаются в природе главным образом в виде примеси в различных минералах и извлекаются попутно из руд благородных металлов или полезных ископаемых (углей, солей, фосфоритов и пр.).

Кадмий, галлий, таллий и индий часто встречаются в свинцово-цинковых и полиметаллических рудах. Галлий больше всего концентрируется в пирите, сфалерите и галените. Касситеритовые полиметаллические руды являются источником получения индия. Свинцово-цинковые руды содержат главным образом индий и таллий. Различные виды алюминиевого сырья (бокситы и нефелины) являются носителями галлия.

Минералы рассеянных элементов в природе встречаются крайне редко. Возможны различные механизмы и формы вхождения рассеянных элементов в минералы: изоморфное замещение "ведущего" элемента (напр., гафний в циркониевых минералах); сорбирование примеси на поверхности "землистых" (аморфных) минералов (например, ванадий в монтмориллоните); расположение рассеянных элементов в дефектах кристаллических решеток; образование металлорганических соединений (например, в углях) и микроминералов (например, теллуриды в пирите). Специфические геохимические особенности рассеянных элементов являются сравнительно низкое среднее содержание как в земной коре в целом, так и в отдельных породах, а также наличие у рассеянных элементов геохимических аналогов среди широко распространенных породообразующих или рудообразующих элементов, к которым они близки по ряду свойств (К - аналог Rb, Zn - Cd, S - аналог Se и Te и т.д.). Самостоятельные минералы рассеянных элементов могут образовываться только в тех случаях, когда из-за разницы в растворимости, летучести соединений, окислительно-восстановительных потенциалах, в способности к комплексообразованию или к сорбции и т.п., в природных процессах происходит разделение рассеянных элементов и их широко распространенных геохимических аналогов. Так, например, рений, являющийся геохимическим аналогом молибдена, может образовывать свои собственные минералы (дзезказганит) только при отсутствии значительных количеств Мо, что наблюдается в медистых песчаниках. Аналогично кадмий, геохимический аналог цинка, в глубинных зонах всегда рассеивается в цинковых минералах, но в зоне окисления происходит разделение кадмия и цинка, последний выносится, а кадмий накапливается в форме своих собственных соединений [монтупонит (CdO), гринокит (CdS), отавит (CdCO₃), селенид (CdSe)].

Рудами рассеянных элементов могут являться минералы: нефелин (Rb, Cs, Ga), апатит (Sr, TR), биотит (Li, Cr, Rb, Tl, Ga), светлые слюды (Li, Rb, Cs, Tl, Ga), титаномагнетит, ильменит (Sc, V), касситерит (Sc, In, Ga, Ta, Nb), вольфрамит (Sc, Ta, Nb), сфалерит (Cd, In, Ga, Tl, Ge), галенит (Cd, Tl, Se, Te, Bi, Ag), халькопирит (Cd, In, Se, Te, Re, Ni, Pd, Pt, Rh, Ir, Ru, Os, Co, Bi), молибденит (Re, Se, Te), пентландит (Pd, Pt, Rh, Co, Se, Te), антимонит, киноварь (Tl, Se). Рассеянные

элементы в большей или меньшей степени проявляют халькофильные (селен, теллур, рений, германий, кадмий, индий, таллий, галлий), литофильные и сидерофильные (ванадий, германий, скандий, родий, рубидий), органофильные (германий, ванадий и др.) и гидрофильные (рубидий) геохимические свойства. Геохим. особенности элементов определяют их металлогению и приуроченность к определённым геол.-геохим. группам и типам м-ний. М-ния литофильной гранитоидной группы. В редкометалльных гранитах и пегматитах концентрируются Rb (0,01% в мусковите и биотите, до 4,5% в лепидолите), Sc (до 0,17% в касситерите), Bi (до 0,16% в касситеритовых и вольфрамовых рудах), *Tl, Ga, Rb* (0,001—0,01% в слюдах), In (от 0,0 до 0,01% в касситерите), Ge (0-200 в топазе).

М-ния литофильно-халькофильной группы несут более широкий комплекс концентраций элементов-примесей. Различаются м-ния оловянной, свинцовой, цинковой, серебряной, молибденовой, медной, ренийевой, золотой и др. минерализаций. Касситерит-сульфидные и касситерит-силикатосульфидные м-ния обогащены индием (его содержание в сфалерите и халькопирите 1%, в стаинине до 0,15%); галенит-сфалеритовые м-ния в *скарнах* характеризуются повышенными концентрациями кадмия в сфалерите; висмута, селена, теллура в галените. М-ния одной, тем более разных металлогенич. провинций значительно отличаются содержанием рассеянных элементов. В молибденит-халькопиритовых м-ниях порфирового типа наибольший интерес представляют рений (в молибдените), селен и теллур (в халькопирите). Концентрации *рения и др.* элементов-примесей находятся в прямой зависимости от отношения Mo:Cu. Среднее содержание селена и теллура в минералах в осн. подчиняется той же закономерности. Бедные медью гидротермальные молибденовые месторождения характеризуются более низкими концентрациями селена и теллура, а также рения.

Месторождения халькофильной группы имеют сходные с м-ниями литофильно-халькофильной группы комплекс редких элементов-примесей при гораздо более низких содержаниях индия, теллура, висмута. Галенит-сфалеритовые стратиформные месторождения содержат неизменное количество германия, галлия, таллия, индия, иногда серебра в сфасфоритах, а также примесь таллия, серебра и сурьмы в галените, таллия и мышьяка в сульфидах железа. Наибольший интерес представляет германий, содержание к-рого в рудах прямо зависит от количества цинка. Нередко германием обогащены мелкозернистые тёмные сфалериты ранних генераций. Борнит-халькозиновые (халькопиритовые) стратиформные месторождения могут концентрировать рений, величина концентрации и форма нахождения к-рого зависят от особенностей минерального состава руд и степени их метаморфизма. Отношение Re:Cu по мере увеличения степени изменения руд значительно снижается:

$1 \times 10^{-2-3}$ % в практически неметаморфизованных (Предсудетское и др., ПНР) и в слабометаморфизованных (Джезказганское, СССР) м-ниях; 1×10^{-6} % в сильно метаморфизованных (Удоканское, СССР). Концентрация рения особенно характерна для борнитовых руд. Галенит-сфалерит-халькопиритовые колчеданно-полиметаллические м-ния в эффузивно-осадочных породах несут широкий

комплекс элементов-примесей, среди к-рых повышенными концентрациями характеризуются селен и теллур. Высокое содержание селена характерно для галенита, медистых, свинцово-цинковых и барит-свинцово-цинковых РУД: содержание теллура более равномерное. Коэфф. концентрации кадмия, индия, таллия, германия, галлия в главных рудо-образующих минералах рассматриваемых м-ний обычно менее 1. Халькопирит нередко обогащен индием. Колчеданно-полиметаллич. руды, залегающие в сланцах, содержат более низкие концентрации тех же элементов.

М-ния халькофильно-сидерофильной группы содержат повышенные концентрации селена, теллура, кобальта, родия. Селен, теллур, родий, рутений, иридий, осмий распространены, а халькопирит-пирротин-пентландитовых магматических м-ниях. Самые низкие содержания этих элементов отмечаются в сильно метаморфизованных м-ниях, формировавшихся в сложной тектонической обстановке, а максимальное — в рудах платформенных областей. В этих м-ниях нередко присутствуют теллуриды золота, серебра, свинца, никеля, платины и палладия, иногда селениды; встречается холлингуортит и родийсодержащие пентландит, кобальтин и герсдорфит. Халькопирит-пиритовые (пирротиновые) колчеданные м-ния обогащены селеном, теллуrom, германием, содержат кадмий, индий, таллий, галлий. Селен распределён в рудах равномернее теллура. Высокое содержание селена в пирите характерно для серно-колчеданных м-ний. Наибольшее содержание теллура отмечается при неравномерном его распределении в медных рудах и представлено теллуридами Вi, Ад, Аи, Нд и др. В современных донных сульфидных залежах (Тихий ок., басс. Красного м.) концентрируется тот же комплекс элементов-примесей. М-ния сидерофильной группы концентрируют ванадий, иногда германий и скандий. Железомарганцевые океанич. конкреции концентрируют ванадий, родий, кадмий, таллий, галлий и др.

М-ния литофильно-сидерофильной группы обогащены соответствующими элементами. Железотитановые м-ния анортозитового и габбрового типов и их россыпи содержат ванадий, скандий. Содержание скандия уменьшается по мере увеличения кислотности материнских пород. В нефелине агпаитовых и др. нефелинсодержащих породах присутствуют рубидий и галлий. Степень концентрации рубидия и галлия в нефелине снижается от щелочно-гранитоидной к щелочно-габброидной формации. Циркониевые минералы из щелочных пород и карбонатитов содержат гафний.

Концентрации галлия, ванадия и скандия типичны для бокситов. Содержание галлия несколько увеличивается от палеозойских бокситов к мезозойским и кайнозойским; скандия — в бокситах по основным породам, а среди генетических типов бокситов — для геосинклинального и осадочного платформенного.

Экзогенные м-ния органофильной и гидрофильной групп (фосфориты, соли, угли, горючие сланцы, битумы, нефть, минерализованные воды) характеризуются своим набором рассеянных элементов. В фосфоритах и фосфоритсодержащих породах концентрируются ванадий, скандий, редкоземельные металлы, стронций, рений, селен; в карналлитах — рубидий. При низких кларковых содержаниях германия в

углях встречаются крупные локальные полигенные концентрации германия ($n \times 10^2$ г/т), для них характерна также обогащённость селеном и др. Широким набором элементов-примесей (ванадий, кадмий и др.) характеризуются некоторые черные сланцы. Концентрация рения в них нередко превышает среднее содержание его в земной коре более чем в 100 раз. Высокое содержание рения характерно для твёрдых битумов, особенно из зон дробления и из районов проявления рудной минерализации (медной, флюоритовой). В асфальтитах концентрируется ванадий, в нефти — рений. В хлоридных артезианских водах содержание рубидия меняется в зависимости от типа и степени минерализации вод от 0,2 до 32 мг/т. Отмечается увеличение общей минерализации вод и в какой-то мере концентрации рубидия с глубиной и по классам от серно-хлоридно-кальциево-натриевых к хлоридно-магниевых-кальциевым водам. Приблизительные сырьевые запасы рассеянных элементов (т металла): ванадий, рубидий, галлий — 10^6 ; кадмий, германий, скандий, индий, таллий, селен, теллур — 10^5 — 10^4 ; рений, гафний, родий — 10^3 — 10^2 . Возможные сырьевые ресурсы (т): ванадий, рубидий — 10^8 ; скандий — 10^7 ; германий — 10^6 ; кадмий, индий, селен — 10^5 ; теллур, рений — 10^4 . Ежегодное произ-во и потребление составляет (т): ванадий, кадмий — 10^4 ; селен — 10^3 ; теллур — 10^2 ; германий, индий, таллий, галлий, рений — 10.

3.5. Техногенные руды non-ferrous metals.

Техногенным сырым цветной металлургии являются:

а) Отходы обогащения руд, как цветных металлов, так и другого сырья. Повторная переработка хвостов обогащения для извлечения тех же компонентов широко практикуется, особенно для руд благородных металлов. Так золотосодержащие россыпи на Дальнем Востоке (Шикотан) перерабатывается старателями в 3-ий и 4-ый раз. Для сульфидных руд такая практика менее распространена, несмотря на то, что содержание металлов в хвостах 10-15 летней давности становится сопоставимым с содержанием их в рудах данного месторождения. Однако, анализ, например, Казахстанских хвостохранилищ показал, что в хвостохранилищах, даже на значительной глубине (10-20 м) происходит интенсивное бактериальное выщелачивание сульфидов с последующим вымыванием цветных металлов (в виде гидроокисей). Остаточная концентрация через 10-15 лет составляет менее 10% исходной.

Поэтому, организация выщелачивания хвостов непосредственно после их сброса в хвостохранилище имеет смысл.

Из других типов руд извлечения цветных металлов целесообразно извлекать непосредственно при переработке.

Железные руды магматического, контактово-метасоматического (скарнового), гидротермального генезиса, помимо основного элемента—железа, входящего в состав главных рудных минералов (магнетита, гематита и, реже, сидерита), содержат в значительных количествах попутные минеральные образования и

сопутствующие ценные компоненты: серу, кобальт, никель, ванадий, медь, цинк, свинец, золото, серебро и изоморфные примеси селена, теллура, кадмия и германия.

Такие руды отличаются от полиметаллических тем, что важнейшие попутные компоненты (сера, кобальт, медь, цинк, свинец) связаны не с главным минералом—магнетитом, а с сульфидами (пиритом, пирротинном, марказитом, сфалеритом, халькопиритом, галенитом), которые при простой магнитной схеме обогащения переходят в хвосты, а затем в коллективный сульфидный концентрат.

При переработке комплексных магнетитовых руд содержание кобальта, меди и серы в коллективном сульфидном концентрате увеличивается по сравнению с содержанием их в исходной руде в 20—25 раз, а меди в 10—20 раз. Полученный по простой схеме обогащения коллективный сульфидный концентрат является самостоятельной рудой высокого сорта с содержанием серы 45—50%, кобальта 0,2—0,4%, меди 0,7 - 1,2 %.[11. 27].

б) Важным сырьевым резервом комплексного использования сырья являются отходы производств (шлаки, пыли и т.п.), в которых содержание ценных компонентов может превышать содержание их в рудах. Относительное содержание ведущих ценных компонентов в некоторых отходах и промпродуктах цветной металлургии (среднее содержание металла в рудах подотрасли принято за единицу) характеризуется следующими данными [22]:

Медная подотрасль

Отвальные шлаки отражательной плавки.	1,05 - 1,4 Zn
Конверторные шлаки.	1.5 - 2 Cu
Тонкая пыль: шахтных печей	6 Cu; 5,5 Zn
обжиговых печей	3,64 Cu; 9 Zn; 2,5 Au; 11,4Ag
конверторная.	2,1Cu; 15,7Ag

Свинцово-цинковая подотрасль

Цинковый осадок	2,9 Pb; 7,3 Zn; 6,5 Ag
Пыль свинцовая	30,4 Pb; 3,9 Zn; 1,3 Cu; 4,4 Ag
Шлаки отвалы	4,5 Zn

Никель-кобальтовая подотрасль

Осадок отвальный	5,3 Co; 0,4 - 0,7 Ni
Хвосты флотации.	1,75 Co

Почти все серебро, висмут, платина и платиноиды, а также более 20 % золота, около 30 % серы получают «попутно» из комплексных месторождений полезных ископаемых. Редкие и рассеянные элементы могут быть получены только из комплексных руд цветных и черных металлов, угля и нерудного сырья. Они, как правило, не образуют самостоятельных месторождений и могут быть извлечены из минерального сырья на стадии обогащения или металлургического передела. Так, основным источником получения германия являются золы ТЭЦ и некоторые сульфидные руды. Наиболее ценными для получения германия являются железные

руды вулканогенно-осадочных месторождений. Основными носителями германия в железных рудах являются магнетит и мартит.

В углях каменноугольного, пермского и мезозойского возраста содержится от 2 до 10 г/т германия [26]. В медных порфировых, медно-молибденовых рудах и медистых песчаниках содержатся рений и селен. Содержание селена в медных сульфидных рудах достигает 10—80 г/т, а в медных порфировых 3—10 г/т. В медном концентрате содержание теллура составляет 25—35 г/т, в пиритном 15—20 г/т, в свинцовом 50—60 г/т и цинковом 25—30 г/т.

с) В результате повышение комплексности использования топливно-энергетических ресурсов может в значительной мере увеличить ресурсы цветных и редких металлов.

Изменение сырьевой базы имеет особое значение для производства алюминия и серы. Запасы алюминия в земной коре весьма значительны, его кларк составляет 8,8%, по распространенности алюминий занимает третье место (после кислорода и кремния). Тем не менее только в XX в. началось массовое использование алюминия на основе бокситов, запасы которых сейчас уже весьма ограничены. Естественно, алюминия достаточно много содержится в отходах. Получение его из бокситов обходится значительно дешевле, чем из другого сырья. Но зато при комплексной переработке золы уноса (fly ash) электростанций, нефелинов, каолинов получают цемент и другие стройматериалы, редкие металлы, продукты основной химии. В целом такое комплексное производство не менее рентабельно. А если учесть стоимость хранения отходов, занимаемые ими полезные площади и истощение бокситовых месторождений, то развитие производства алюминия, безусловно, следует ориентировать на отходы [6].

В золе от сжигания мазута может содержаться 5-13% ванадия.

При сжигании пирита и пирротина кроме серной кислоты (ради которой перерабатываются руды) можно получать значительное количество золота, серебра, меди, цинка, селена, теллура, железа.

d) Цветные металлы содержатся во многих отработанных, морально и физически устаревших агрегатах, установках, машинах и т.п. Первоочередными источниками являются:

- Катализаторы, содержащие платину, кобальт, титан и др.
- Электротехнические кабели, провода, обмотки двигателей и т.п., содержащие медь, алюминий, свинец и др.
- Электронный лом содержащий золото, платину, серебро, палладий, медь, алюминий, свинец и др.
- Сплавы и легированные стали, гальванические покрытия и т.п.
- Машины, станки, агрегаты машиностроения и т.п.
- Бытовые, медицинские, строительные отходы, и др.

3.6 Рудные тела.

Рудное тело (ore body)- ограниченное со всех сторон естественное накопление руды, приуроченное к определенному структурно-геологическому элементу или комбинации таких элементов.

Рудная зона(ore zone) - полоса распространения горных пород, содержащая скопления рудных минералов в форме неправильных масс, жил, систем прожилков и участков вкрапленников.

Морфологическая классификация рудных тел (по форме) (табл.3.29) наряду со структурой и текстурой горных пород (табл.3.30) определяют систему разработки месторождения.

Все генетические типы месторождений подвержены тектоническим нарушениям, деформации при складчатых нарушениях имеют пластический характер и приводят к образованию складок. Во втором случае деформации горных пород сопровождаются нарушениями их сплошности, т.е. образованием разрыва. В третьем случае горные породы подвержены как пластическим, так и разрывным деформациям.

К группе разрывных нарушений относят сбросы, взбросы, сдвиги, сбросо-сдвиги, ступенчатые сбросы, грабены и горсты. Складчато-разрывные нарушения представлены чешуйчатыми складками и надвигами.

Положение рудной зоны определяется тектоническими., стратиграфическими. и литологическими. элементами. Рудные зоны тектонического характера связаны с участками повышенной тектонич. деформированности - разлома, смятия, дробления, трещиноватости. Рудные зоны стратиграфич. происхождения возникает вследствие скопления рудного вещества в пределах того или иного пласта или свиты пластов, занимающих стратиграфич. положение в толще осадочных пород. Рудные зоны. литологич. характера связаны с породами, состав которых благоприятствует рудной концентрации. Обычно Рудные зоны имеет форму плиты изменчивой ширины, вытянутой в одном направлении в плане и погружающейся под тем или иным углом в глубь Земли. Размеры рудных зон колеблются в широких пределах, достигая нескольких десятков км по длине.

К элементам залегания относятся: простирание, глубина залегания, падение и угол падения пласта, его мощность. Элементы залегания определяют положение рудного тела (пласта) в пространстве

Линией простирания залежи называется направление горизонтальной линии на поверхности пласта (слоя, жилы, плоскости разрыва и т. п), определяемое горным компасом относительно меридиана Характеризуется двумя азимутами простирания, отличающимися друг от друга на 180° , обычно указывается только один из них.

Глубиной залегания в данной точке залежи считается вертикальное расстояние от земной поверхности до самой нижней точки висячего бока залежи.

Линией падения называется наибольший наклон пласта (слоя, жилы, поверхности разрыва и др , геологических тел и поверхностей), определяемый относительно горизонтальной плоскости и стран света. Характеризуется азимутом падения и углом падения.

Месторождения по углу падения делятся на горизонтальные (от 0 до 3°), пологопадающие (от 3 до 30°), наклонные (от 30 до 45—50°) и крутопадающие (свыше 45—50°)

Мощность рудного тела изменяется от десятков сантиметров до километра и более. Различают *рудные тела*: *маломощные* — мощностью до 5 м, в том числе тонкие — мощностью меньше 0,6—0,8 м, при выемке которых обязательно подрабатывают вмещающие породы: *средней мощности* — от 5 до 10—15 м, в которых располагают выемочные блоки длинной стороной по простиранию залежи (разработка по простиранию); *мощные* — мощностью более 10—15 м, при которой выемочные блоки располагают длинной стороной вкрест простирания (разработка вкрест простирания), в том числе весьма мощные — мощностью более 50—80 м, при которой в крупных залежах разделяют этаж на блоки не только по простиранию, но и вкрест простирания, а пологую залежь обычно разделяют на этажи.

По устойчивости горные породы классифицируют:

Очень неустойчивые. Плывуны, сыпучие, рыхлые породы. Не допускают обнажения кровли и боков выработки, требуют применения опережающей крепи.

Неустойчивые. Допускают небольшие обнажения кровли, но требуют прочного поддержания ее вслед за выемкой.

Средней устойчивости. Допускают обнажение кровли на сравнительно большой площади (до 200 м), но при длительном обнажении требуют поддержания.

Устойчивые. Допускают обнажение кровли и боков на большой площади (до 500 м) и нуждаются в поддержании только в отдельных местах.

Очень устойчивые. Допускают огромное обнажение (до 1000 м) как сверху, так и с боков и длительное время (годы и десятки лет) могут стоять, не обрушаясь, без поддержания.

Трещиноватость ГОРНЫХ ПОРОД.

Трещиной называют плоский разрыв сплошности среды, величина которого на порядок и более превосходит межатомные расстояния в кристаллической решетке (10^{-10} м). Трещины по величине бывают трех порядков (табл.3.31) Трещины первых двух порядков возникают в основном в процессе диагенеза осадков или кристаллизации магм, их ориентирование в общем случае хаотично. Эти трещины определяют сопротивляемость пород процессам бурения и дробления. Во многих случаях необходимо оценивать **технологические свойства** горных пород (technological properties of rocks) характеризующие реакцию на воздействие на них различных инструментов (напр., буровых), механизмов (напр., экскаваторов) или технологических процессов (напр., взрыва).

Технологические параметры горных пород подразделяются по принадлежности к определенным процессам воздействия: характеризующие общую разрушаемость механич. способом, напр. твердость, крепость, вязкость, дробимость; характеризующие разрушаемость определенными механизмами, напр. буримость, сопротивляемость резанию, взрываемость, оценивающие воздействие породы на инструмент, напр. абразивность; устанавливающие производительность или

эффективность различных процессов, напр. обогатимость, флотуемость, устойчивость в отвалах

Как с точки зрения разработки так и обогащения руд различаются коренные и россыпные месторождения.

Коренные месторождения полезных ископаемых (primary deposits) - первичные скопления минерального вещества в недрах, не подвергшиеся преобразованию и разрушению близ земной поверхности. Они образуют пластовые, жильные и иной формы тела минерального сырья, залегающие, как правило, среди коренных пород, требующих применения взрывных работ при их эксплуатации.

В отличие от них россыпные месторождения находятся среди рыхлых пород склонов, речных и прибрежно-морских или океанских отложений и разрабатываются без взрывных работ. К.м. - источник россыпей, которые размещаются по соседству; такое совместное нахождение особенно характерно для месторождений золота, платина, алмазов, вольфрама, олова.

Особое значение имеют для России условия разработки Северных месторождений. Как правило, в связи с транспортными издержками, трудностями обустройства территорий, оплатой труда и др. факторами, удельные капитальные вложения на Крайнем Севере в 3-8 раз выше, чем в благоприятных районах. Практикуется использование автозимников-транспортных артерий, работающих 7-8 месяцев в году, снежно-ледяных аэродромов. Трубопроводы легче прокладывать в заболоченных местах при низкой температуре.

В районах многолетней криолитозоны повышена устойчивость горн. пород, что позволяет снизить расход крепежных материалов при горн. работах.

Подземная разработка месторождений ведется с учетом повышенной несущей способности и устойчивости мерзлых пород, отсутствия притоков воды, малой газоносности и низкой интенсивности окислительных процессов. Работы осложнены низкой электропроводностью мерзлых пород, исключающей применение обычных способов заземления, смерзанием добытого п.и. и др.

В глубоких карьерах работа осложняется туманами, повышенной запыленностью воздуха и содержанием в нем вредных примесей. Работа землеройной техники требует предварительной подготовки мерзлых пород. Продолжительность промывочного сезона при разработке россыпей драгами составляет в среднем 160-200 сут. Период работы экскаваторов на вскрыше ограничивается 240-260 сут. Специфика бурения глубоких скважин в районах крайнего Севера. - добавление в буровые растворы хлорида натрия, использование глинистых растворов повышенной вязкости для укрепления стенок скважин. При цементировании скважин в мерзлоте для сокращения времени схватывания в цемент добавляют хлорид кальция или жидкое стекло.

Выработки вскрытия подразделяются на основные, имеющие выход на поверхность, и подземные, не имеющие выхода на поверхность.

Расположение вскрывающих выработок относительно месторождения может быть: по месторождению, в породах лежащего или висячего боков, в центре и на фланге.

Вскрытие основных, концентрационных и промежуточных горизонтов, как правило, осуществляется этажными квершлагами. При горизонтальном залегании месторождения вскрытие может быть без квершлагов (при пересечении месторождения стволом).

Шахтные стволы разделяются по основному назначению: рудоподъемные, породоподъемные, воздухоподающие, вентиляционные, вспомогательные (для спуска и подъема людей, оборудования, материалов, подачи закладки в рудник). Воздухоподающие стволы оборудуются, как правило, только установкой для спуска крупногабаритного оборудования (электровозы, вагоны, самоходное оборудование, дробилки и др.).

Пространственное расположение основных вскрывающих выработок по отношению к залежам, поверхности и в породном массиве), а также их конструктивных параметров (шаг вскрытия, высота этажа, число этажей в шаге вскрытия, длина шахтного поля) основываются на учете геологических условий, элементов залегания и порядка разработки (восходящий или нисходящий, от центра шахтного поля или от его границ); способа разработки (с обрушением вмещающих пород, оставлением целиков или с закладкой выработанного пространства); эффективной технологической схемы добычи (с выдачей руды по вертикальным скиповым стволам или по наклонным конвейерным стволам; транспортированием по подземным выработкам руды применением рудо- и породоперепускных систем и дробильно-перегрузочных комплексов); способа и схемы проветривания.

Рудные тела, залегающие на глубине до 500-600 м, вскрывают вертикальным скиповым рудоподъемным стволом, наклонным съездом для самоходного оборудования и автотранспорта, вертикальным скиповым рудоподъемным стволом, наклонным съездом для самоходного оборудования и автотранспорта, вертикальным вентиляц. стволом (рис.1). При установлении величины первого этапа (шага) вскрытия учитывается возможность использования самоходного оборудования, перемещаемого в шахту и из него на поверхность по наклонным съездам (на рудниках CIS оно способно преодолевать наклоны с углами не св. 8-10 в выработках протяженностью более 1-1,5 км).

Схема вскрытия крутопадающего рудного тела, залегающего на глубине более 600 м, предусматривает проведение вертикального скипового рудоподъемного ствола, вертикального грузового, оборудованного кабель-краном с грузовой площадкой и слепым наклонным съездом (рис.2). На рудниках, разрабатывающих крутопадающие залежи, применяют схемы поэтажного вскрытия и поэтажной разработки (рис.3).

Наклонные и пологие мощные рудные тела (до глуб.600 м) их вскрывают наклонным конвейерным рудовыдачным стволом, наклонным трансп. съездом и вертикальным вентиляционным стволом (рис.4). Для глубины более 600 м предусмотрен проведение наклонного конвейерного и вертикального

вентиляционного стволов, а также вертикального грузового ствола с кабель-краном с грузовой площадкой (рис.5).

Пологие и горизонтально залегающие рудные тела на глубину 70-300 м вскрывают наклонным конвейерным рудовыдачным, вертикальными вспомогат.-вентиляц. стволами или вертикальными вентиляц. скважинами (рис.6).

Близко расположенные зоны оруденения и отд. залежи, существенно отличающиеся минеральным составом полезных компонентов в рудах, возможно, а иногда технически необходимо вскрывать и разрабатывать совместно из единой сети выработок в одном шахтном поле с формированием неск. рудопотоков (рис.7).

3.7..Разработка рудных месторождений.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ (flowsheet of a mine) должна учитывать параметры рудного тела: форму, размеры и глубину залегания полезных толщ, наличие п. и. различных видов и сортов. Производств. мощность рудника, параметры выемочной единицы, тип применяемого оборудования, очерёдность разработки отдельных. участков м-ния, особенности использования выработанного пространства влияют на формирование технологической схемы. Крепость и устойчивость руды определяют тип применяемого оборудования и параметры выемочной единицы (комбайновая или взрывная отбойка, высота отбиваемого слоя и т. д.), запасы м-ния определяют производств. мощность горн. предприятия.

Технологическая схема должна взаимосвязано определять вскрытие, подготовку шахтного поля, систему разработки и механизации очистных работ, транспорта, подъёма, вентиляции, энергоснабжения, водоотлива. Процессы (и их составляющие) могут быть одинаковыми (способ отбойки, доставки, транспорт, подъём, аккумулирующие и перепускные выработки, системы канализации, энергии и ДР.). Реализация вспомогательных процессов (вентиляции, энергоснабжения и водоотлива) в значительной. мере связана с теми же выработками, в к-рых осуществляются основные процессы.

Вскрытие месторождения. *Рельеф местности* в значительной степени определяет схему вскрытия. Моря, реки, озера, заболоченная поверхность, горы, железная дорога и т. п. влияют на выбор места заложения вскрывающих выработок, сооружений поверхности, а также на размер шахтного поля. Для вскрытия рудных тел, залегающих под дном океана, моря или озера, применяют наклонные стволы, которые закладывают с берега материка или острова под углом от 4—8 до 30° и более в зависимости от типа подземного оборудования в стволе.

Неустойчивые и обводненные вмещающие породы усложняют проходку наклонных стволов и заставляют в этих случаях от них отказываться. В случае высокогорных месторождений большую роль играет разница высотных отметок месторождения и прилегающей долины, которая может быть использована для гравитационного транспорта руды, устройства поверхностных бремсбергов и подвесных канатных дорог.

В сейсмоопасных высокогорных районах землетрясения сопровождаются оползнями и обвалами пород со склонов гор в нижележащие части ущелий. Это

часто ведет к разрушению порталов, участков туннелей и штолен длиной до 80—100 м, что требует усиленного их крепления. Морфология месторождения в определенной степени влияет на размер шахтного поля и место заложения вскрывающей выработки.

РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ - комплекс взаимосвязанных процессов горн. производства по извлечению руд из недр Земли с последующим извлечением металлов из этой руды.

Различают способы:

- шахтный - с помощью системы подземных горных выработок (ПОДЗЕМНАЯ РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ)
- карьерный, или открытый для россыпей и коренных месторождений близко расположенных к поверхности Земли (ОТКРЫТАЯ РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ п.и.)
- геотехнический - с использованием выщелачивающих растворов
- морской, связанный с работами ниже уровня моря.

ПОДЗЕМНАЯ РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ (underground mining) основана на проходе шахтных стволов, квершлагов и штолек. Для очистной выемки проходят штреки, уклоны, бремсберги, восстающие, орты, которыми вскрытая часть месторождения разделяется на обособленные выемочные участки (этажи, блоки, панели, камеры, столбы), предусмотренные принятым способом подготовки и системой разработки, выработки буровые, погрузочно-доставочные, подсечки, вентиляционные, отрезные восстающие и другие, обеспечивающие выемку п.и.

Для подземных работ отмечена тенденция к углублению в недра, вплоть до организации сверхглубоких шахт и рудников. В 80-е гг. годовое понижение горн. работ составило от 10 до 40 м, а интенсивность выемки пологих месторождений почти удвоилась. На некоторых шахтах глубина горных работ понизилась до 800-1000 м и более (табл.3.32).

Таблица 3.32

Условия подземной разработки на некоторых шахтах.

-----Т-----Т-----Т-----Т-----				
Шахта (рудник), страна	Вид полезного ископаемого	Мощность 'полезной' толщи, м	Угол падения 'залежи', град	Глубина разра- ботки, м
-----+-----+-----+-----+-----				
"СУБР" (Урал)	Бокситы	10	25	830
"Октябрьский" (Норильск)	Медь, никель	22	15-20	1200- 1600
"Текелйский" (Алтай)	Свинец, цинк	30	70	950
"Колар", Индия	Золото	1,7	85	3300
"Ист-Ранд", ЮАР	Золото	0,1-3	5-30	3500
"Крайтон", Канада	Медь, никель	20-30	70-80	2135

"Стар-Моринг", США |Цинк, свинец, 3 70-80 2250
|серебро

-----+-----
Подземная разработка руд цветных металлов осуществлена на многих предприятиях. Урал (Гайский комб-т, рудник «СУБР»), Казахстан (Джезказганское, Зыряновское, Иртышское и др. м-ния), Кавказ (Тырныаузское, Кафанское, Урупское. В других странах разрабатывают месторождения медных руд в США (Сан-Маньюэл), Канаде [Джеко (Геко)], Чили (Эль-Теньенте, Эль-Сальвадор); полиметаллич. руд в Австралии (рудники «Брокен-Хилл», «Маунт-Айза»). США (Бюик, Флетчер, Вайбернем), Канаде (Салливан, Брансуик N 12, Кидд-Крик), Швеции (рудники «Булиден», «Лайсвалль-Бельвиксберг»); молибденовых руд в США (Клаймакс); вольфрамовых руд в КНР, США, Боливии; урановых руд в Канаде (Денисон, Нью-Квирк), Развитие подземной разработки в СССР приходится на начало 30-х годов, были построены рудники по добыче медной руды на Урале и в Казахстане, «Ачисайский» полиметаллич. рудник, «Тихвинский» бокситовый рудник, «Балейский» золотой рудник, рудники редких металлов. В 1933—38 была создана никелевая пром-сть. На комбинате "Североникель" началась выплавка никеля из руд медно-никелевого м-ния Мончетундры. В 1938—39 были введены крупные рудники, поставляющие сырьё для Юж.-Уральского никелевого и Уральского алюминиевого з-дов, Медногорский з-д и «Блявинский» медный рудник, построен вольфрам-молибденовый комбинат в Тырныаузе.

В общей добыче руды подземным способом наибольший объём приходится на системы разработки с открытым очистным пространством (табл. 3.33).

Совершенствование существующих систем подземной разработки рудных м-ний заключается в увеличении –высоты этажа и подэтажа, сечения выработок, ширины камер, внедрении высокопроизводительного самоходного оборудования, увеличении блоков. Напр., в слоевых системах с закладкой применение самоходной техники привело к увеличению длины блока до 80 м и более. Для систем разработки с открытым выработанным пространством и систем с обрушением вмещающих пород характерным стало расположение восстающих на больших расстояниях друг от друга. При слоевых системах потребовалось создание резервных ёмкостей — рудоспусков, появилась подэтажная подготовка блоков и отдельных залежей.

В СССР были установлены минимальные сроки существования горных предприятий, которые учитывались при их проектировании. Крупные предприятия по добыче алюминиевого сырья, медной, свинцово-цинковой и никелевой руд — 30—40 лет; крупные предприятия по добыче руд и произ-ву концентратов вольфрама, молибдена, олова, а также ртути — 20—30 лет; золоторудные предприятия — 15—20 лет; небольшие предприятия, эксплуатирующие богатые м-ния руд нек-рых металлов, золота и ценных видов неметаллич. сырья—5—10 лет.

ОТКРЫТАЯ РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ полезных ископаемых (surface mining, opencast mining, open pit mining, quarry mining;) благодаря высокой степени

извлечения п. и. из недр, возможности достижения большей производств. мощности предприятия, повышению производительности труда (в 5—8 раз), снижению себестоимости добычи (в 2—4 раза), улучшению условий труда получила в СССР преимущественное (по сравнению с шахтной добычей) развитие, обеспечивает св. 75% производства минерального сырья и уд. вес её неизменно растёт. Можно привести примеры ряда крупных месторождений в странах СНГ:

Урал (Сибайский, Гайский, Учалинские рудные карьеры), Сибирь и Д. Восток (Норильский ГМК, Сорский карьер). Казахстан (Коунрадский, Николаевский, Зыряновский, Златоуст-Беловский карьеры), Кавказ (Тырныаузский, Каджаранский карьеры), Кольский п-ов (карьеры «Печенганикель»). Открытая разработка применяется в США, Австралии, Канаде, Китае, Германии, Чехии, Польше и в др. странах.

Осн. горн. выработки — капитальные траншеи, обеспечивающие доступ к п. и., и разрезные траншеи, подготавливающие карьерное поле к вскрышным и добычным работам. (табл. 3.34)

В зависимости от формы и положения залежи п. и. относительно земной поверхности, выделяются разработки поверхностного вида (рис. 2,а) характеризуются отработкой вскрышных пород и п. и. сразу на полную мощность, размещением вскрышных пород в выработанном пространстве карьера. Внеш. отвалы устраивают при стр-ве карьеров. К этому виду относится разработка россыпей и небольшой части рудных м-ний при горизонтальном и пологом залегании залежей. Карьеры при этом имеют небольшую (до 40—80 м) и относительно постоянную глубину, разл. размеры в плане и разл. производств. мощность. Вскрышные породы и п. и. весьма разнообразны и практически охватывают все их возможные сочетания. Разработки глубинного вида (рис. 2,б) отличает выемка п. и. и вскрышных пород слоями в нисходящем порядке. Горн. массу, как правило, перемещают снизу вверх на более высокие отметки или на поверхность. Разработке каждого нового горизонта предшествуют горно-подготовит. работы. Глубина карьера постепенно возрастает до 400—700 м и более (определяется границами карьерного поля). Вскрышные породы, как правило, размещают во внеш. отвалах. При достижении предельной глубины карьера может применяться открыто-подземная разработка. В этом случае вскрытие ниже лежащего участка залежи осуществляется подземными выработками из карьера, трансп. коммуникации которого используются для доставки на поверхность п. и. Разработки ведутся при наклонном и крутом падении залежей средней мощности и мощных, охватывая все типы пород. Для открытых разработок нагорного вида (рис. 2,в) характерно перемещение покрывающих и вмещающих вскрышных пород и добытого п. и. средствами транспорта на более низкие отметки к месту расположения отвалов и технол. комплекса. При этом часть пустых пород стремятся перемещать по кратчайшему расстоянию к флангам карьерного поля, в отвалы, располагаемые на безрудных площадях. Разрабатываются залежи, к-рые расположены значительно выше господствующего уровня поверхности. П. и. и вскрышные породы в подавляющем большинстве скальные.

Подводная добыча (рис 2, г) проводится в поймах рек, на дне морей и озер. В этом случае кровля и почва залежи расположены ниже открытого уровня воды; покрывающие породы обычно относительно небольшой мощности: мягкие, плотные, полускальные или разнородные.

Классификация системы разработки в зависимости от положения рабочей зоны, направления развития и перемещения фронта работ (табл.3.35). в направлении выемки в профиле и плане карьерного поля [].

Приведённые в табл. 3.35 системы разработки органически связаны с развитием горных работ по отношению к контурам карьерного поля. При продольных однобортной или двухбортной системах фронт вскрышных и добычных работ перемещается параллельно длинной оси карьерного поля, при поперечных — параллельно короткой оси карьерного поля, при веерных — по вееру с центральным (общим) или рассредоточенными (2 и более) поворотными пунктами; при кольцевых системах рабочая зона охватывает все борта по периметру карьера и разработка ведётся кольцевыми полосами от центра к границам карьерного поля или от границ к центру. Во всех вариантах систем разработки важнейшее значение имеет место расположения отвалов, т. е. направление перемещения вскрышных пород (на внеш., внутр. или смешанные отвалы).

Коэффициент. вскрыши, предельный обычно 5—10, редко до 16—20 м³/м³ а средний (отношение всего объёма вскрыши в контуре карьера ко всему п. и.) — обычно 4 - 5, редко 10 м³/м³.

Элементами систем разработки являются: высота уступа, угол откоса уступа и бортов, ширина заходки, ширина рабочей площадки, длина и число блоков, длина фронта работ на уступе и суммарная длина фронта работ карьера, а также скорость продвижения фронта горн. работ, скорость углубки карьера. Высота уступа выбирается с учётом безопасности горн. работ и определяется мощностью, углом падения и геол. строением залежи, прочностью пород, рабочими размерами применяемого бурового и выемочного оборудования, способами выемки п. и. (валовая или селективная). При валовой выемке высота уступа обычно максимальная, которую допускают параметры экскаватора, при селективной (раздельной) — равна мощности пласта или пачки п. и. без прослоек пустых пород. При разработке сложных залежей число и высота уступов устанавливаются а соответствии с требованиями селективной выемки. Ширина заходки зависит от вида и параметров горнотрансп. оборудования, способа производства буровзрывных работ, физ.-механич. свойств г. п. Заходка делится на экскаваторные блоки. Длина блоков (т. е. длина фронта работ экскаватора) устанавливается в зависимости от способа выемки. При валовой выемке она принимается равной для всех блоков, при селективной — разной. Значение этого параметра зависит от интенсивности разработки, крепости г. п., способа их выемки и транспортирования, а также от возможностей трансп. обслуживания забоя. По условиям работы транспорта число блоков в пределах одной заходки при ж.-д. транспорте обычно не превышает 5, а при автомобильном может достигать 5—6.

Открытая разработка россыпей, в том числе дражная, наиболее распространенный вид добычи благородных металлов, вольфрама, олова, руд редких металлов. Производится обычно при глубине залегания россыпи до 12—50 м. В зависимости от вида оборудования, применяемого на подготовит. и добычных работах, различают бульдозерную, экскаваторную и скреперную.

В комплекс работ входят: удаление в пределах горн. отвода кустов и деревьев, техн. и хоз. сооружений, снятие растит. слоя, планировку поверхности и др. с помощью бульдозеров, скреперов корчевателей; осушение, вскрытие россыпи, вскрышные работы, отвалообразование; добычные работы; восстановление поверхности. Осушение производят обычно при помощи канав. Наиболее эффективные машины для проходки этих выработок — небольшие экскаваторы с оборудованием обратной лопаты. Непосредственная разработка мерзлых россыпей землеройной техникой невозможна без спец. подготовки г. п. к выемке — рыхления, к-рое производят в осн. буровзрывным способом или (в тёплое время года) гидравлич. оттаиванием.

Вскрышные работы в зависимости от глубины разработки может достигать 90% и более общего объема перерабатываемой горн. массы. Из-за небольшой мощности продуктивного пласта, к-рая, как правило, 0,5 - 3 м, коэфф. вскрыши даже при небольшой глубине разработки может доставлять 15—20.

При бульдозерных и скреперных вскрышных работах, а также при использовании драглайнов по бестрансп. схеме отвалы, как правило, располагают в непосредств. близости к вскрываемой россыпи. Добычные и вскрышные работы тесно взаимосвязаны между собой (рис. 1). Эта увязка обеспечивается опережением вскрышных работ, к-рое зависит от принятой их системы, талого или мёрзлого состояния россыпи. При разработке талых россыпей опережение обычно от 3 до 10 мес.

Организация добычных работ в значит. степени зависит от принятой организации промывки (обогащения), к-рая может производиться на стационарной (или полустационарной) обогатит. ф-ке и на переставных промывочных установках (рис. 2).

При гидромеханизированной разработке, россыпей.осн. технол. процессы разрушения, транспортировки и обогащения горн. массы выполняются с помощью смешиваемой с ней воды, подаваемой под напором. Кроме гидромониторно-самотёчной, гидромониторно-элеваторной и гидромониторно-землесосной технол. схем применяют схемы, в к-рых оборудование гидромеханизации сочетается с экскаваторами, бульдозерами, конвейерами, что даёт возможность организации поточной технологии, комплексной механизации процессов при полном водообороте и рекультивации нарушенных участков поверхности. Технол. схемы гидромеханизированной разработки (рис. 3) зависят от горно-геологических условий. В р-нах Ср. и Юж. Урала, Зап. Сибири макс. годовая производительность горнодоб. предприятий до 10 млн. м³ горн. массы (гидромониторно-экскаваторно-землесосная, экскаваторно-гидромониторно-землесосная, экскаваторно-

бульдозерно-землесосная схемы), расчётная макс. производительность труда до $250 \text{ м}^3/\text{чел.}$ в смену (при тех же а также земснарядно-гидромониторной схемах).

ВЫСОКОГОРНЫЕ КАРЬЕРЫ (*mountain quarry*, *mountain open cut*, *mountain open pit*) разрабатывают м-ния в горн. районах на выс. св. 1000 м над уровнем моря. Наиболее типичные предприятия такого рода в странах бывшего СССР — карьеры «Микуланский», «Дашкесанский» на Кавказе, «Алтын-Топканский» и «Бородинский» в Ср. Азии, «Центральный» в Хибинах; в Чили — «Чукикамата». «Эрцберг» в Австрии, «Бингем» в США.

Особенность ведения горн. работ в высокогорных карьерах. определяется сложностью топографии поверхности (большая крутизна склонов и др.), высокой сейсмичностью, наличием лавинной и селевой опасности, сильными ветрами, частыми туманами, гололёдом и снежными заносами, перепадами темп-р в $47\text{—}65^\circ\text{C}$ и понижением среднего её значения на $0,5\text{—}0,7^\circ\text{C}$ при подъёме на каждые 100 м, пониженным атм. давлением (до $560\text{—}450 \text{ мм рт. ст.}$). Сложность топографич. строения отражается на способах вскрытия м-ний, трансп. связи высокогорных карьеров с внеш. объектами. Вскрытие, как правило, комбинированное: рабочих горизонтов — полутраншеями с петлевой формой трассы, карьера в целом — подземными горн. выработками (вертикальными или наклонными рудоспусками или рудоска-тами и штольнями). Для доставки п. и. применяют комбинир. транспорт: автомобильный — внутри карьера, гравитационный — по рудоспускам, железнодорожный. — в штольнях. Наиболее распространённые системы разработки в высокогорных карьерах.—с вывозом вскрышных пород на внеш. отвалы. Рабочие площадки минимальны по площади, высота уступа $10\text{—}15 \text{ м}$, заходки широкие, взорванная горн. масса направляется внутрь заходки. Ограниченность площадей для отвалообразования приводит к необходимости размещения вскрышных пород на крутых склонах за контуром карьера. Эксплуатация таких отвалов предусматривает особую технологию и повышенные меры безопасности.

Для защиты карьеров, дорог и поселков от снежных лавин сооружаются отбойные стенки или ловушки. Кроме этого, при необходимости организуется противолавинная служба, в функцию к-рой входит наблюдение за накоплением снега на лавиноопасных склонах и его сброс в неопасных объемах путём обстрела из минометов или пушек.

Р а з р а б о т к а месторождений методом выщелачивания (underground leaching).

Состоит в избирательном переводе полезного компонента в жидкую фазу в недрах с последующей переработкой металлсодержащих (продукционных) растворов. Промышленное освоение подземного выщелачивания. медных руд было осуществлено в США в 1919, в СССР (на Урале)—в 1939. С 60-х гг. выщелачивание. применяют для добычи урана. В 70-х гг. во многих странах (СССР, США, Канада, ГДР, ЧССР, НРБ и др.) значит, часть урана и меди добывается подземным выщелачиванием., ведутся экспериментальные работы по применению его для добычи титана, ванадия, кобальта, никеля, цинка, селена, молибдена, золота и др. металлов.

Подземное выщелачивание позволяет вовлечь, в производство бедные руды, добыча и переработка которых традиционными способами нерентабельна.

Металл извлекается путём ионного обмена в процессе управляемого движения реагента через массив с естеств. проницаемостью предварительно разрушенной различными методами или замагазинированной руды.

Условия применения выщелачивания -присутствие полезного компонента в соединениях, растворимых минеральными или органич. к-тами, щелочами, растворами солей; достаточная естеств. водопроницаемость руд или возможность её создания искусственно, благоприятные горнотехнические.и гидрогеологические. условия, позволяющие осуществить подачу реагента к руде и откачку продукционных растворов; возможность эффективного извлечения полезных компонентов из продукционных растворов. По режиму движения реагента выделяют 3 гидродинамические схемы фильтрационную, инфильтрационную и пульсационно-статическую (возможны комбинации этих схем а условиях одного добычного блока). Фильтрационная схема - основана на использовании постоянного или периодически действующего фильтрационного потока реагента, заполняющего все трещины и открытые поры руд (пустоты в замагазинированной руде), движущегося за счет разности напоров у раствороподающих (закачных) и раствороприёмных (откачных, дренажных) устройств (горных выработок или скважин). Инфильтрационная схема основана на использовании инфильтрац. потока реагента, движение к-рого по руде происходит под действием сил гравитации от оросительных устройств к дренажным (при этом раствор не заполняет полностью пустоты в руде). Пульсационностатическая схема заключается в периодическом затоплении выщелачивающим реагентом руд с естественной и искусственно созданной водопроницаемостью, камер с замагазинированной рудой, очистных пространств с последующим выпуском продукционных растворов.

Предприятие состоит из добычного, трубопроводного и перерабатывающего комплексов. Принципиальная технологическая схема цепи аппаратов предприятия не зависит от применяемой системы разработки (рис.1), под которой понимают согласованную совокупность устройств и выработок.

Применяются следующие схемы:

1. Подготовка вертикальными и наклонными нагнетательными и разгрузочными скважинами, заложенными с поверхности:
 - а) по линейной схеме;
 - б) по кольцевой (ячеистой) схеме.
2. Подготовка горными выработками с предварительным рыхлением рудных блоков взрывами и орошение отбитой руды из подземных выработок.
3. Подготовка горными выработками без предварительного рыхления рудных блоков с нагнетанием выщелачиваемых растворов в трещиноватый массив под давлением.
4. Комбинированная подготовка дренажными горными выработками и нагнетательными скважинами, заложенными с поверхности.

При скважинных системах подземного выщелачивания вскрытие, подготовку месторождений и извлечение полезных компонентов в раствор осуществляют через скважины, пробуренные с поверхности. Этими системами разрабатываются месторождения урана, приуроченные к обводненным осадочным породам. Возможно внедрение их на месторождениях руд золота и др. В зависимости от фильтрационных свойств руд различают скважинные системы с естественной проницаемостью (коэфф. фильтрации K_f 0,5-10 м/сут), искусственной проницаемостью (K_f 0,1-0,5 м/сут) и магазинированием руд ($K_f < 0,01$ и $K_f > 10$ м/сут).

Наибольшее распространение получили скважинные системы с естественной проницаемостью; разрабатывают месторождения, не требующие предварительной подготовки руд (создание искусственной трещиноватости, проведение гидроразрыва пород). При этом применяют скважинные системы с площадным (ячеистым) и линейным расположением скважин (рис.2). Расстояние между скважинами 15-50 м, глубина разработки до 500 м и более. Процесс выщелачивания осуществляют в основном напорным фильтрационным потоком реагента, движущимся по рудоносному водопроницаемому пласту от закачных скважин к откачным. При этом соблюдают баланс откачиваемых и закачиваемых растворов. В этом случае система работает в стационарном режиме фильтрации, обеспечиваются максимальная локализация зоны циркуляции растворов, миним. их разубоживание, миним. потери реагента за счет растекания, исключаются осложнения в работе раствороподъемных устройств. Выщелачивание металла из несвязных песчаных руд осуществляют при низких гидравлич. градиентах, чтобы исключить суффозию и механич. кольтатацию призабойных зон скважин. Для интенсификации извлечения металлов широко используют реверсирование потока (при этом скважины должны быть конструктивно взаимозаменяемыми). При растворах, обладающих коррозионными свойствами, для обсадки скважин применяют трубы из кислотостойких материалов (напр., полиэтилена). Для месторождений, залегающих в особо сложных горнотехнических условиях, скважинные системы являются пока единственно возможными системами рентабельной разработки. Достоинство их в том, что полностью исключается присутствие людей под землей.

При шахтных системах вскрытие, подготовку м-ний и извлечение полезных компонентов в раствор осуществляют с помощью горн. выработок. Режимы движения выщелачивающего реагента и конструктивное оформление шахтных систем зависят от физико-механич. свойств рудоносных и вмещающих пород, мощности и морфологии рудных тел, наличия водоупоров в кровле и почве рудоносных пород и др. факторов. Шахтные системы выщелачивания отличаются большим разнообразием, они позволяют вести управляемый процесс извлечения металлов на м-ниях разл. генетических типов из руд с естеств. водопроницаемостью (рис. 3) и из руд, разрушенных различными методами или отбитых и замагазинированных на месте залегания (рис. 4). Эти системы применяют при разработке глубоко-залегающих м-ний, представленных бедными слабопроницаемыми или практически водонепроницаемыми рудами. При этом в

произ-во вовлекаются большие запасы забалансовых руд, разработка к-рых традиц. способами нерентабельна. При применении шахтных систем исключается массовое сдвигание руд и вмещающих пород, полностью отсутствует обрушение или оседание дневной поверхности над зонами разработки, т.к. отбойку руд, как правило, ведут в зажатой среде с небольшим коэфф. разрыхления (1,1 - 1,2).

Комбинированные системы из элементов скважинных и шахтных систем выщелачивания предусматривают разработку с подачей реагента к руде по скважинам, пробуренным с поверхности, и приёмом продукционных растворов а горные выработки. Такие системы применяют на м-ниях, где по каким-либо причинам технически трудно или нерационально откачивать продукционные растворы через скважины (при большой глубине пьезометрического уровня подземных вод, в условиях осушенных пород и т. п.). В зависимости от конкретных условий дренажные горные выработки могут быть пройдены по почве выше или ниже рудного пласта (залежи). При разработке залежей, к-рые в пределах одного блока представлены рудами разных технологических сортов, напр. карбонатными и силикатными, требующими различных реагентов; *рудами*, контрастными по содержанию металла (балансовыми и забалансовыми), рудами с контрастными фильтрационными свойствами, требуются разной предварительности горная подготовка. Залежи в пределах блока разрабатывают в два этапа: вначале очистная выемка руды одного сорта, затем- другого. Для интенсификации процесса подземного выщелачивания в зависимости от условий применяют различные реагенты (окислители, поверхностно-активные вещества, и др.), бактериальные, физические (электромагнитные поля, повышение напора и температуры растворов, гидроразрыв пород, встряхивающие взрывы, вакуумирование) и комбинированные методы.

Глава 4 Минералургия. Обогащение руд.

4.1 Технологическая систематика минералов.

4.1.1. Технологическое определение минерала.

К сожалению, мы не можем воспользоваться многочисленными определением минерала из справочников и курсов минералогии [], которые направлены на диагностику или генезис минералов. Нас интересует понятие минерала как промышленного сырья выделяемого из руды с помощью технологических процессов. Многообразие минеральных видов и разновидностей в природе связано с вариабельностью химического состава при одной и той же кристаллической структуре. Богатое природное разнообразие таких вариаций (вплоть до непрерывных переходов от одной химической формулы к другой с различными крайними членами) обусловило то, что минералоги не пришли к однозначному определению минерального вида.

С точки зрения минералургии определение минерального вида должно отвечать следующим - условиям.

1. Различия в химическом составе минерального вида не должны приводить к различной технической оценке выделяемых минералов. С этой точки зрения калиевые и натриевые полевые шпаты относятся к различным минеральным видам. Шеелит (CaWO_4) и повеллит (CaMoO_4), образующие непрерывный изоморфный ряд, также отнесем к различным минеральным видам,

причем в зависимости от соотношения $Mo: W$ в ряду $Ca [W, Mo] O$ в месторождении отнесем минерал к тому виду, который определяет промышленную ценность данной руды на молибден или вольфрам. Наоборот, гюбнерит ($MnWO_4$) и ферберит ($FeWO_4$), относящиеся к группе вольфрамитов ($[Fe, Mn] WO_4$), принадлежат с точки зрения минералургии к одному минеральному виду.

2. Минералы одного вида должны иметь одинаковые технологические свойства и концентрироваться в одних и тех же продуктах в технологических процессах:

а) в гравитационных, магнитных и электрических полях; б) иметь близкие механические свойства — твердость, хрупкость, упругость;

в) иметь близкие адсорбционные свойства по отношению к растворенным химическим реагентам;

г) иметь близкую растворимость в технологических растворах.

С этих позиций сфалерит ($\alpha-ZnS$), вюрцит ($\beta-ZnS$) и марматит ($[Zn, Fe]S$) отнесем к различным минеральным видам. Различны пирит и марказит (FeS); халькопирит и кубанит ($CuFeS_2$), обладающие различной флотуемостью.

Таким образом к одному минеральному виду относятся минералы с однотипной структурой и с составом, отвечающим индивидуализированным химическим соединениям (в том числе крайним и промежуточным членам непрерывных твердых растворов), который может варьировать в границах, определяемых:

1) невозможностью равновесного существования двух или нескольких фаз в интервалах температур и давлений, природного физико-химического процесса;

2) непрерывностью изменения содержания полезного компонента в пределах технической ценности данного минерала;

3) неизменностью технологических свойств — физических, механических, химических и адсорбционных, приводящих к концентрированию всех разновидностей данного технологического вида в одних и тех же продуктах переработки.

С точки зрения данного определения, например оптические свойства, цвет, черта минералов не играет большой роли в технологии, только как отражение количества и состава изоморфных примесей. Как и в минералогии, минералы одного состава, но различной структуры — полиморфные модификации, относятся к различным минеральным видам:

Например: графит—алмаз, кальцит—арагонит и др. При этом физико-химическое поле устойчивости, в пределах которого существование одной модификации при генезисе минерального вида невозможно, соответствует физико-химическому полю технологического процесса.

Менее резкие, постепенные структурные изменения — политипные модификации, характеризующиеся одинаковыми параметрами элементарной ячейки в двух направлениях и третьим — переменным, могут приводить или не приводить к изменению минерального вида. Политипы у слоистых минералов (слюд, молибденит, графита, глины) чаще всего не изменяют технологических свойств минерального вида, поскольку элементы кристаллической решетки между слоями смещаются друг относительно друга при сохранении структуры внутри элементов, выделяемых при измельчении руды. Политипы с различной степенью упорядоченности расположения ионов в решетке, например полевой шпат—ортоклаз, относятся к различным минеральным видам.

Морфология минералов, определяемая их внутренней структурой, генезисом и условиями роста кристаллов, приводит к образованию различных форм и агрегатов, отличающихся по своим технологическим свойствам. Морфологические разновидности характеризуются обликом кристаллов, размерами монокристаллических образований (габитусом), наконец, взаимной ориентацией минералов в минеральных агрегатах, а следовательно, сростках.

Дислокации на границах срастания монокристаллов в блоках одного минерала или минерального агрегата оказывают существенное влияние на процессы рудоподготовки и обогащения. Нарушения идеальной периодичности монокристалла, обрыв, выклинивание атомной плоскости, искажение взаимной параллельности атомных плоскостей определяются условиями

роста. Возможно также внедрение посторонних частиц, изоморфное замещение ионов, комплексов и вкраплений других минералов. Дислокация кристаллов характеризуется не только типом, но и плотностью.

Наиболее существенное влияние на неоднородность минерала оказывают различного рода примеси, определяющие состав и, в известной степени, свойства минеральных разновидностей. Неоднородность состава минерала может быть связана с различными видами отклонений от идеализированной химической формулы [24].

Микровключения твердых гетерогенных минеральных фаз, захваченных в процессе кристаллизации минерала из среды благодаря соосаждению, распаду твердых растворов, раскристаллизации коллоидов при десорбции. Эти микровключения образуют для каждого минерала особый микропарагенезис, который не обязательно совпадает с макропарагенезисом. В частности, некоторые минералы рассеянных элементов (индия, рения, платиноидов и др.) могут встречаться только в виде микровключений. Именно гетерогенные микровключения определяют ценность никеленосных и платиноносных пирротитов. Флотационные свойства минералов могут существенно зависеть от таких микровключений. Классическим примером здесь является сфалерит, содержащий микровключения халькопирита. Флотируемость такого сфалерита аналогична флотируемости халькопирита, что и определяет трудности селективной флотации медно-цинковых руд и низкие показатели их разделения.

Микровключения жидких, газо-жидких, газовых, солевых растворов и расплавов, являющиеся остатками среды кристаллизации также оказывают влияние на флотацию, а при значительных количествах и на выщелачивание.

Внеструктурные микропримеси ионов и молекул, расположенные в дефектах кристаллической решетки, в участках дислокаций и на границах блоков решетки могут быть выщелочены без нарушения кристаллической структуры минерала. Измельчение и кондиционирование пульпы перед процессом флотации всегда приводят к появлению в жидкой фазе большого количества так называемых "неизбежных ионов", оказывающих существенное влияние на процесс. В некоторых случаях приходится прибегать к специальным отмычкам водой, щелочами или кислотами для удаления "неизбежных ионов", как, например, при флотационном обогащении руд бериллия, доводке шеелитовых концентратов, флотации кварца и др.

Тонкодисперсные и коллоидно-дисперсные минералы, а также минералы с развитой поверхностью (угли, цеолиты, глины) могут сорбировать элементы-примеси, особенно с большими ионными радиусами. Например, сорбционные процессы определяют большие потери платиноидов на гидроокислах железа при переработке никеленосных пирротитов. В процессе флотации природные сорбенты иногда специально вводят в пульпу для улавливания золота, растворенной меди и т.п.

Элементы-примеси в радиоактивных рудах могут иметь радиогенное происхождение, причем их концентрация зависит от возраста минералов. Так, в урановых рудах присутствует радиогенный свинец, в калиевых — кальций, в рубидиевых — стронций, в рениевых — осмий. Радиогенные примеси также влияют на флотируемость и растворимость минералов.

Многие минералы, образующие изоморфные серии, ведут себя в процессах обогащения в зависимости от степени замещения. Так, например, молибдошеелиты флотируются тем хуже, чем больше степень замещения вольфрама изоморфным молибденом; при этом повеллит флотируется существенно хуже шеелита [11]. Аналогичная разница во флотируемости танталита и колумбита, калиевых и натриевых полевых шпатов и т.д. Подобные различия наблюдаются и в процессах электрической сепарации. Существенное влияние на магнитные свойства железосодержащих минералов оказывает степень восстановленности железа в ряду гематит-магнетит.

Для полупроводниковых минералов, например сульфидов, сульфосолей и др., характер проводимости (ионный или дырочный) определяется соотношением между катионами и анионами. Регулирование характера проводимости с помощью электрообработки пульпы [40]

позволяет существенно улучшить селективность флотационного разделения минералов и повысить извлечение в концентрат.

Перечисленные формы вариаций состава минерала, а также политипные модификации, морфологические разновидности, характер и плотность дислокаций кристаллов приводят к существованию большого количества разновидностей одного и того же минерального вида. С точки зрения минералургии разновидности одного и того же минерала при однообразном поведении, т.е. концентрации в одном продукте в процессах переработки полезного ископаемого, могут различаться степенью извлечения в этот продукт, т.е. интенсивностью процесса концентрации.

4.1.2 Изоморфизм и минеральные разновидности

Для параметрического описания состава минерала в связи с его технологическими свойствами наиболее существенно понятие изоморфизма, т.е. способность аналогичных по химическому составу веществ кристаллизоваться совместно в одинаковых формах.

По кристаллохимическим представлениям изоморфией называется способность атомов и ионов химических элементов замещать друг друга в кристаллических решетках при условии близости размеров составляющих кристаллическую решетку атомов, ионов и их групп, тождества знака заряда и относительно близких величин их поляризации. Изоморфия природных соединений определяет сходство химической формулы, близость геометрического типа структуры решетки и типа химической связи.

The concept of isomorphic elements, or components, forming isomorphic mixtures or solid solutions are at present widely used in mineralogy. The extreme terms of the isomorphic mixtures are called isomorphic minerals and form isomorphic series. In accordance with the degree of miscibility in isomorphic series the following types of isomorphism are distinguished: unlimited (perfected) and limited (imperfect). Examples of the former are the isomorphic series of wolframite (hubnerite MnWO_4 -ferberite FeWO_4) and the series of olivine (forsterite $\text{Mg}[\text{SiO}_4]$ -fayalite $\text{Fe}[\text{SiO}_4]$). The imperfect isomorphism has been established between Zn and Fe in sphalerite.

A considerable flexibility of the chemical composition of minerals causes a regular change of their structural and technological parameters, density, hardness, refractive indices. The influence of smaller isomorphic impurities on the physical properties is insignificant, but sometimes a sharp change of the electrical properties, the emergence of colour and luminescence is connected with such impurities. The impact exercised by them on the surface properties of minerals is also significant.

Heterovalent isomorphism with the retention of the general number of atoms can be manifested in various ways: (1) conjugate replacement of the pairs: cation-anion: for example, in fluorite there is a replacement of the Ca ions by the TR ions and of the F ions by the O ions according to the pattern: $\text{Ca}^{2+} - (\text{TR})^{2+} \quad \text{F}^{-} - (\text{O})^{2-}$; (2) the replacement of two similar atoms by two atoms of different elements of different valency with the retention of the summary charge of the type $2\text{R} \rightarrow \text{R}^{+} + \text{R}^{-}$, for example, in cassiterite, according to the pattern: $\text{Sn}^{4+} (\text{Fe}^{2+}) (\text{W}^{6+}) \text{O}_2$; (3) the replacement of two pairs of atoms of different elements with the retention of the summary charge of the type $\text{R}^{+} + \text{R}^{-} \rightarrow \text{R}^{+} + \text{R}^{-}$, for example in plagioclases according to the pattern: $\text{Na}^{+}, (\text{Ca})^{2+} \rightarrow [\text{Si}^{4+} \text{Al}^{3+} (\text{Al})^{3+}] \text{O}_2$.

Under heterovalent isomorphic replacements accompanied by a change in the number of atoms in the structure of minerals, the compensation of the redundant charges that takes place in some cases is marked off by the formation of the vacancies of atoms of the type $\text{R} - \text{R}^{+}$ (V^{-}) as is the case in ferberite:

In other cases the isomorphic replacements take place with the filling of the interstitial positions, for example in fluorite by replacing the Ca ions by the TR ions with a synchronous entering of the F ion into the interstitial position according to the pattern:

$\text{Ca} (\text{TR}) \text{F} (\text{F})$

The conditions of isomorphism: The proximity of dimensional parameters of isomorphic components or the volume of the elementary cell of the isomorphic minerals and the atomic radii of isomorphic elements

and ions the difference of ionic radii of isomorphic ions to the radius of the smaller ions ($\Delta r/r$) should not exceed 15% but for more complex composition <40%

The similarity of electronic structure of isomorphic elements, the proximity of their chemical properties and, consequently, the character of the chemical bond in isomorphic minerals.

The rule of polarity, in accordance with which the entering of the ion with smaller radius or greater charge into the general crystalline structure is more preferable as compared with the ion of greater radius and smaller charge. The examples of polar isomorphism are: heterovalent series Li^+ (0,069)- Mg^{2+} (0.075)- Sc^{3+} (0.081)- Zr^{4+} (0.082) in micas and Na^+ (0.098)- Ca^{2+} (0.105)- Y^{3+} (0.106) in pyrochlore and other rare-earth minerals, where the value of ionic radii in nanometres is given in brackets.

Для пары элементов с одним и тем же радиусом, например Zn и Fe, мы встречаемся с односторонним изоморфизмом. Цинк в ZnS (сфалерит) допускает вхождение до 20% Fe, но Zn совершенно отсутствует в FeS. Причина лежит в возможности для Fe иметь как шестерную координацию, так и четверную, тогда как для Zn всегда в сульфидах — четверная координация.

При высокой температуре пределы изоморфной смесимости многих минералов переменного состава выше, часто вплоть до образования совершенных твердых растворов с неограниченной смесимостью (полевые шпаты). Крайние члены изоморфных смесей называются изоморфными минералами, они образуют изоморфные серии (ряды). В зависимости от степени смесимости в изоморфных рядах различают изоморфизм неограниченный (совершенный) и ограниченный (несовершенный). Примерами совершенного изоморфизма могут служить изоморфный ряд вольфрамит (гюбнерит MnWO_4 - ферберит FeWO_4) и ряд оливина (форстерит $\text{Mg}[\text{SiO}_4]$ - фаялит $\text{Fe}[\text{SiO}_4]$). Ограничение изоморфной смесимости во многих случаях связано с концентрацией примесей. Например, обычно низкое содержание Cd в сфалерите. Ni в оливине, Cr в берилле обусловлено в первую очередь невысоким содержанием этих примесей в минералообразующей среде. В некоторых случаях изоморфная смесимость зависит от соотношения концентрации ионов одного и того же элемента разной валентности, связанного с окислительно-восстановительными условиями минералообразования. Так, содержание молибдена в молибдошеелите $\text{Ca}[(\text{W}, \text{Mo})\text{O}_4]$ во многих случаях зависит не только от температуры, но и от того, в какой форме — окисленной или восстановленной — он находится в минералообразующих растворах [33].

Изменчивость химического состава минералов вызывает закономерное изменение их рентгеновских констант, многих физических свойств, таких, как плотность, твердость, показатели преломления и др. Хотя влияние небольших изоморфных примесей на физические свойства незначительно, иногда с примесями связано резкое изменение электрических свойств, появление окраски и люминесценции. Большое влияние они оказывают также на поверхностные свойства минералов. Так, например, параметры гексагональной элементарной ячейки апатита позволяют оценить содержание в нем, с одной стороны, ионов F, Cl, (OH) O и определить его соответственно как фторапатит, хлорапатит, гидроксилапатит; оксиапатит, а с другой стороны - ионов, замещающих Ca, Ba и Sr. [24]

Изоморфизм более общее понятие чем ионный обмен, идущий в канальных и слоистых соединениях, например между частицами в каналах цеолитов или в межслоевых полостях силикатов и алюмосиликатов. При ионном обмене могут происходить замещения запрещенные с точки зрения термодинамики макроизоморфизма. Так, замещать друг друга могут различные по размерам и свойствам катионы, например Ca^{2+} - Cs^+ в цеолитах.

Вообще существуют постепенные переходы между изоморфизмом, микроизоморфизмом, образованием твердых растворов внедрения и ионным обменом [25].

Таким образом, при параметрическом описании минеральных разновидностей определяют: 1) природу замещения, т.е. наименование замещаемых и замещающих элементов; 2) характер замещения; вид изоморфизма или его аналогов и механизм замещения; 3) количественную оценку замещения каждого вида.

4.1.3 Кристаллическая структура минералов

Minerals are defined as crystalline matter, and the atoms of chemical elements entering into their composition are found to be in regular distribution in the points of lattices and maintained in the state of equilibrium by the forces of mutual attraction and repulsion. The nature and value of these forces are determined by the properties of the interacting atoms of chemical elements. These properties are conditioned by the charge of the nucleus, the electronic structure of the atoms and are unique for different chemical elements, according of z.i. Mendeleev system.

The formation of minerals may be imagined as a convergence of free atoms till a certain distance between them is reached, at which point the forces of attraction and repulsion are brought into a state of equilibrium. The latter corresponds to the minimum of energy since in a chemical compound the potential energy of atoms is smaller than that of free, disconnected atoms. In general, the difference between the value of the energy of free atoms and the minimal potential energy of atoms in a bound state is determined as the energy-producing measure of the chemical bond. In crystals it is called the energy of the crystalline lattice.

Энергетические зоны в кристаллических телах могут быть полностью или частично заполненными валентными электронами или вовсе не содержать их. Энергетическая зона, полностью заполненная валентными электронами, называется валентной зоной. Свободная зона, расположенная энергетически выше валентной зоны, или зона, не полностью заполненная валентными электронами, называется зоной проводимости. В зависимости от структуры твердого тела и строения образующих его атомов между валентной зоной и зоной проводимости может быть энергетический разрыв (рис.4.1а) или они могут перекрываться друг с другом (рис. 4.1б). Энергетический разрыв между валентной зоной и зоной проводимости называется запрещенной зоной, его величина E (обычно в эВ) — шириной запрещенной зоны [25].

В зависимости от своей зонной структуры кристаллические тела могут обладать свойствами металлов, т.е. быть хорошими проводниками электрического тока, диэлектриков, т.е. практически не проводить электрического тока, или полупроводников, в которых проводимость появляется при некоторой температуре и увеличивается с ростом последней. Возникновение электрического тока в кристалле, требующего перемещения электронов внутри кристалла, объясняют переходом электронов с одного энергетического уровня на другой в пределах зоны проводимости [16].

В валентной зоне на месте вырванных электронов возникают положительные дырки, и проводимость в ней происходит путем перемещения электронов в дырки, т.е. сопровождается как бы перемещением дырок в сторону, обратную движению электронов (рис.4.2); возникает дырочная проводимость. Такая схема объясняет увеличение проводимости с повышением температуры, так как оно сопровождается увеличением концентрации носителей (электронов в зоне проводимости и дырок в валентной зоне). Напротив, понижение температуры, закрепляющее электроны в валентной зоне, приводит к исчезновению коллективизированных электронов, переходу полупроводника в диэлектрик.

Кроме собственной проводимости, полупроводники обладают примесной проводимостью, возникающей в полупроводниковых соединениях с теми или иными примесями при температуре более низкой, чем собственная проводимость.

Полупроводники с электронной проводимостью называют полупроводниками n-типа; примесные атомы в этом случае играют роль доноров электронов. Полупроводник с дырочной проводимостью p-типа. В нем примесные атомы играют роль акцепторов электронов [16, 40].

Проводимость типа примесной возникает в полупроводниках и под влиянием различного рода дефектов кристаллической решетки, в том числе дислокаций.

В зависимости от зонной структуры и типа химической связи, которые тесно взаимосвязаны, кристаллические тела делятся на четыре типа: 1) ковалентные, 2) ионные. 3) металлические и 4) молекулярные кристаллы.

Для кристаллических тел первого и последнего типа характерна ковалентная связь, по своей природе аналогичная ковалентной связи в отдельных молекулах.

Ковалентная связь характеризуется строгой направленностью. Координационное число анионов определяется соответствием между числом их внешних электронных пар и числом акцепторных орбиталей катионов, принимающих эти пары.

Кристаллическая структура ковалентных кристаллов возникает как результат донорно-акцепторного соответствия числа вакантных орбиталей катиона и электронных пар аниона, что отражается в образовании определенных электронных ансамблей [16].

Энергетические характеристики ковалентной связи, определяются свойствами атомов, в частности, энергия ее разрыва прямо пропорциональна (в пределах каждого периода) орбитальным радиусам атомных остовов, целиком лишенных валентных электронов [16].

Ионные кристаллы характеризуются зонной структурой диэлектриков. Связь между отдельными частицами в них подчиняется законам электростатического взаимодействия и рассматривается как связь между разноименно заряженными ионами, которые образовались за счет потери валентных электронов одними атомами, ставшими катионами, и приобретения их другими атомами, ставшими анионами.

Важнейшей особенностью ионной связи является отсутствие определенной направленности — делокализованность.

Эффективные ионные радиусы анионов значительно превышают орбитальные атомные радиусы, а эффективные ионные радиусы катионов меньше последних, но больше соответствующих орбитальных ионных радиусов.

Структуры ионных кристаллов строятся по принципу плотнейшей упаковки крупных анионов; катионы располагаются в тетраэдрических и октаэдрических пустотах, либо, если они крупнее, раздвигают их.

Координационные числа КЧ катионов зависят от соотношения их радиусов и радиусов анионов. Детали структуры определяются соотношением числа катионов и анионов в формуле, подчиняющимся правилу электронейтральности; КЧ катионов (соротностью заселяемых пустот); узором распределения катионов в пустотах.

Металлические кристаллы отличаются тем, что отдельные энергетические зоны в них перекрываются. Химическая связь, называемая в этом случае металлической, осуществляется между атомными остовами, характеризующимися коллективизированными (перекрывающимися по энергии) внешними орбиталями и коллективизированными электронами "электронного газа", в который погружены атомные остовы [16].

Число и тип коллективизированных электронов, тип коллективизации орбиталей зависят от валентности атомных остовов, которая в свою очередь определяется величиной непреодолимых энергетических барьеров ионизации [16].

В каждом из конкретных случаев ковалентная связь характеризуется определенной степенью ионности, ковалентности и металличности, металлическая — металличности, ионности и ковалентности, точно так же, как ионная — степенью ковалентности, ионности и металличности. Механизм и характер связи могут осложняться появлением металлической или ковалентной компоненты связи у кристаллов с ионной и ковалентной или металлической связью соответственно. Наряду с гомодесмическими кристаллами с ковалентной, ионной или металлической связью известно большое число гетеродесмических кристаллов с ковалентной связью между частицами (например, в пределах комплексных анионных радикалов) и ионной между этими радикалами и катионами (соли кислородных кислот и т.п.), а также молекулярных кристаллов с ковалентной связью в молекулах и остаточной между молекулами [16].

Увеличение степени металличности ковалентной связи уменьшает ширину запрещенной зоны. Переход от ковалентных веществ к ионным или к металлам с перекрывающимися валентной зоной и зоной проводимости и коллективизированными электронами происходит скачкообразно (поли-

морфные и морфотропные переходы) ; в рядах твердых растворов он может быть постепенным [16].

Для реальных минералов характерны различные виды дефектности кристаллической решетки при сохранении общего электростатического баланса.

Элементарными несовершенствами структуры минералов являются точечные дефекты — вакансии и междуузельные атомы. Концентрация этих дефектов связана в основном с температурными условиями образования, в связи с чем их называют тепловыми или равновесными.

Вакансии представляют собой свободные, не занятые позиции атомов идеальной кристаллической структуры, например вакансии атомов меди V в кристаллах самородной меди. В ионных кристаллах могут быть катионные V и анионные V , вакансии. Междуузельные атомы M (внедренные, или интерстиционные) можно представить как смещенные со своих позиций в соседние междуузлия. Координационное число (КЧ) внедренного атома может отличаться от КЧ в его обычной позиции. Например, в галите $NaCl$ междуузельные атомы Na занимают свободные тетраэдрические пустоты с КЧ-4. Точечные дефекты минералов (кроме самородных) характеризуются избыточными или, точнее, эффективными зарядами. Например, анионная вакансия с положительным зарядом V^- катионная — с отрицательным зарядом V^+ Междуузельные ионы обладают избыточным зарядом и знаком, соответствующими его валентности. Например, во флюорите CaF_2 междуузельный ион фтора имеет избыточный отрицательный заряд: F^- [33].

Обычно в минералах одновременно присутствуют различные типы точечных дефектов, имеющих разные по величине и знаку избыточные заряды при общей электростатической нейтральности. В случае локальной компенсации собственных точечных дефектов образуются парные и более сложные ассоциативные дефекты. Пара междуузельный атом—атомная вакансия $[MV]$ называется дефектом по Френкелю. Сдвоенные анионные и катионные вакансии $[V^- V^+]$ представляют собой дефект по Шоттки, с нейтральным зарядом,

К неравновесным точечным дефектам относятся радиационные, которые возникают в результате смещения атомов вдоль траектории частиц с высокой энергией. В случае высокой концентрации радиационных дефектов кристаллическая структура минералов может разрушаться и переходить в метамиктное состояние, близкое к аморфному (пироксид, циркон, самарскит и др.) [33].

Закономерные отклонения от идеального расположения атомов вдоль некоторых направлений (линий) в кристаллической структуре минералов называются дислокациями и могут быть представлены двумя типами — краевым и винтовым. Вдоль линий дислокации создаются напряженные состояния сжатия или растяжения структуры; атомы здесь находятся в необычных координациях с ненасыщенными связями, вследствие чего дислокации приобретают избыточные заряды. Краевые дислокации чаще всего образуются в результате механических деформаций — сдвигов кристаллической структуры минералов, сопровождающихся изменением формы кристаллических зерен, а винтовые — в процессе роста кристаллов. К линиям дислокаций в минералах обычно приурочены примеси. С дислокациями связана изменчивость механических свойств и морфологии минералов [33].

Поверхность и границы зерен представляют собой двумерные дефекты, характеризующиеся нерегулярным расположением атомов и избыточной поверхностной энергией. Они отличаются высокой химической и поверхностной активностью, составом и координацией атомов. Поверхность имеет ростовую или деформационную природу.

Каждый дефект представляет локальное нарушение электронейтральности. Так, при анионной вакансии дефект приобретает положительный заряд и становится ловушкой для электронов. При захвате анионной вакансией электрона образуется F-центр. При вакансии катиона в локальной точке вакантное положение становится заряженным отрицательно и компенсируется за счет перераспределения электронов в электронных оболочках окружающих вакансию анионов, у которых возникает дефицит электронов — "дырка". Таким образом, в решетках реальных минералов возникают многочисленные электронно-дырочные центры, связанные с локальными

дефектными участками, что объясняет многие свойства минералов: электростатические, люминесцентные и термолюминесцентные, изменение окраски минералов и т.п.

По типу электронного строения и химической связи различают несколько видов центров:

1) катионные, в которых электронные переходы происходят между различными уровнями катионов (Fe, Fe, Cr, Mn, Pb, TR и др.);

2) молекулярные, в которых электронные переходы протекают между уровнями молекулы, сохраняющей свои особенности в кристаллической решетке минерала (S, O, UO и др.);

3) связанные с кислородными комплексами, у которых электронные переходы происходят между молекулярными орбиталями комплекса (т.е. переход электрона совершается от катиона на кислород или от кислорода на катион);

4) радиационные, связанные с воздействием ионизирующего облучения на минерал;

5) донорно-акцепторные парные, возникающие у минералов с ковалентной связью вследствие образования диполя из катионной и анионной вакансии [24].

Кристаллическая структура характеризуется:

минимальным элементом повторяемости — симметрией и размером элементарной ячейки; ^{^^}-координатами атомов (ионов) в этой ячейке; -

- ♦ межатомными расстояниями и угловыми характеристиками межатомных векторов; [^]
- ♦ - координацией атомов, координационным числом, типом и симметрией координационного полиэдра;
- ♦ —степенью и характером (типом) упорядоченности в расселении ионов по позициям, особенно в случае развития изоморфных замещений или образования фаз внедрения;
- ♦ - степенью и характером (типом) упорядоченности различных элементов кристаллической структуры (цепочки полиэдров, слои и т.д.);
- ♦ -[^]дефектностью структуры (наличие вакансий и дырок) .

Могут формироваться полиморфные модификации одного состава, но различной симметрии элементарной ячейки, например кристаллизация TiO₂ в форме рутила, анатаза или брукита; FeS - в форме пирита или марказита (Fe, Mn) (Ta, Nb) O₂ в форме танталита или тапиолита [24].

Изменение положения атомов и ионов в элементарной ячейке является следствием сближения их в условиях повышенного давления. Так, модификация структурного мотива шеелита—повеллита с координационными числами катионов 4 и 8 в вольфрамит с координационными числами 6 и 6 характерна для состава Ca(W,Mo)O₂. Взаимопереход типов обратим и проявляется в изменении симметрии элементарной ячейки, координат в ней атомов, их координации, величин межатомных расстояний. С подобным превращением связано изменение угла моноклинности, типичного для групп вольфрамита—фергусонита, и изменение координационного числа, т.е. кислородного окружения катионов, определяемого физико-химическими условиями и составом. В кристаллической структуре касситерита наблюдается модификация координационного кислородного октаэдра вокруг иона Sn²⁺; -октаэдр может быть правильным, сплюснутым или вытянутым в зависимости от температуры и pH среды кристаллизации генетически различных касситеритов [24].

В группе колумбита—танталита изменение характера расположения катионов в октаэдрической координации приводит к снижению симметрии кристаллической решетки от ромбической до моноклинной, что изменяет межатомные расстояния и размеры элементарных ячеек минералов, а также их технологические свойства. Так, при упорядоченной кристаллической структуре происходит чередование слоев (Ta, Nb) -октаэдров и слоев (Fe, Mn)-октаэдров. В разупорядоченных колумбит-танталитах со структурой иксиолита наблюдается равновероятное расселение в любом октаэдре любого слоя и Ta, и Nb, и Fe, и Mn. При кислотном выщелачивании в упорядоченных разновидностях легко переходят в раствор Mn и Fe, в неупорядоченных — с большим трудом, только при полном разрушении минерала. Упорядоченный халькопирит CuFeS₂ тетрагоналей, разупорядоченный — кубический. Последний — более высокотемпературен по условиям образования и хуже флотировается [24].

Существует 5 типов кристаллических структур минералов отличающихся характером расположения атомов [33].

1. Координационный- характеризуется одинаковыми расстояниями между атомами. В минералах с металлической и ионной химической связью характерна плотнейшая упаковка металлов (золото самородное), анионов (например, кислорода в гематите) или катионов (кальция во флюорите).

2. Островной: Комплексные анионные радикалы или замкнутые молекулы представляют собой как бы отдельные острова — сгустки, в пределах которых межатомные расстояния меньше, а прочность химической связи существенно больше, чем в остальной части структуры. Например, реальгар $[\text{AsS}]$; сера самородная S ; силикаты с изолированным тетраэдрическим анионным радикалом $[\text{SiO}_4]^{4-}$ $\text{Mg, Fe}_2[\text{SiO}_4]$ Иногда образуются двойные радикалы $[\text{SiO}_3]^{2-}$ (например, каламин $\text{Zn}[\text{SiO}_3](\text{OH})$); и более сложные кольца (например, $[\text{SiO}_6]^{4-}$ в берилле).

3. Цепочечный, Структуры образованы бесконечными одномерными радикалами, которые состоят из линейно связанных координационных полиэдров. Расстояние между атомами в пределах цепочек меньше, а прочность химической связи больше, чем между ними. Возможны цепочки одинарные (например, в силлиманите $\text{Al}[\text{SiAlO}_3]$) или вдвоенные (антофиллит $\text{Mg}[\text{Si}_2\text{O}_6](\text{OH})$).

4. Слоистый (листовой) Межплоскостные расстояния в пределах плоскости (слоя) меньше, чем между слоями, и соответственно атомы прочнее связаны с соседними атомами слоя, чем с атомами другого слоя (графит, тальк $\text{Mg}_3[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2$ брусит $\text{Mg}(\text{OH})_2$).

5. Каркасный- характеризуется ажурным объемным соединением координационных полиэдров общими вершинами или ребрами: кварц SiO_2 и полевые шпаты, например альбит $\text{Na}[\text{SiAlO}_3]$. В пустотах каркаса могут располагаться большие по размерам атомы.

Minerals are not ideal, but real systems of interacting atoms characterized by break-downs in the periodicity of crystalline structure.

4.1.4 Morphology of Minerals

Морфология определяется внутренней структурой минералов и условиями их образования. Minerals are practically always in the form of monomineral or polymineral intergrowths or aggregates. Mineral individuals entering into the composition of aggregates are distinguished by their outer appearance, i.e. size and morphology.

Размеры минеральных индивидов могут быть самыми разнообразными: от мельчайших частиц, различимых только при микроскопических увеличениях в десятки и даже сотни тысяч раз, до гигантских кристаллов объемом несколько м. В зависимости от размеров различают тонкодисперсные (10 мкм и меньше); скрытокристаллические (10 — 10 м) индивиды, не различимые без микроскопа, тонко- (10 — 10 м), мелко- (10 — 10 м), средне- (10-10 м), крупнозернистые (10-10 м) и гигантские (10 м) индивиды. Некоторые минералы не образуют крупных кристаллов, например, частицы глинистых минералов всегда меньше сотых и даже тысячных долей миллиметра. Чаще всего минералы представлены мелкими кристаллическими зернами размером не более нескольких миллиметров. Многие из них, а частности кварц, полевой шпат, слюда и другие, могут встречаться в виде мельчайших зерен и очень крупных кристаллов [33].

Степень идиоморфизма и габитус зависят от кристаллической структуры и условий роста. Возникают кристаллы различного облика (габитуса) — изометрического (например, галит, галенит, сфалерит, оливин и др.), листоватого и чешуйчатого (например, молибденит, слюды, тальк), дощатого (барит), столбчатого и игольчатого (рутил, актинолит, турмалин). На некоторых кристаллах наблюдается характерная штриховка, а также формы роста и растворения.

Ограненные минеральные индивиды правильной формы называются идиоморфными, например, кристаллы алмаза, кварца в эффузивных горных породах, магнетита в метаморфических породах, циркона в щелочных пегматитах, мельчайшие частицы каолининовой глины. Неограниченные или

частично ограниченные минеральные индивиды имеют неправильную форму или повторяют очертания других индивидов, с которыми находятся в сростаниях, и называются ксеноморфными.

Морфология минеральных индивидов (рис. 4.3), характеризующаяся степенью изометричности, выражается в различном соотношении их длины, ширины и толщины. В зависимости от этого выделяют морфологические типы, подтипы и разновидности минералов. Изометричные кристаллы или зерна имеют одинаковые размеры во всех трех направлениях, например, кристаллы алмаза, магнетита, граната, сфалерита и пирита. Обычно изометричные неограниченные зерна минералов, таких, как кварц, полевые шпаты, оливин, кальцит, слагают различные горные породы [33].

Среди минералов удлиненного типа встречаются столбчатые, игольчатые, волокнистые или нитевидные разновидности. Примером удлиненных минералов служат турмалин, берилл, натролит, скаполит, джемсонит, хризолит-асбест и др. Уплощенные минералы представлены таблитчатыми, тонкотаблитчатыми, листовыми и тонкочешуйчатыми разновидностями. Обычно уплощенный облик имеют ильменит, гематит, биотит, хлорит, торбернит и др.; уплощенно-удлиненный — волластонит, сподумен, кианит, антимонит и др. и удлиненно-уплощенный — колумбит, гипс, барит.

Морфология минералов во многом определяется типом кристаллической структуры. Например, минералы с цепочечным и ленточным структурным мотивом чаще встречаются в виде удлиненных, а со слоистым мотивом — в виде уплощенных индивидов. Минералы с плотнейшей кубической упаковкой атомов обычно изометричны, а гексагональной — уплощены или удлинены.

Габитус минералов средней и низшей категории симметрии зависит также от параметров элементарной ячейки. Если отношение параметров c/a_0 и $2c_0/(a_0+b_0)$ близко к единице, то минералы чаще встречаются в виде изометричных кристаллов. В отличие от них у минералов удлиненного морфологического типа отношение тех же параметров меньше, а у минералов уплощенного типа больше единицы.

Габитус минералов, относящихся к одной и той же сингонии, определяется их принадлежностью к тому или иному классу симметрии и степенью развития граней соответствующих простых форм. Например, кристаллы пирита часто встречаются в виде кубов, пентагондодекаэдров, октаэдров или их комбинаций, но никогда не покрываются гранями тетраэдра или ромбододекаэдра [33].

Минералы редко встречаются в виде правильных кристаллов. Чаще всего они представлены искаженными формами с неодинаковыми размерами граней, имеют ступенчатое строение или искривлены, часто покрыты штриховкой и различными фигурами роста или растворения. Искажения обусловлены неодинаковым развитием граней. Образование уплощенных форм пирита или шеелита и других минералов, приуроченных к тонким прожилкам, обусловлено ростом в стесненных условиях. Асимметрия кристаллов кварца, выражающаяся неравномерным развитием граней ромбоэдра, объясняется их неодинаковой ориентацией относительно направления потока минералообразующих растворов.

Характерной особенностью рельефа граней многих минералов является их искривление, которое часто связано с механическими деформациями и дислокационными сдвигами, установленными, например, для антимонита, галенита, молибденита. На поверхности граней этих минералов часто видна штриховка скольжения. Выпуклые грани комбинационного типа свойственны кристаллам округлого габитуса, например алмаза, получившим название октаэдроидов и додекаэдроидов. Искривленное или ступенчато-мозаичное строение имеют также грани расщепленных кристаллов, образующих седловидные, веерообразные или скрученные габитусные формы (доломит, пирит, кварц, десмин и др.). Угловая разориентация субиндивидов в расщепленных минералах связывается с захватом примесей и образованием краевых дислокаций в процессе роста [33].

Наряду с обычными объемно-выпуклыми ограниченными индивидами многие минералы встречаются в виде "скелетных" кристаллов различного габитуса, которые описываются как

одномерные (линейные), двумерные (плоские) и трехмерные (объемные) реберники, вершинники и многогранники с входящими углами (гранные пучки). К одномерным скелет. ным кристаллам относятся нитевидные кристаллы (викерсы, или "кристаллы — усы"), например, джемсонита в виде тонких волокон, геликоидов (скрученных. вдоль -удлинения или наподобие пружины) и даже замкнутых в кольца, волосовидные кристаллики рутила или актинолита [33].

Минеральные агрегаты. Наряду с отдельными кристаллами в природе образуются также сростки, как закономерно ориентированные по отношению друг к другу (двойники, параллельные и эпитактические сростки), так и без взаимной ориентации. По морфологии агрегатов выделяются друзы (щетки), дендриты, зернистые, плотные и землистые массы, солиды и сферолиты, секретиции и конкреции, различные натечные агрегаты, характерные для минералов экзогенного происхождения.

Обычно минералы находятся в незакономерных сростаниях, которые могут быть сложены одним или несколькими минералами. Минеральные агрегаты отличаются размером, формой и характером пространственного размещения слагающих их минеральных индивидов. Различаются крупно-, средне- и мелкозернистые, кристаллически-зернистые и скрыто-кристаллические, равномерно- и неравномернозернистые агрегаты с закономерной или незакономерной ориентировкой минеральных зерен. Минеральные агрегаты могут быть плотными или массивными, пористыми, землистыми, вязкими, рыхлыми или сыпучими. Кристаллически-зернистыми агрегатами минералов сложено большинство изверженных, метаморфических, осадочных горных пород, а также различные руды. Пористые и рыхлые агрегаты характерны для продуктов вулканических извержений, многих осадочных пород, почв и т.п. [33].

Параллельные сростания двух и более индивидов с одинаковой кристаллографической ориентацией обычно мономинеральны. Одни из них представляют собой сингенетические сростания, например, кристаллов флюорита или кварца; другие — эпигенетические — образуются при нарастании поздней генерации минералов на предшествующую. Как правило, они представлены самостоятельными разновидностями, отличающимися морфологией, составом и содержанием примесей, структурными особенностями или физическими свойствами. Двойниковые плоскости сростания обычно параллельны граням или направлениям с самой большой ретикулярной плотностью. Двойниковая ось может являться нормалью к этим граням и направлениям, совпадать с направлением ребер на пересечении наиболее плотных атомных сеток или быть перпендикулярной этим ребрам, если находится вдвойниковой плоскости.

Крустификационные агрегаты — друзы, щетки, кристаллические, натечные и сферолитовые корки — слагают различные по размерам и форме пустоты — секретиции. Крупные секретиции (размером от нескольких сантиметров до нескольких метров) называют жеодами, занорышами, погребами, отдушинами, мелкие (менее 1 см) — миаролами и миндалинами. Секретиции могут быть выполнены полностью или частично кристаллами или сферолитами одного или нескольких минеральных видов. Минеральные индивиды, слагающие крустификационные агрегаты в секретициях, могут иметь беспорядочную или, реже, закономерную, обычно параллельную, ориентацию. Беспорядочно ориентированные индивиды образуются из множества мелких кристаллических зародышей со случайным закреплением на неровных стенках пустот. Ориентированные агрегаты возникают также путем кристаллизации на пористой стенке, с образованием параллельно-волокнистых агрегатов нитевидных кристаллов, например гипса, халькантита и др. Ориентирующее влияние на индивиды может оказывать, кроме того, основание, на котором происходит кристаллизация. Это могут быть закономерно ориентированная сеть трещины, слоистость вмещающих пород или крупный кристалл, который служит подложкой при эпитаксиальном росте [33].

Шаровидные, желваковые, овальные, почковидные и другие минеральные агрегаты округлой формы называются конкрециями, стяжениями и оолитами. Конкреции в отличие от секретаций образуются при кристаллизации от центра к периферии, имеют концентрически-скорлуповатое

или концентрически-зональное строение. Образование конкреций связано с собирательной кристаллизацией в пористых, обычно осадочных породах за счет рассеянного в них вещества [33].

Рассмотрим классификацию минеральных выделений по размеру, значение морфологических типов структур и текстур при обогащении руд. Характеристика минеральных выделений служит основой для разработки технологических схем и прогноза показателей обогащения [44].

Идиоформизм — понятие групповое, охватывающее разнообразные кристаллические формы минералов различных сингоний. Минеральные выделения с неполным развитием кристаллических граней называют гипидиоморфными. Очертания аллотриоморфных или ксеноморфных выделений зависят от формы заполняемого ими пространства. Если минеральные выделения образуются при кристаллизации растворов, то их называют кристаллическими зернами. Минеральные выделения, образовавшиеся в процессе метасоматоза, называют метазернами. В результате коагуляции коллоидных растворов возникают различные формы коллоидных образований. При перекристаллизации и раскристаллизации коллоидов образуются бластозерна. Характерной особенностью этих минеральных выделений является их кристаллическое строение. Форма метазерен зависит главным образом от скорости кристаллизационного роста минералов. В этом случае идиоморфные очертания будут иметь только зерна минералов, обладающих наибольшей скоростью кристаллизационного роста. ^

После дробления и смятия под влиянием идиометаморфизма осколки хрупких минералов обладают угловыми очертаниями (пирит, арсенопирит, кварц и др.). Осколки мягких и ковких минералов имеют сплюснутый вид и сглаженные контуры (золото, серебро, медь, платина и др.). Осколки минералов с резко выраженной спайностью в одном направлении имеют вид чешуек, пластинок (молибденит, графит, серицит и др.). Форма осколков, образующихся при выветривании, зависит также от физических и плотных атомных сеток или быть перпендикулярной этим ребрам, если находится в двойниковой плоскости.

Крустификационные агрегаты — друзы, щетки, кристаллические, натечные и сферолитовые корки — слагают различные по размерам и форме пустоты — секрции. Крупные секрции (размером от нескольких сантиметров до нескольких метров) называют жеодами, занорышами, погребами, отдушинами, мелкие (менее 1 см) — миаролами и миндалинами. Секрции могут быть выполнены полностью или частично кристаллами или сферолитами одного или нескольких минеральных видов. Минеральные индивиды, слагающие крустификационные агрегаты в секрциях, могут иметь беспорядочную или, реже, закономерную, обычно параллельную, ориентацию. Беспорядочно ориентированные индивиды образуются из множества мелких кристаллических зародышей со случайным закреплением на неровных стенках пустот. Ориентированные агрегаты возникают также путем кристаллизации на пористой стенке, с образованием параллельно-волоконистых агрегатов нитевидных кристаллов, например гипса, халькантита и др. Ориентирующее влияние на индивиды может оказывать, кроме того, основание, на котором происходит кристаллизация. Это могут быть закономерно ориентированная сеть трещины, слоистость вмещающих пород или крупный кристалл, который служит подложкой при эпитаксиальном росте [33].

Шаровидные, желваковые, овальные, почковидные и другие минеральные агрегаты округлой формы называются конкрециями, стяжениями и оолитами. Конкреции в отличие от секретов образуются при кристаллизации от центра к периферии, имеют концентрически-скорлуповатое или концентрически-зональное строение. Образование конкреций связано с собирательной кристаллизацией в пористых, обычно осадочных породах за счет рассеянного в них вещества [33].

Рассмотрим классификацию минеральных выделений по размеру, значение морфологических типов структур и текстур при обогащении руд. Характеристика минеральных выделений служит основой для разработки технологических схем и прогноза показателей обогащения [44].

Идиоформизм — понятие групповое, охватывающее разнообразные кристаллические формы минералов различных сингоний. Минеральные выделения с неполным развитием кристаллических

граней называют гипидиоморфными. Очертания аллотриоморфных или ксеноморфных выделений зависят от формы заполняемого ими пространства. Если минеральные выделения образуются при кристаллизации растворов, то их называют кристаллическими зернами. Минеральные выделения, образовавшиеся в процессе метасоматоза, называют метазернами. В результате коагуляции коллоидных растворов возникают различные формы коллоидных образований. При перекристаллизации и раскристаллизации коллоидов образуются бластозерна. Характерной особенностью этих минеральных выделений является их кристаллическое строение. Форма метазерен зависит главным образом от скорости кристаллизационного роста минералов. В этом случае идиоморфные очертания будут иметь только зерна минералов, обладающих наибольшей скоростью кристаллизационного роста. ^

После дробления и смятия под влиянием идиометаморфизма осколки хрупких минералов обладают угловыми очертаниями (пирит, арсенопирит, кварц и др.). Осколки мягких и ковких минералов имеют сплюснутый вид и сглаженные контуры (золото, серебро, медь, платина и др.). Осколки минералов с резко выраженной спайностью в одном направлении имеют вид чешуек, пластинок (молибденит, графит, серицит и др.). Форма осколков, образующихся при выветривании, зависит также от физических и химических свойств минералов. На форму осколков большое влияние оказывает степень их окисленности. Осколки легко окисляемых минералов отличаются неправильной формой и извилистыми очертаниями (сфалерит, халькопирит, пирротин и др.). Устойчивые к растворению и окислению минералы характеризуются постоянством формы зерен и их обломков (гранит кварц, касситерит и др.). Осколки, окатанные и округленные при переносе водными потоками, называются обломками. Структура руд, связанная с характеристикой минеральных агрегатов приведена в табл. 4.1 [44].

Минеральные агрегаты сложены как рудными, так и нерудными минералами гипогенного или гиперогенного происхождения. Широко распространены полиминеральные агрегаты, сложенные несколькими минералами реже встречаются мономинеральные, сложенные одним минералом. Из приведенных данных видно, что структура и морфология минеральных образований описываются пока в основном качественно. Основными являются следующие параметры.

1. Распределение размеров минеральных выделений.
2. Тип и параметры кристаллической структуры.
3. Перечень и плотность дефектов кристаллической структуры.
4. Преимущественный и морфологический тип, габитус минералов и искажение формы.
5. Тип сростаний.
6. Тип минеральных агрегатов.

4.2 Mineralogy of non-ferrous metals

Из большого числа известных в природе минералов (около 5000) в промышленных месторождениях встречаются лишь несколько сотен. Для технологии руд представляют интерес минералы, содержащие ценные компоненты, и минералы вмещающих пород. Таких минералов (не считая разновидностей) насчитывается около 260.

Variability in the content of admixtures in minerals is very great even for one and the same mineral species. The form of their entering in minerals is varied. A part of them is connected with the mechanical inclusions of minerals of another composition. The chemical impurities mainly occupy the positions of species forming elements, functioning as their quasi-substitutes, or are located in the interstices of the crystalline structure. Besides, the chemical impurities often correspond to the dislocations or are concentrated on the boundaries of individuals in the crystallogained mineral aggregates, and are also adsorbed in dispersed minerals. Certain deviations from the ideal chemical composition of minerals may be connected with unstoichiometry. Minerals of the latter type, as a rule, are distinguished by a high concentration of anion or cation vacancies and unusual charges of ions. The unstoichiometry of minerals is often conditioned by the entering of the interstitial ions, the redundant charges of which are compensated by an increase in the ionic charges of the opposite

4.2.1.Классификация

In accordance with classification of minerales non-ferrous metals may be represented the following classes:

1. Native elements metals
2. Sulphides and their analogues, e.g. arsenides, antimonides, bismuthides, tellurides, selenides. •
3. Oxides and hydroxides
4. Солеобразующие минералы
5. Silicates aluminosilicates and their analogues represented by - titanosilicates, zirconium silicates, and beryllium silicates. This class is important as вмещающие породы и нерудные компоненты

ПОРОДООБРАЗУЮЩИЕ МИНЕРАЛЫ (rock-forming minerals) принадлежит классам силикатов, карбонатов, оксидов, хлоридов и сульфатов. По процентному содержанию в породе выделяют главные (основные) П.м. (св. 10%), второстепенные (1—10%), акцессорные минералы (менее 1%). Наиболее распространенные П.м.: кварц, полевые шпаты, слюды, амфиболы, пироксены, оливин, глинистые минералы и др.

Различают П.м.: светлые (салические, лейкократовые)— кварц, полевые шпаты, фельдшпатоиды и др.; и темноцветные (мафические, меланократовые)— биотит, амфиболы, пироксены, оливин и др. По составу гл. П.м. выделяют силикатные, карбонатные и галогенные г. п., по парагенезису П.м.— разл. типы г. п. П.м., определяющие наименование породы, наз. кардинальными (напр., кварц, микроклин, олигоклаз в гранитах), Различают первичные П.м. (сингенетичные сформированием всей породы) и вторичные П.м. (возникающие при любых преобразованиях породы). Хим. элементы, слагающие гл. П.м. наз. петрогенными (Si, Al K Na Ca Mg, Fe, C, Cl F, S, O, H).

Большинство сульфидов — полупроводники или те, к-рые обладают металлич. проводимостью (сульфиды с кластерами металл — металл в структуре). Нек-рые С. п. отличаются магнитностью (клинопирротин), ковкостью (халькозин, акантит). Осн. масса С. п. образуется гидро- термальным путем; известны также сульфиды магматич. метаморфич. генезиса; нек-рые из них возникают в результате экзогенных процессов С. п. гидротермального генезиса часто образуют крупные скопления (м-ния колчеданные и полиметаллические), характерны также для скарнов, где являются, как правило, продуктами поздних гидротермальных этапов. Пирит, сфалерит, галенит, халькопирит и некоторые др. С. п. типичны для отложений совр. гидротерм (п-ов Челекен), областей активного вуланизма (Камчатка и др.), могут возникать а восстановит. условиях и на земной поверхности (напр. в зараженных сероводородом бассейнах, осадочных породах — углях, фосфоритовых конкрециях и др.), в зоне Цементации (вторичного сульфидного обогащения) рудных м-ний. Магматич. происхождение имеют мельчайшие каплевидные вкрапленники сульфидов в лавах нек-рых вулканов Ключевской группы, о-вов Кунашир и Парамушир, а также халькопиритперотин-пентландитовые дифференцир. каплевидные образования в основных породах (напр., на Норийских медно-никелевых м-ниях).

В поверхностных условиях сульфиды-полупроводники (за исключением киновари) легко окисляются, переходя в сульфаты (часто легкорастворимые), и замещаются оксидами, карбонатами, иногда элементарными веществами (самородные медь, серебро и др. металлы), силикатами (гемиморфит за счет сфалерита), галогенидами (галогениды серебра, свинца, ртути и др.)

СУЛЬФИДНЫЕ РУДЫ (sulphide ores) включают соединения тяжёлых металлов с серой (сульфидов). К ним относятся также селенистые, теллуристые, мышьяковистые и сурьмянистые соединения металлов, а также руды колчеданных месторождений, (massive sulfide ore) источником никеля, кобальта, меди, цинка, свинца, молибдена, висмута, сурьмы и ртути. В зависимости от соотношения сульфидов и др. минералов выделяют С. р. сплошные, или (мас-сивные) с преобладанием сульфидов, и прожилковые, или вкрапленные, с преобладанием несulfидных

минералов. С. р. бывают простые, или монометаллические, и комплексные, или полиметаллические. Особенно распространены полиметаллич. С. р., в состав к-рых входят сульфиды меди цинка и свинца, а также комплексные руды никеля и кобальта, сурьмы и ртути. Во многих С. р. в качестве примесей присутствуют платина, золото, серебро, кадмий, индий, селен теллур. Подавляющее большинство м-ний С. р. относится к эндогенным с преобладанием среди них гидротермальных. Чаще всего они образуют жилы; кроме того, среди них известны пласты, линзы, штоки и трубообразные залежи. Такие тела С. р. вытягиваются в длину и на глубину на сотни м — первые км; запасы руды в них достигают сотен млн. и даже млрд. т, а запасы металлов десятков, сотен тыс. и даже неск. млн. т (при содержании металлов в руде от десятых долей до первых десятков процента).

ОКСИДЫ ПРИРОДНЫЕ (natural oxides) хим. соединениями разл. элементов с кислородом. Из ок. 300 минеральных видов, Наиболее распространены оксиды Si, Fe, Mn, Al, в меньшей мере Si, U. Большинство — соединения с ионной связью, однако минералы кремнезёма характеризуются ковалентной связью, так же как As, Se, Te и халькофильных элементов (Si, Pb, Zn, Sn, Hg, Cd, In, Bi, Sb). В класс оксида включают гидроксиды и оксигидраты соединения, содержащими одновременно O и OH).

К простым относятся минералы, содержащие только один кристаллохим. сорт катионов, т. е. соединения типа RO, RO₂, RO₃, включая и изоморфные смеси с такими типовыми формулами (напр., с изовалентным изоморфизмом Mg-Fe, Mn-Fe, Al-Fe и т. д.).

Наиболее распространённые кварц, корунд, гематит, рутил, касситерит, пиролюзит, уранинит, бадделит;

. К сложным относятся минералы с двумя и более кристаллохим. сортами катионов, с типовыми формулами ABO₃, ABO₂, ABO, ABBO и т. д. например шпинель, хризоберилл, титанотантало-ниобаты, вольфрамит и др. Наиболее распространены магнетит, хромшпинелиды, шпинель, ильменит, вольфрамит, колумбит-танталит, пирохлор-микролит, перовскит, лопарит. В оксидах часто проявляется изо- и гетеровалентный изоморфизм. Известны изоморфные ряды среди титанотантало-ниобатов,

Для ряда сложных оксидов характерны существенные отклонения состава от стехиометрии, связанные с явлениями ионного обмена, изоморфным вхождением высокозарядных ионов (напр., U, Th, TR вместо Ca, и т. п.), адсорбцией примесей и переходом в метамиктное состояние.

Кристаллич. структуры большинства О. п. строятся по принципу заполнения катионами пустое в плотнейшей упаковке из анионов O²⁻. При этом в простых О.п. высокозарядных катионов (Ti, Zr) плотнейшая упаковка сильно искажена. Ещё большие искажения наблюдаются у сложных О. п., напр. титанатов и титано-тантало-ниобатов, обнаруживающих большое разнообразие структурных мотивов: цепочечные, субслоистые и др. вплоть до наиболее рыхлых — каркасных (перовскит, пирохлор). Плотность О. п. в целом ниже, чем у сульфидов, а твёрдость — выше.

Титано-тантало-ниобаты распространены в пегматитах, карбонатитах, редкометалльных гранитах. О.п. обычно устойчивы к процессам окисления и часто накапливаются в россыпях (магнетит, ильменит, рутил, касситерит, колумбит, лопарит и др.) или корах выветривания (пирохлор, колумбит). Отдельные О.п. наоборот, образуются в узком диапазоне условий и потому типоморфны для определённых геол. обстановок (напр., бадделит — для карбонатитов, хризоберилл — для скарново-грейзеновых м-ний)

Большое практич. значение О.п. определяется тем, что к ним принадлежат такие важнейшие рудные минералы, как касситерит, ильменит, рутил, лопарит, пирохлор, микролит, танталит, колумбит, вольфрамит бадделит и др.

Из солеобразующих минералов наиболее распространены **КАРБОНАТЫ**

Соль угольной кислоты H₂CO₃. В природе известно св. 120 К. Выделяют: бикарбонаты — кислые соли, гидрокарбонаты — основные соли, безводные и водные нормальные К. п., сложные К. п., содержащие дополнит. анионы F, Cl - (SO₄) или [PO₄] Особое положение среди К. п. занимают

уранил-карбонаты. В К. п. ведущие катионы Ca, Mg, Na, Fe, реже встречаются карбонаты Ba, Sr, Mn, Pb, Zn, Си. Катионы Na, K, а также (NH) чаще образуют бикарбонаты или двойные соли. Известен ряд К. п. и фторокарбонатов с (UO), Се, La.

Непрерывный изоморфизм проявляют пары Fe Mn и Mg Fe Структуры К. п. в осн. островные с плоскими изолированными треугольными радикалами [CO₃] -

Карбонаты-характерные жильные минералы гидротермальных средне- и низкотемпературных м-ний (свинцовоцинковых, блёклорудных, арсенидных и др.). Известны жильные тела с редкоземельными фторокарбонатами (бастнезит, синхизит) в ассоциации с баритом, флюоритом, гематитом гидротермального происхождения.

Карбонаты Pb, Zn, Си, (UO), реже Co, Ni— типичные минералы зон окисления рудных м-ний.

Большое значение имеют вольфраматы (tungstates)- соли вольфрамовой кислоты HWO. Для них характерен комплексный тетраэдрич. радикал [W0]— устойчивый в соединениях с крупными катионами шеелит CaWO и штольцит PbWO Кристаллизуется в тетрагональной сингонии, структуры островные, кристаллы зометричные или таблитчатые

Представители моноклинных В.п. — вольфрамит (Fe, Mn)WO и санмартинит(Zn, Fe)WO Характерны изоморфные замещения WO на MoO (в шеелите может содержаться до 20% MoO), приводящие к уменьшению плотности молибденсодержащих фаз а также изоморфные замещения Fe — Mn—Zn, свойственные вольфрамиту и санмартиниту, влияющие на плотность. *Вольфрамиты* образуются в гидротермальном и скарновом процессах, Шеелит и вольфрамит — осн. минералы ВОЛЬФРАМОВЫХ РУД.

МОЛИБДАТЫ— соли молибденовой к-ты RMoO, где R — гл. обр. Ca, Fe Си, РЬ, Bi, U, (UO). Иногда присутствуют примеси W, As, Sb, Р и др.

Характерно изоморфное замещение молибдена вольфрамом. Значит часть М. п. кристаллизуется в тетрагональной (повеллит CaMoO и вульфенит РЬMoO), ромбической [**ферримолибдит** Fe(MoO) 7H0 гёхлинит Bi(MoO)O, седовит U (**MoO**) и др.] и моноклинной сингонии [линдгрениит Cu(MoO)(OH) и др.]. Мн. молибдаты уранила кристаллизуются как в ромбич. так и моноклинной сингонии: умохоит (UO)[MoO]• 2—4H₂O, иригинит (UO)[MoO]—3H₂O, калькурмолит Ca(UO)[MoO]з(OH)- 7H₂O, натрурмолит Na₂(UO₂):[MoO₂].5(OH)-8H₂O и др. Кроме собственно молибдатов, к М.п. относят также ряд минералов, являющихся мышьяково-молибденовыми и фосфоро-молибденовыми.ЕЕЕ Молибдаты типичные минералы зон окисления молибденовых полиметаллич. и урановых м-ий. Повеллит — наиболее распространенный вторичный минерал м-ний молибденита. Ферримолибдит характерен для этих м-ний лишь при повышенном содержании в рудах пирита или пирротина. Оба они самостоят. значения не имеют, хотя *при* значит. скоплениях могут использоваться совместно с молибденитом в качестве руды на молибден. Вульфенит развивается в зоне окисления свинцовых м-ний, руды к-рых содержат вкрапленность молибденита (полиметаллич. м-ния Центр, Казахстана) в отд. случаях имеет пром. значение (напр., м-ние Маммот-Майн, Аризона, США).

Силикаты (silicates)-соль кремниевой, изо- и гетерополикремниевых кислот. На долю С. п. приходится до 75% массы земной коры и ок. 25% минеральных видов. В природе известно св. 700 С. п., включая важнейшие порообразующие минералы (полевые шпаты, пироксены, амфиболы, слюды и др.).

. В основе кристаллич. структуры С. п. лежат тетраэдрич. радикалы [SiO]полимерные радикалы, в которых мостиковые атомы О связывают 2 атома Si смежных SiO-тетраэдров (в изополикремниевых радикалах) или атомы Т (Т — Si, Al, В, Be, Fe и др.) в ТО-тетраэдрах (в гетерополикремниевых радикалах). В зависимости от атома Т последние получили название алюмо-, боро-, берилло-, ферри- и т. д. силикатов.

Роль катионов играют . Na, Мд, Al, Fe, К, Са, Мп наиболее распространены в земной коре и составляют вместе с О и Si до 99% её объёма. Обычны также Ti, Zn, TR. Менее распространены силикаты V, Ni, Nb, Th, U, Sr, Cs, Ba. Особое место занимают халькофильные элементы: Cu, Zn, Sn, Pb, As, Sb и Bi.

4.2.2. Свойства минералов

В таблицах ?? приведены составы, генезис, парагенезис основных минералов non-ferrous руд, а также месторождения CIS, в которых эти минералы играют существенную роль. Для ориентировки указаны также некоторые крупные месторождения мира, связанные с этими минералами.

4.3. Механические свойства минералов Рудоподготовка

Механические свойства минералов изменчивы не только у различных образцов одного и того же минерала, но и у каждого образца. Это связано с анизотропией кристаллов, свойства которых различны по различным кристаллографическим направлениям. При этом различаются не только величины деформаций, твердости, упругости, но, например, в одном направлении кристалл может вести себя как пластичный, а в другом - хрупкий. The mechanical properties of minerals become apparent when the mechanical action, exerted on them by the external forces during compression, stretching or shock, takes place. They are expressed in the changing of their form and integrity The following types of deformation are distinguished: elastic, brittle and plastic

4. 3.1 Деформация кристаллов

Характер деформации кристалла при растяжении и сжатии иллюстрируется рис.4.4 Напряжение σ характеризует величину внутренних сил P на единицу площади S растягиваемого образца: $\sigma = P/S$ кГ/см. Относительное удлинение (или сжатие) $\pm \epsilon = (\Delta l) / l$.

На начальных стадиях растяжения напряжения в кристалле растут примерно пропорционально деформации, поэтому кривая на участке ОА характеризуется прямолинейным отрезком. Деформация в пределах этого участка обратима и полностью снимается при снятии нагрузки, поэтому ее и называют упругой. Максимальное напряжение, до которого кристалл сохраняет упругие свойства, называется пределом упругости $\sigma_{\text{б}}$. Нагрузки, превышающие предел упругости, вызывают уже остаточные деформации кристалла; и он при этом быстро вытягивается, уменьшая наклон кривой (7-е по отношению к оси ϵ (участок АВ). Некоторые кристаллы на этом участке кривой дают горизонтальную площадку (рис. 4.4а), называемую площадкой текучести. Она характеризует момент, когда удлинение кристалла растет без увеличения нагрузки, т.е. кристалл начинает "течь". Соответствующее ей напряжение называется пределом текучести $\sigma_{\text{от}}$. Переход к площадке текучести иногда начинается с острого пика или "зуба текучести" (рис. 4.4,б). В этом случае различают верхний ($\sigma_{\text{б}}$ и нижний $\sigma_{\text{б}}$, пределы текучести. Остаточная деформация $\epsilon_{\text{б}}$, не исчезающая при снятии внешней нагрузки, называется пластической (участок ВС). Дальнейшее увеличение нагрузки и рост напряжений приводят к разрыву, разрушению кристалла. Наибольшее напряжение, возникшее в кристалле за время испытания и приведшее к разрыву образца, характеризует его предел прочности или временное сопротивление $\sigma_{\text{б}}$. В данных условиях оно соответствует и наибольшей внешней нагрузке. Площадь, образованная кривой растяжения и осью ϵ , отражает работу, затраченную на разрыв кристалла.

Если кристалл имеет диаграмму, характеризующуюся наличием области пластической деформации, он называется пластичным. Если же кристалл доходит до разрыва без сколько-нибудь значительного предварительного удлинения и диаграмма растяжения его обрывается сразу же за пределом упругости, он называется хрупким [43]. Хрупкостью называется способность минералов крошиться в результате мгновенного приложения внешних сил, разрушаться без заметных пластич. деформаций (не более 5%, от величины деформации разрушения).

Большинство г. п. предрасположено к такому разрушению и поэтому относится к хрупким материалам.

Х. определяется их минеральным составом, структурно-текстурными характеристиками и внеш. условиями разрушения: темп-рой, скоростью приложения *нагрузки, ее видом (растягивающая, сжимающая, сдвиговая)*

У хрупкого минерала, как например блеклая руда, на краях царапины остается порошок, который легко сдувается. Блестящая бороздка с ровными краями остается на поверхности халькозина, самородных металлов, которые при ударе изменяют свою форму и расплющиваются, т.е. характеризуется ковкостью[33]

Упругостью обладают минералы, исходные размеры и формы которых восстанавливаются после снятия внешних напряжений. Высокой упругостью обладают, например, слюды. Упругость связана с прочностью и типом межатомных связей. С ростом температуры упругость уменьшается. В случае превышения предела упругой деформации возникают хрупкие или пластические деформации [33].

На характер деформации существенное влияние оказывает скорость деформации. Повышение ее способствует хрупкому разрушению.

Большую роль играет масштабный фактор: очень тонкие кристаллы обладают резко повышенной прочностью по сравнению с крупными кристаллами того же минерала.

Феноменологическая теория упругости рассматривает кристалл как анизотропное однородное тело, упругие свойства которого не зависят от положения рассматриваемой точки внутри тела и характеризуются совокупностью констант, являющихся функциями термодинамических параметров. Изменение состояния упруго-напряженного кристалла определяется компонентами тензора деформации в окрестностях произвольно выбранной точки кристалла. Оно зависит от действующих на элемент объема сил и конституционных особенностей кристалла. Параметрическое описание упругости и напряженного состояния кристаллов в связи с анизотропией и нестабильностью характеристик достаточно сложно. Классическая теория Фойгта, связывающая компоненты тензора напряжений и тензора деформаций в виде закона Гука $\sigma = c \epsilon$ для анизотропных кристаллов, требует для одного кристалла записи тензора 4-го ранга, который определяется матрицей коэффициентов с размерностью 9×9 . Учитывая, что каждый минерал еще должен характеризоваться статистическим распределением этих параметров с достаточной выборкой образцов, вряд ли можно предполагать возможность практического использования математических моделей теории деформаций.

У реальных кристаллов вслед за упругими обратимыми изменениями, подчиняющимися закону Гука, нередко фиксируются обратимые деформации, но имеющие другую природу. Они не подчиняются закону Гука. Эти неупругие обратимые изменения иногда называют несовершенной упругостью, которая характеризуется запаздыванием деформаций при изменении напряжений или, наоборот, опережением деформаций. По Классен-Неклюдовой, предполагается, что несовершенная упругость вызвана движением атомов (ионов) в кристалле, обусловленным сочетанием разнообразных элементарных процессов диффузии при выравнивании температурных флуктуаций; микроскопической и макроскопической диффузии атомов, вызванной неоднородным распределением чужеродных атомов; диффузии, вызванной анизотропным распределением атомов; возникающим под действием напряжений; диффузии, связанной с упорядочением структуры кристалла; магнитной диффузии и т.п.

Пластическая деформация приводит к значительному изменению свойств кристаллических веществ, однако при самых больших степенях деформации кристаллическое состояние и тип кристаллической структуры сохраняются, пластически деформированный кристалл находится в состоянии метастабильного равновесия. В кристаллах плоскости скольжения кристаллографически фиксированы, и характер деформации не столько зависит от направления приложенной силы, сколько от положения плоскостей скольжения и направления скольжения.

Плоскостями скольжения обычно являются плоскости с наибольшим количеством атомов и имеющие наибольшее межплоскостное расстояние; обычно это плоскости кристалла с высокой степенью симметрии. Скольжение происходит в направлениях с наименьшим межатомным расстоянием, так как в этом случае нарушение в расположении атомов минимально. Смещение кристаллических слоев может происходить как в данном направлении, так и в противоположном (соответственно растяжению или сжатию кристалла). Макроскопически пластическая деформация скольжения происходит путем смещения тонких кристаллических слоев по элементам скольжения (рис. 4.5). Величина смещения при трансляционном скольжении может быть различной в зависимости от степени деформации, но обязательно n -кратной параметру решетки. Поэтому при идеальном трансляционном скольжении сместившиеся кристаллические слои не выходят из положения полного взаимного соответствия и кристаллическая решетка не нарушается. На поверхности деформированного образца возникают выступы в виде ступенек (штриховка скольжения) [43].

И.В. Обреимов и А.В. Шубников показали образование в кристаллах незавершенных (несквозных) сдвигов, и на основании этих экспериментальных данных И.В. Обреимов выдвинул гипотезу о возникновении в деформированных кристаллах дислокаций.

Краевой дислокации соответствует расположение атомов в объеме кристалла, когда одна из атомных плоскостей оборвана или введена лишняя атомная плоскость OM , называемая экстраплоскостью (рис. 4.6). Поэтому ряд 1, лежащий над плоскостью сдвига, содержит на один атом больше, чем подстилающий его ряд 2. Наиболее сильные искажения сосредоточены в непосредственной близости от центра дислокации O . Искажения уменьшаются по мере удаления от центра и уже на расстоянии нескольких атомных диаметров настолько малы, что кристаллы имеют почти совершенную структуру. Область максимальных искажений вблизи центра дислокации называется ядром дислокации, а область вдали от центра ядра, где деформации настолько малы, что к ним можно применять теорию упругости, — упругой областью. Если дополнительная плоскость вводится в верхнюю часть решетки, как на рис. 4.6, дислокация считается положительной, если в нижнюю часть — отрицательной. Под единичной дислокацией понимают дислокацию, у которой параметр b равен постоянной решетки, прохождение такой дислокации через сечение кристалла вызывает смещение его частей на величину b [43].

Винтовые дислокации образуются границей между смещенной и несмещенной частями плоскости в том случае, если эта граница параллельна вектору сдвига. В области этой границы атомы верхней плоскости смещены относительно атомов нижней плоскости тем сильнее. Чем дальше они отстоят от границы, которая является осью дислокации. Перемещение от одного атома к другому в области винтовой дислокации происходит по винтовой линии (рис. 4.7); по направлению винта различают соответственно правую и левую винтовые дислокации. Шаг винта может составлять от одного до нескольких межатомных расстояний на один оборот [43].

Дислокации не являются стабильными дефектами структуры, они могут передвигаться, мигрировать в объеме кристалла. Размножение дислокаций возможно при напряжениях, превышающих предел текучести материала, хотя движение их может происходить и при меньших напряжениях. Предел текучести, таким образом, соответствует тому напряжению, при котором преодолевается потенциальный барьер пластической деформации [43].

Деформация блокированием возникает в тех случаях, когда в процессе деформации напряжения в кристалле распределяются неоднородно. Этому способствуют дефекты на поверхности кристалла (царапины, трещины, зазубрины), мозаичность кристаллов, неоднородное распределение примесей в нем или же неоднородность поля внешних напряжений [43].

Пластическая деформация кристаллов посредством механического двойникования осуществляется так же, если развитию трансляционного скольжения препятствует неблагоприятная ориентировка плоскостей скольжения по отношению к действующей силе или структурные особенности кристалла и условия деформирования благоприятны для образования двойников. В процессе двойникования отдельные участки кристалла переориентируются в результате смещения

частиц так, что кристаллическая решетка внутри двойникового образования становится зеркальным отражением решетки недеформированной его части (рис.4.8) .

Двойниковые прослойки при определенных особенностях напряженного состояния могут возникать не только по одной плоскости, но и по нескольким системам взаимно пересекающихся плоскостей. В месте встречи двойниковых прослоек, например, в кальците образуется канал ромбовидной формы (канал Розе), который может пронизывать весь кристалл. Присутствие густой сети таких очень тонких каналов приводит к увеличению объема кристалла [43] .

4.3.2. Разрушение кристаллов

Если напряжения, возникающие в твердом теле, достигают (по величине) его предела прочности, происходит хрупкий разрыв. Хрупкое разрушение кристаллов определяется направлением приложения разрушающей нагрузки и особенностями кристаллической структуры, так что разрушение кристалла происходит по фиксированным кристаллографическим направлениям. От положения кристаллографических плоскостей зависит и форма поверхностей излома. Хрупкое разрушение кристалла по системе гладких кристаллографических фиксированных плоскостей, ориентировка которых определяется направлениями ослабленной силы связи между элементарными частицами кристаллической структуры, называется спайностью [43].

Спайность проявляется как способность кристаллов раскалываться по определенным кристаллографическим плоскостям с образованием блестящих поверхностей. Спайность может проявляться в одном, двух, трех, четырех и шести кристаллографических направлениях. Кристаллы слюды можно расщепить по спайности на тончайшие листочки—у нее спайность в одном направлении по пинакoiду (001). Ромбоэдрический кристалл кальцита легко раскалывается по трем направлениям (по ромбоэдру) , тогда как в других направлениях спайные плоскости не образуются [33].

Анизотропия связана с плоскостями спайности, которые параллельны направлениям сеток пространственной структуры кристаллической решетки с наибольшими Межплоскостными расстояниями. Шкала спайности имеет качественный характер:

1. Весьма совершенная спайность — кристалл колетя на тончайшие пластинки с зеркальной поверхностью (слюда,)
2. Совершенная — кристалл в любом месте колетя по определенным направлениям, образуя ровные, иногда ступенчатые поверхности (кальцит, галенит).
3. Средняя - при расколе образуются как ровные спайные, так и неровные поверхности (полевые шпаты, роговая обманка) .
4. Несовершенная - ровные спайные поверхности редки, при разломе большей частью образуется неправильная поверхность скола (берилл, апатит).
5. Весьма несовершенная спайность - кристаллы имеют неровные поверхности при расколе (кварц, касситерит) .

В различных направлениях спайность кристалла может быть одинаковой или равной по степени совершенства. Минералы, не имеющие спайности или имеющие несовершенную спайность, раскалываются по неровным поверхностям излома. По характеру этих поверхностей излом в минералах может быть неровный (самородная сера, апатит, касситерит) , ступенчатый (полевые шпаты) , занозистый (актинопит, тремолит) , раковистый (кварц, халцедон, опал), крючковатый (самородные элементы - золото, медь, платина) и других видов.

Отдельностью называется способность минералов раскалываться с образованием ровных поверхностей на сколах по направлениям, совпадающим с плоскостями двойникового, с эпитаксиальными вростками, с ориентированными включениями продуктов распада твердых растворов, с неоднородностями и включениями по зонам роста и др. Характерна, например, отдельность по пинакoiду (001) у корунда, связанная с тончайшими включениями мусковита [33].

4.3.3. Твердость минералов

Под твердостью минералов понимается его сопротивление механическому разрушению под воздействием более прочного тела. Существует несколько методов определения твердости. В минералогической практике принята шкала Мооса.

В табл. 4.2 ?? приведена шкала твердости и хрупкости минералов. Эта шкала, помимо оценки процессов дробления и измельчения, позволяет анализировать возможность избирательного дробления, измельчения или истирания. Последующая сортировка по крупности позволяет получить обогащенный продукт.

Твердость отражает силу химических связей между атомами и зависит от типа химических связей. Для минералов с ионным типом химической связи характерна низкая или умеренная твердость (галит), а минералы с чисто ковалентной связью очень тверды (алмаз). Минералы со смешанным типом химической связи обычно имеют пониженную твердость, а с водородными и ван-дер-ваальсовыми связями — низкую. В соответствии с этим многие слоистые, водные и молекулярные кристаллы отличаются низкой твердостью. Для минералов с плотнейшей упаковкой или каркасной структурой характерна умеренно высокая твердость. Сравнение подобных в структурном и аналогичных в химическом отношении минералов показывает, что с увеличением заряда катиона или аниона растет твердость [33].

В изоморфных сериях твердость минералов изменяется вместе с составом; особенно существенно, если при этом изменяются степень ионности — ковалентности химической связи, валентность ионов, их размеры и соответственно плотность упаковки и координация.

исследование зависимостей механический параметр-состав позволяет. не только использовать методы механических испытаний для приближенного определения содержания тех или иных элементов в минерале, но и судить о прочности межионных связей и типе вхождения изоморфной примеси в узлы его кристаллической решетки. Примеры влияния изоморфных примесей на твердость минералов приведены на рис. 4.9 [43].

Заметное влияние на микротвердость минералов оказывают точечные дефекты — вакансии, интерстиционные атомы и микропримеси, дислокации и степень совершенства (блочность) кристаллических индивидов. Известно, что теоретическая прочность кристаллов значительно выше реальной. Только бездислокационные нитевидные кристаллы (викерсы) имеют прочность, соизмеримую с расчетной [33]. Для минералов характерна анизотропия твердости, особенно у гетеродесмичных минералов, имеющих цепочечное или слоистое строение.

Таблица 4.2

Технологические показатели при обогащении во многом определяются подготовительными операциями, а именно раскрытием^ минералов и крупностью частиц, получаемых в результате измельчения, ^ереизмельче-ние - повышенный выход тонких классов, затрудняющих многие обогатительные процессы, - может быть уменьшено путем применения измельчительных аппаратов, в которых раскалывание частиц происходит преимущественно по границам между зернами минералов (интегранулярно). Обычно применяемые шаровые мельницы в наименьшей степени отвечают этой задаче и, кроме того, имеют низкий коэффициент использования энергии.

В области измельчения перспективно конструктивные решения для эффективного осуществления таких процессов, как самоизмельчение при паде'нии, сухое измельчение, взрывное дробление, вибропомол, измельчение при струйном противоточном движении материала, а также со сбросом давления, измельчение токами высокой частоты, ультразвуком и др. Основанием для этого, в частности, служит то, что рудное и рудногалечное самоизмельчение, помимо экономии расхода измельчающих тел, позволяет в ряде случаев улучшить технологические показатели обогащения путем более избирательного измельчения, а иногда обеспечить достаточное раскрытие рудных зерен при более крупном измельчении, чем в шаровых мельницах. Самоизмельчение и рудногалечное измельчение применяют на оловянных, медных и свинцово-

цинковых, золотоизвлекательных и других фабриках. Полное самоизмельчение руды крупностью 300—500 мм существенно снижает себестоимость переработки руды за счет исключения дробильного цикла.

САМОИЗМЕЛЬЧЕНИЕ(self-milling)- процесс сокращения крупности материалов в измельчительных аппаратах без применения спец. измельчающих тел (шары, стержни и др.). Различают неск. видов С. Рудное первичное С.—измельчение в барабанных мельницах с увеличенной траекторией движения материала, создаваемой за счет применения футеровки с высокими лифтерами, при крупности исходного питания 250— 350 мм, иногда 500—600 мм **без** дробления. Полусамоизмельчение — первичное С. с подгрузкой 3—12% от объема барабана мельницы крупными стальными шарами с целью компенсации недостатка крупных кусков руды в исходном питании и для предотвращения образования в мельнице фракций «критической крупности», т. е. слишком крупных, чтобы быть раздробленными крупными кусками руды, и слишком мелких, чтобы выполнять функции измельчающих тел. Первичное С. (рудное и полусамоизмельчение) совмещает в себе операции среднего мелкого дробления и измельчения, обеспечивая упрощение схемы рудоподготовки, снижение ка-питальных затрат, повышение производительности труда, сокращение расхода стальных измельчающих тел, улучшение селективности раскрытия и в большинстве случаев повышение извлечения полезных компонентов. Недостаток первичного С.—повышенный з 1,2—1,3 раза, по сравнению со стандартной рудоподготовкой, уд. расход электроэнергии. Первичное С. осуществляется как в замкнутом, так и в открытом циклах измельчения с последующим шаровым или рудногалечным измельчением, иногда в одну стадию до конечной крупности.

Рудогалечное С.— измельчение а обычных барабанных мельницах, где измельчающими телами служат куски руды (рудная галля) определённой крупности. Рудногалечное С. обеспечивает снижение удельного расхода шаров и электроэнергии, улучшение показателей обогащения, но вызывает снижение удельной производительности мельниц и введение дополнит. операций по выделению и дозировке рудной гальки. Наиболее эффективно применение рудногалечного С. при тонком помоле, т. к. в этом случае разница а производительностях между шаровым и рудногалечным измельчением становится минимальной. Рудногалечное С. используется на второй и третьей стадиях и при доизмельчении концентратов. Сухое С. в барабанных мельницах в горнорудной пром-сти не нашло практич. применения из-за необходимости подсушки влажных руд и используется крайне редко при С. нерудных стройматериалов.

Полное рудное С. (измельчение без применения стальных мелющих тел по всей схеме рудоподготовки) позволяет в отд. случаях при переработке вязких глинистых руд снизить удельные энергозатраты до уровня показателей стандартной рудоподготовки (дробление и шаровое измельчение).

В СНГ самоизмельчение широко применяется при переработке алмазо- и золотосодержащих, железных, вольфрам молибденовых, редкометалльных, полиметаллич. руд, горнохим. сырья и др. материалов.

Необходимо отметить разработку принципиально новых методов дезинтеграции, обеспечивающих интегранулярный раскол сростков минералов, большую равномерность гранулометрического состава измельченного продукта, повышение к.п.д. и производительности аппаратов.

Кроме мельниц типа "Каскад" все большее распространение получают мельницы самоизмельчения типа "Аэрофол" и др. Когда требуется высокая тонина помола, эффективно струйное измельчение. При этом, кроме воздуха, в качестве рабочей среды могут применяться водяной пар, углекислый газ и т.д. Разновидностью струйного измельчения является процесс Снайдера, основанный на быстром разряжении пара или сжимаемой рабочей жидкости,

находящейся вместе с измельчаемым материалом под давлением. В отличие от широко применяемых измельчительных процессов, где дезинтеграция наступает в результате сдавливания, удара или истирания, разряжение приводит к разрыву частиц, преимущественно интергранулярному. Продолжаются работы в области электрогидравлического, электротермического и вибрационного измельчения [51].

Иногда к рудоподготовке относят методы предварительного выделения максимального количества пустой породы при минимальной степени измельчения каким-либо простым и дешевым методом. Необходимость этой стадии связана с тем, что при разработке месторождений особенно высокопроизводительными методами (открытые разработки, система с массовым обрушением, добыча россыпей) значительное количество породы не содержит ценных минералов. Считается, что отвальные хвосты первой стадии обогащения должны содержать полезного компонента не больше, чем хвосты фабрики при отсутствии такого предварительного обогащения. Однако экономически оправданными могут быть и более богатые хвосты первой стадии; так как высокая степень концентрации на этой стадии не только существенно удешевляет всю переработку, но и позволяет в последующих стадиях достигнуть более высокого извлечения.

На этой стадии в основном применяются спектроскопические и гравитационные процессы обогащения: обогащение в тяжелых суспензиях, отсадка, обогащение на шлюзах и других аппаратах, иногда магнитная сепарация, коллективная флотация сульфидов, разное сочетание процесса измельчения и FeFe 1-х, что позволяет удалять куски пустой я. Перспективны межцикловая флотация, в, отсадочных машин, однокамерных флотационных машин в цикле измельчения. FeFe

Обогащение в тяжелых средах может происходить в жидкой (вода или тяжелая жидкость) и воздушной средах. Кроме того, оно может осуществляться в статических (под действием гравитационных сил) и динамических условиях (в центробежном поле — а гидроциклоне или центрифуге). Обогащение в тяжелых суспензиях широко применяется при переработке дешевых полезных ископаемых (угля, фосфоритов и черных металлов) при обогащении бедного сырья (руд цветных, редких и благородных металлов, алмазов и т.д.).

В настоящее время ежегодно обогащается в тяжелых суспензиях свыше 1 млрд. т горнорудного сырья. Работа действующих установок показала, что основные преимущества метода заключаются в способности эффективно перерабатывать исходное сырье крупностью от 2—5 до 300 мм, а иногда даже до 1200 мм при высокой производительности (до 600—1000 т-ч) с получением отвального продукта, содержащего незначительное количество компонентов, а также в возможности разделения сырья на продукты при незначительной разности в плотности ($\pm 0,003$ г/см³). Кроме того, этот метод обогащения характеризуется невысокими капитальными затратами и эксплуатационными расходами, обусловленными незначительным расходом электроэнергии, воды, утяжелителя и небольшой численностью обслуживающего персонала; процесс легко поддается автоматизации. Основным недостатком этого метода заключается в необходимости отмывки исходного материала от глинистых частиц.

В качестве утяжелителей обычно используются гранулированный ферросилиций, магнетит или его смесь с ферросилицием, реже барит, пирит, песок и др. Плотность суспензий регулируется автоматически с точностью от 0,02 до 0,0025 г/см³. Высокая чувствительность к плотности — одно из основных достоинств метода, что особенно важно, так как изменение плотности на 0,1% приводит к изменению выхода легкой или тяжелой фракций более чем на 50%. Высокая чувствительность к плотности разделения позволяет значительно снизить потери ценных компонентов с отвальными хвостами по сравнению с отсадкой [5].

Одним из важных современных направлений в горном деле является применение циклично-поточной технологии при открытой разработке месторождений в сочетании с рудоподготовкой и предварительным обогащением. В этом случае крупное дробление осуществляется непосредственно в карьере, а радиометрическая сортировка — на транспортерах, доставляющих руду из карьера на фабрику.

4.4 Физические свойства минералов. Первичная концентрация.

При переработке минерального сырья существенны не только отдельные физические свойства минералов но и их сочетание, а также крупность частиц. Определенные физические свойства можно использовать при обогащении смеси минералов только в ограниченном диапазоне крупности. Следует учитывать, что многие физические свойства минералов могут быть изменены химическими методами, например обжигом.

Physical properties of minerals are found and can be measured only in the result of applying external forces and various by their nature of actions-mechanical, radiational, electromagnetic, thermal and others. The interaction with the minerals of various forms of energy is accompanied by its partial or complete absorption and dispersion, change and conversion into other forms which is expressed in the emergence of various physical effects and properties.

A large number of physical properties are connected with the structure and chemical composition of minerals and undergo changes with them. For other properties the presence of defects in minerals plays a significant role. In accordance with this all physical properties are subdivided into primary and secondary.

4.4.1 Механические свойства.

Твердость и хрупкость минералов, помимо процессов дробления и измельчения позволяет анализировать возможность избирательного дробления, измельчения или истирания. Последующая классификация по крупности является обогащательным процессом.

Обогащение по трению и форме основано на использовании различий в скоростях движения разделяемых частиц по наклонной плоскости. При заданном угле наклона она зависит от состояния поверхности частиц, их формы, влажности, плотности, крупности, свойства поверхности, по которой они перемещаются, и характера движения (качение или скольжение) [39].

Величина коэффициента трения определяется в основном формой минеральных частиц.

Частицы могут перемещаться под действием собственного веса (при движении по наклонным плоскостям), центробежной силы (при движении по горизонтальной плоскости вращающегося диска) и в результате комбинированного действия собственного веса, центробежной силы и силы трения (винтовые сепараторы).

Коэффициент трения увеличивается с уменьшением крупности частиц. Поэтому для эффективного разделения необходима узкая классификация материала по крупности. Обычно обогащение по трению применяют для материала крупностью —100—+10 (12) мм. Например, куски слюды, имея пластинчатую форму, движутся по наклонной плоскости медленнее кусков породы и, проваливаясь через щель, попадают на следующую плоскость, где подвергаются очистке [39].

При системе сложных плоскостей отделению пустой породы способствует разница коэффициентов упругости, так как в результате ударов о плоскость отбойника увеличивается разница в траекториях полета кусков пустой породы, сростков и кусков слюды.

Винтовые сепараторы представляют собой двойную наклонную плоскость, свернутую вокруг неподвижной оси по винтовой линии в форме двухзаходного винта. Частицы, имеющие разные коэффициенты трения, движутся на разных расстояниях от оси вращения. Частицы с большим коэффициентом трения имеют меньший радиус траектории движения по желобу, с меньшим коэффициентом трения — больший радиус, благодаря чему и происходит их разделение.

Коэффициенты трения скольжения тяжелых минералов (вольфрамит, касситерит, магнетит) выше коэффициентов трения кварца, вследствие чего разделение частиц на сухом винтовом сепараторе должно происходить и по плотности [39].

Практически эти методы утратили свое значение с исчезновением руд с большими самородками минералов цветных металлов. Для россыпных месторождений они могут использоваться в качестве предварительных концентратов при обогащении руд. Содержащих вольфрамит, касситерит, гранат, циркон, магнетит, кварц, золото, пирит, арсенопирит, слюда, тонкие абразивные порошки и асбест.

Обогащение по упругости основано на разнице траекторий, по которым отбрасываются при падении на поверхность частицы минералов, имеющие различную упругость. Этот процесс применяется при обогащении строительных материалов (щебня и гравия для производства бетона высоких марок) асбеста и осуществляется в специальных барабанных сепараторах, а также в сепараторах с наклонной стальной плитой.

4.4.2 Спектроскопические и радиоспектроскопические свойства минералов.

Цвет, блеск, люминисценция, а также поглощение, отражение и излучение в прилегающих к видимым областям спектра- ультрафиолетовой и инфракрасной, до последнего времени служили диагностическими признаками минералов. В обогащении полезных ископаемых вначале применялась ручная разборка, которая постепенно, с выработкой месторождений, содержащих крупные кристаллы, потеряла свое значение. Однако в последние годы, с появлением сортировочных автоматов, эти свойства вновь стали объектом внимания обогатителей.

При обогащении руд цветных металлов эти методы мало применимы из-за тонкой вкрапленности извлекаемых минералов. Сортировка эффективна при крупности кусков начиная с нескольких см. Поэтому предварительная концентрация руды спектроскопическими методами применяется только на стадии рудоподготовки.

Такая необходимость возникает в случае переработки руды из месторождений типа “все или ничего”. Например, рудные жилы, содержащие металл, отрабатываются вместе с вмещающими породами и жильный минерал, (например, кварц с золотом) разубоживается окружающей породой. Аналогичным образом, возможно отделение сульфидов, которые обычно сростаются вместе, от силикатных минералов.

Первые сортировочные автоматы были основаны на учете естественной радиоактивности минералов и применялись для обогащения урановых руд. Затем возникли сортировочные установки по наведенной радиоактивности, в которых использовались не только γ - и β -, но и нейтронные лучи, например, для руд бериллия. В настоящее время принципиально возможна сортировка по излучению или поглощению лучей в любой части спектра. Однако целесообразность применения конкретных методов определяется выбором источника излучения, возможностью автоматической регистрации излучения и ее разрешающей способностью.

Взаимодействие излучения с веществом характеризуется атомным или ядерным сечением σ , определяемым как вероятность взаимодействия квантов излучения с числом центров N , облучаемых пучком. Для радиометрического обогащения можно использовать физические процессы, которые характеризуются достаточно высоким сечением взаимодействия с химическими элементами. Практически отпадает использование гамма-квантов больших энергий (свыше 20-30 МэВ), многозарядных частиц и ионов, быстрых нейтронов (с энергией свыше 10-15 МэВ).

Классификация методов радиометрического обогащения нерадиоактивных полезных ископаемых разработана В.А. Мокроусовым и В.А. Лилеевым (табл. 4.3) [36].

При радиометрическом обогащении полезных ископаемых используются различия свойств минералов в испускании или ослаблении ими излучения. В зависимости от этого различаются следующие радиометрические методы: 1) эмиссионные, основанные на определении интенсивности испускаемого минералами излучения, и 2) абсорбционные, основанные на определении степени ослабления минералами проникающего излучения.

Естественная радиоактивность

Радиоактивностью называется превращение неустойчивых изотопов химического элемента в изотопы других элементов с излучением элементарных частиц. Естественной радиоактивностью обладают минералы, в состав которых входят радиационно-неустойчивые изотопы урана, радия, радона, калия, стронция и др.

Умеренная и слабая радиоактивность вызвана небольшой примесью изотопов U, Th, а также других радиоактивных изотопов, содержащихся,

например, в пирохлоре, самарските, эшините, монаците. Слабая радиоактивность силвина, микроклина, мусковита и других минералов калия обусловлена постоянной примесью радиоактивного изотопа калия (K).

При обогащении руд радиационными методами используется естественная или наведенная радиоактивность, основанная на различной способности минералов поглощать или отражать радиоактивное γ -, β -или нейтронное излучение.

Соответствие между содержанием полезного компонента в руде и интенсивностью излучения может нарушаться, когда в руде, кроме главного, присутствует другой естественно радиоактивный химический элемент (уран вместе со значительным количеством тория) или имеется радиоактивное равновесие между основным радиоактивным элементом и продуктами его распада.

Благодаря высокой селективности радиометрическая сепарация является основным способом обогащения руд урана.

Таблица 4.3

Взаимодействие с рентгеновским и γ -излучениями

Рентгеновское и гамма-излучения представляют собой электромагнитные волны, взаимодействующие с электронами и атомными ядрами вещества. В результате взаимодействия могут проходить фотоядерная реакция, фотоэффект, эффект Комптона, образование электронно-позитивных пар. Вероятность протекания этих процессов зависит от энергии излучения.

Фотоядерные реакции типа $(\gamma, n)'$, $(\gamma, p)'$, (γ, d) , т.е. реакции с образованием нейтронов, протонов или альфа-частиц (ядерный фотоэффект), протекают под действием излучения больших энергий. Протоны и альфа-частицы, обладая большой массой и зарядом, имеют низкую проникающую способность и практически не проникают в объем облучаемого вещества. Поэтому для радиометрического обогащения интерес представляет лишь реакция с испусканием нейтронов [36].

Необходимым условием для осуществления фотоядерной реакции является превышение энергии гамма-кванта $J\gamma$ над энергией отделения нейтрона J_n , т.е. $E^\gamma > E_n$. Полное число образующихся фотонейтронов зависит от активности источника A , сечения фотоядерной реакции $\sigma_{ф.я.}$, расстояния от источника r , полного коэффициента ослабления гамма-излучения μ и содержания химического элемента C , вступающего в реакцию.

Каждый химический элемент характеризуется определенным порогом (γ, n) -реакции и ее эффективным сечением $\sigma_{ф.я.}$. Минимальный порог фотонейтронных реакций имеют бериллий (1,67 МэВ) и дейтерий (2,23 МэВ), а наибольший — углерод (18,7 МэВ) и галлий (20,6 МэВ). Для большей части остальных химических элементов пороговая энергия находится в диапазоне 6-16 МэВ [36].

Фотонейтронный метод обогащения основан на использовании различий в интенсивности нейтронного излучения, испускаемого при облучении руды гамма-лучами. Применяют этот процесс для обогащения бериллиевых руд, так как ядра бериллия обладают способностью испускать нейтроны при облучении гамма-лучами сравнительно низкой энергии.

Фотонейтронный метод может быть также применен для марганцевых, медных, медно-цинковых, медно-никелевых, железных, молибденовых, оловянных, рольфамовых и других руд.

В области низких энергий гамма-квантов (примерно 0,01—0,5 МэВ) преобладающим видом взаимодействия является фотоэффект, наблюдается также томпсоновское рассеяние. В области промежуточных энергий (0,3—3 МэВ) преобладает комптоновское рассеяние, а начиная с энергии 1,022 МэВ, соответствующей порогу образования электронно-позитрон-ных пар, и выше — эффект образования пар.

Фотоэффект представляет собой процесс взаимодействия гамма-кванта со связанным электроном, при котором ему передается вся энергия гам-ма-^ва^та. Электрон при этом выбрасывается за пределы атома с энергией $E_e = E - \varphi$; где φ — потенциал ионизации оболочки атома.

Освободившееся в результате фотоэффекта место на электронной оболочке заполняется электронами с других уровней атома, что сопровождается испусканием характеристического рентгеновского излучения флюоресценции. Сечение фотоэффекта $\sigma_{\text{ф}}$, зависит от атомного номера вещества Z и энергии гамма-излучения E .

Сечение комптоновского рассеяния $\sigma_{\text{к}}$ гамма-квантов на электронах зависит лишь от энергии самих гамма-квантов. Линейный коэффициент ослабления гамма-излучения вещества зависит от его плотности ρ , атомного номера Z , атомной массы A и энергии гамма-квантов E [36].

Руды и породы могут заметно отличаться по величине ослабления гамма-излучения, что используется для радиометрического обогащения.

Гамма-абсорбционный метод обогащения основан на различии способности минералов поглощать пропускаемое через них рентгеновское или гамма-излучение. Относительная величина поглощения гамма-излучения подчиняется

экспоненциальному закону $I = I_0 e^{-\mu x}$, где I_0 — интенсивность гамма-излучения соответственно после и до прохождения через вещество; μ — линейный коэффициент поглощения.

Величина μ зависит от энергии квантов первичного гамма-излучения, а также от атомного номера и атомного веса облучаемого вещества и равна сумме линейных коэффициентов поглощения, присущих каждому из трех видов взаимодействия гамма-квантов с веществом.

Для гамма-абсорбционной сепарации различных видов полезных ископаемых следует применять источники гамма-излучения с энергией в диапазоне от 0,02-0,03 до 0,15-0,20 МэВ.

Для химических элементов с большим атомным номером ($Z > 25$) массовые коэффициенты поглощения μ существенно выше, что создает предпосылки применения гамма-абсорбционного метода для обогащения железных, хромовых, оловянных, бариевых, сурьмяных, цезиевых, свинцово-цинковых и других руд. В отдельных случаях возможно применение гамма-абсорбционного метода, если разделяемые компоненты полезных ископаемых, мало отличаясь по эффективному атомному номеру, имеют существенное различие по плотности. Примером могут служить разделение угля и сланцев, выделение алмазов из вмещающих пород [36].

Фотоэффект приводит к ионизации атома, удалению из него электронов, располагавшихся в нормальном состоянии на определенных энергетических уровнях (K, L, M, N и т.д.). Атом при этом оказывается в возбужденном состоянии и переходит на другой уровень с меньшей энергией. Избыток энергии уносится фотонами; образующееся таким образом вторичное излучение называется характеристическим рентгеновским излучением флюоресценции.

Метод радиометрического обогащения, основанный на использовании различий в интенсивности вторичного характеристического флюоресцентного излучения, называется гамма-флюоресцентным. При реализации гамма-флюоресцентного обогащения основную роль играют энергии K -краев поглощения и энергия основных линий рентгеновского флюоресцентного спектра. Поскольку энергия фотонов характеристического излучения K -серии в 7—8 раз выше, чем у фотонов L -серии, то это излучение целесообразно использовать в качестве признака разделения. Гамма-флюоресцентный процесс может найти применение для элементов с $Z > 20-25$ при обогащении марганцевых, медно-никелевых, ниобиевых, молибденовых, оловянных, свинцово-цинковых, цезиевых, вольфрамовых и других руд [36].

При малых энергиях (до 0,1 МэВ) можно использовать для радиометрического обогащения рассеяние (или отражение) гамма-излучения. Свойство элементов рассеивать падающее гамма-излучение количественно характеризуется массовыми коэффициентами когерентного и некогерентного рассеяния. Гамма-отражательный процесс может найти применение при обогащении руд, содержащих тяжелые элементы, например железных, свинцово-цинковых, хромовых, ртутных. Соответственно можно использовать явления ослабления первичного потока рентгеновских лучей, вторичное рентгеновское излучение флюоресценции, рассеяние [36].

Взаимодействие с β - и нейтронным излучениями

Бета-излучение представляет собой поток электронов. При его прохождении через вещество наблюдаются ионизационное торможение и рассеяние. При ионизационном торможении энергия электрона тратится на возбуждение и ионизацию атомов среды, через которую он проходит. Этот процесс сопровождается испусканием характеристического рентгеновского излучения флюоресценции. Спектр флюоресцентного излучения определяется, как и в случае возбуждения гамма-излучения, лишь атомными свойствами облучаемой среды.

Метод радиометрического обогащения основан на использовании различий руды и породы в интенсивности вторичного характеристического флюоресцентного излучения, возбуждаемого бета-излучением. Особенность бета-флюоресцентного обогащения та, что по сравнению с гамма-возбуждением оно меньше зависит от колебаний вещественного состава полезного ископаемого. Бета-флюоресцентное обогащение можно применять для руд, содержащих тяжелые элементы с атомным номером $Z > 35$, например молибденовых, оловянных, вольфрамовых, свинцовых и др. [36].

Метод радиометрического обогащения, основанный на использовании различий в интенсивности обратно отраженного бета-излучения, можно применить для обогащения руд, содержащих тяжелые элементы.

По энергии нейтроны делятся на несколько групп: тепловые (до 0,025 эВ), медленные ($0.1-10^4$ эВ), промежуточные (10^4-10^6 эВ) и быстрые (свыше $5 \cdot 10^6$ эВ). Взаимодействие нейтронов с ядрами определяется их волновыми свойствами, играющими главную роль при малых энергиях.

При столкновении нейтрона с ядром происходят его захват или рассеяние. При захвате нейтрона образуется составное ядро, которое за счет выделяющейся при захвате энергии связи нейтрона оказывается в возбужденном состоянии. Переход ядер из возбужденного в более низкое энергетическое состояние может происходить путем распада с испусканием каких-либо частиц или гамма-квантов, или тех и других. Один из вариантов распада составного возбужденного ядра заключается в испускании им альфа-частиц, т.е. $\{n, \alpha\}$ -реакции. На медленных нейтронах (д,п)-реакция наблюдается на небольшом числе легких ядер, а на быстрых нейтронах она имеет малую вероятность из-за конкуренции других процессов. На медленных и тепловых нейтронах (n, α) -реакция протекает на ядрах ^{10}B и ^6Li . Сечение (п, α)-реакции для естественной смеси изотопов бора 754 барна, для лития — 70,4 барна. Для других химических элементов сечения этой реакции на 3—6 порядков ниже. При распаде возбужденного ядра протекает также (n, p) -реакция, но она характеризуется низким сечением, сравнимым с сечением (n, α) -реакции на большинстве элементов, кроме бора и лития [36].

Наибольшее распространение при захвате нейтрона имеет ядерная реакция с испусканием гамма-излучения (n, γ) , называемая радиационным захватом. Для нейтронов с энергией от 0,1 до 10^4 эВ сечение радиационного захвата является наибольшим для медленных и особенно тепловых нейтронов. Наблюдается также увеличение сечения (n, γ) -реакции при переходе от легких к тяжелым элементам. Интенсивность и энергия гамма-излучения $\{n, \gamma\}$ -реакции являются специфическими для каждого элемента свойствами, что может быть использовано для радиометрического обогащения. У большинства же ядер радиационный захват приводит к образованию нестабильных (радиоактивных) изотопов. Эти изотопы излучают гамма-кванты,

электроны или позитроны. Интенсивность наведенной радиоактивности зависит от сечения активации и содержания химического элемента а облучаемой массе полезного ископаемого [361].

На тепловых и медленных нейтронах заметную роль играет другой процесс взаимодействия с ядрами — упругое рассеяние, протекающее на ядрах всех элементов. Нейтрон при этом отклоняется от первоначального направления, и часть его кинетической энергии передается ядру. Упругое рассеяние является наиболее вероятным процессом при взаимодействии медленных нейтронов с легкими ядрами и ядрами средней массы. На тяжелых ядрах сечение рассеяния мало по сравнению с сечением захвата нейтрона [361].

Метод радиометрического обогащения, основанный на использовании различий в ослаблении потока нейтронов разделяемыми компонентами полезных ископаемых, называют нейтронно-абсорбционным. Признаком разделения при нейтронно-абсорбционном обогащении является плотность потока нейтронов, прошедших через подвергаемый обогащению объем полезного ископаемого. Нейтронно-абсорбционный метод можно применять к рудам, содержащим химические элементы с большим сечением захвата нейтронов, например к борным, литиевым, а также к рудам, содержащим кадмий, редкоземельные элементы. Нейтронно-активационный метод целесообразно применять, по-видимому, в том случае, когда сечение взаимодействия нейтронов с полезным компонентом не ниже 1—3 барн, что необходимо для надежной регистрации вторичных излучений. Этому условию удовлетворяют руды, содержащие хром, марганец, железо, никель, медь, серебро, золото, редкоземельные элементы. Сказанное относится и к условиям применения нейтронно-радиационного метода [36].

Фотометрические свойства

В результате воздействия электромагнитного поля световой волны на электроны вещества возбуждаются колебания электронов в направлении, совпадающем с направлением колебания электрического вектора падающей световой волны. В процессе вынужденных колебаний заряженных частиц в молекулах периодически изменяются дипольные электрические моменты. При этом излучаются вторичные электромагнитные волны с длиной, равной длине волны падающего света. Первичные и вторичные волны когерентны между собой и могут взаимно интерферировать. При падении световой электромагнитной волны на границу раздела двух различных сред в результате интерференции первичной и вторичной волн образуются отраженная волна, распространяющаяся в той же среде, что и первичная, и преломленная волна, распространяющаяся во второй среде. Отношение световых потоков отраженной и падающей волн (коэффициент) служит оптической характеристикой вещества. Отражение естественного света сопровождается частичной его поляризацией, в результате которой какая-то часть отраженного света приобретает определенную ориентацию вектора электрической и магнитной напряженности [36].

Фотометрический метод обогащения основан на использовании разницы коэффициентов отражения рассеянного света минералов и горных пород. Куски или частицы обрабатываемой руды в фотометрической камере освещаются на специально подобранном однородном по цвету фоне, а отраженный от них свет улавливается датчиком. Спектральный состав падающего света не оказывает существенного влияния на процесс сепарации. Из отраженного света выделяется с помощью светофильтров определенный диапазон спектра, в котором наблюдается наибольшая разница отраженного света разделяемых минералов. При обогащении руд цветных металлов фотометрическая сортировка практически не используется. Она представляет интерес для извлечения крупных алмазов. Известно применение фотометрии при автоматическом управлении процессом флотации, где этим методом идентифицируется нагруженность пенного слоя во флотомашинах и качество пенного продукта.

ЛЮМИНЕСЦЕНТНАЯ СЕПАРАЦИЯ (luminescence separation) — процесс разделения минералов, основанный на способности их светиться ПОД действием ультрафиолетовых и рентгеновских лучей.

Применяют при обогащении минералов люминесцирующих в рентгеновских, (алмазосодержащие, шеелитовые, флюоритовые, цирконовые, апатитовые, сподуменовые и др. руды) или в ультрафиолетовых лучах (флюоритовые, шеелитовые и др. руды)

Люминесцентное свечение характеризуется возбуждаемостью, цветом, интенсивностью и длительностью. Люминесценция возникает только в случае поглощения энергии, необходимой для электронных переходов с уровней основного состояния на возбужденные уровни и последующего перехода. Возбуждаемость люминесценции определяется оптимальной величиной возбуждающей энергии. Для фотолюминесценции она составляет несколько эВ; соответствующие полосы возбуждения в спектрах люминесценции обычно располагаются в ультрафиолетовой (УФ), реже в коротковолновой части видимой области. Люминесцентное свечение одних минералов возбуждается лишь коротковолновой частью УФ-света, что характерно, например, для шеелита CaWO_4 . Другие, например рубин $(\text{Al}, \text{Cr})\text{O}_3$, люминесцируют при облучении длинноволновым УФ-светом. Многие минералы возбуждаются в широком диапазоне длин волн, например марганецсодержащий кальцит. Число рентгено- и катодолюминесцирующих минералов значительно больше, чем возбуждающихся в ультрафиолетовом свете. Некоторые нелюминесцирующие минералы после специальной обработки становятся люминесцирующими (табл. 4.4) [33],

Электронный переход и связанные с ними люминесцентные свойства минералов определяются природой центров люминесценции, представляющих собой точечные примесные или структурные дефекты. Процессы поглощения возбуждающей энергии и ее излучение происходят в пределах центров или с передачей энергии между центрами.

Центрами люминесценции чаще всего служат ионы переходных металлов, таких, как Mn^{2+} , Cr^{3+} , и редких земель TR^{3+} и TR^{4+} . Люминесценция в этих центрах связана с электронными переходами между d - или f -уровнями расщепленными кристаллическим полем. С Mn^{2+} -центрами связана широкая полоса оранжевой или красной люминесценции с максимумом около 600 нм в кальците, а также в волластоните, ангидрите, апатите, сподументе и др. Ион Cr^{3+} , замещающий позиции алюминия, ответствен за красное свечение рубина и шпинели, александрита, изумруда, кианита и др. С примесью Eu^{2+} во флюорите связана полоса фиолетовой люминесценции с максимумом 425 нм, а с примесью Yb^{2+} — желто-зеленая полоса (изл. 540 нм), которая возбуждается только при низкой температуре. Узкие линии люминесценции во флюорите, апатите, монаците, цирконе, шеелите и других минералах обусловлены переходами на ионах TR^{3+} [33].

Люминесценция, обусловленная электронными переходами в анионных кислородных тетраэдрических комплексах переходных элементов, более всего характерна для молибдатов и вольфраматов кальция. Широкие полосы голубой люминесценции шеелита CaWO_4 и желтой — повеллита $\text{Ca}[\text{MoO}_4]$ и молибдошеелита $\text{Ca}[(\text{W}, \text{Mo})\text{O}_4]$ возбуждаются в отличие от многих минералов только в далекой УФ-области [33].

Рекомбинационная люминесценция происходит при рекомбинации возбужденных донорно-акцепторных пар в некоторых сульфидах (сфалерит, киноварь, реальгар) и алмазе. Голубая люминесценция сфалерита связывается с переходами в ассоциированном центре: катионная вакансия

$(\text{V}_{\text{Zn}})^{2+}$ и примесь (Ga^{3+}) ; желтая — в центре: ион (Si^{4+}) и анионная

$f \quad i^*$

вакансия $(\text{V}_{\text{Ga}})^{3+}$; красная — в центре: (Cu^{2+}) и (Ga^{3+}) или (1p^{4+}) .

"^

•• it С донорно-акцепторными парами типа $\{V^{\wedge}\}$ — (^) связана также

рекомбинационная люминесценция киновари и реальгара. Люминесценция алмаза объясняется рекомбинационными переходами в ассоциативных

центрах типа $(\text{N}^{\wedge})^{\wedge}-\text{A}^{\wedge+}$ — линии голубого свечения, $(\text{N}^{\wedge+})^{\wedge}-$

$i/i > ""$

$\text{g}^{\wedge}-$ и $(\text{V}^{\wedge+})$ — линии желтого свечения и др. $\text{IJ}-\text{IJ}$.

Таблица 4.4 Люминесценция минералов

•Различают Л. с. по способу возбуждения люминесценции и -режиму се-, парации. По способу возбуждения выделяют реитгенOLUMиНесцентную и ' фотOLUMиНесцентную Л. с.; по режиму ^ сепарации — покусковую для слабо-" контрастных руд и поточную Л. с. ддя высококонтрастных руд при малом содержании выделяемого минерала

Для повышения селективности и чувствительности разделения минералов используют абсорбционные или интерференционные светофильтры. Эти светофильтры обеспечивают макс. излучение в узком диапазоне спектра, к-рый совпадает с полосой люминесценции выделяемого минерала.

Л. с. осуществляется в рентгено-люминесцентных и фотолуминесцентных сепараторах. Наиболее распространены рентгенолюминесцентные сепараторы для обогащения алмазосодержащих руд.

Люминесцентные сепараторы состоят из питателя, наклонного лотка, блока детектирования [включающего рентгеновскую трубку, фотоэлектронный умножитель (ФЭУ) и радиометр] и отсекателя (выполненного в виде поворотной лопасти с соленоидным приводом). Сепараторы оснащаются блоком автоматич. контроля и управления. Материал, поступающий в сепаратор, подается с помощью барабанного питателя на наклонный лоток. Двигаясь с ускооением по лотку, монослой пересекает полосу коллимиро-ванного рентгеновского излучения. Световой поток люминесценции воспринимается ФЭУ, к-рый преобразует его в электрич. ток. Величина тока пропорциональна световому потоку и при превышении нек-рого порогового уровня радиометр включает соленоид отсекателя, осуществляющего отбор люминесцирующего минерала. Люминесцирующие минералы и расположенные рядом куски породы поступают в концентратный канал, а пустая порода, не содержащая люминесцирующие минералы, — в хвостовой канал.

4.4.3 Плотность минералов. Гравитационная концентрация.

The more widespread minerals have density from 2.5 to 3.5 g/cm³. A great number of the mineral species have density less than 5 g/cm³. Among them silicates, oxygen salts and haloids are predominant. Sulphides and native metals have greater density.

Minerals can provisionally be divided into three groups: the light minerals (up to 3.0 g/cm³), the medium (from 3.0 to 4.0 g/cm³) and the heavy minerals (more than 4.0 g/cm³).

The density of minerals depends on the chemical composition and the type of the structure. Minerals, containing heavy metals have, as a rule, greater density. Maximum density is typical of the native elements of gold, silver, and the minerals of the platinum group (23.0 g/cm³ - platinumiridium).

For minerals representing isomorphic series an increase (or decrease) of density is proportional to the change in the chemical composition. Thus, in the isomorphic series of olivines from forsterite $\text{Mg}^+[\text{SiO}_4]^{2-}$ to fayalite $\text{Fe}^{2+}[\text{SiO}_4]^{2-}$ the density increases from 3.20 to 4.35 g/cm³. In the series of scheelite $\text{Ca}[\text{WO}_4]$ to powellite $\text{Ca}[\text{MoO}_4]$ it decreases from 6.1 to 4.2 g/cm³, i.e. by 1.9 g/cm³.

The dependence of density on the crystalline structure is particularly manifested in the polymorphic modifications of minerals and is determined by the character of the atom packine.

В гравитационных процессах используется различие в плотности, крупности и форме минералов. Разделение гравитационными методами минералов тем Эффективнее, чем дальше они отстоят друг от друга на шкале (рис4.10). Качественно^ это оценивается • коэффициентом равнопадаемости (5) $(51-11 / (52-1))$.

Плотность минерала - отношение массы зерна в монолите f_k его объему V : $\rho_k = P/V, \text{ кг/м}^3$.

Крупность отдельного зерна обозначается его линейным размером. Для исключения влияния формы частиц используют понятие "эквивалентный диаметр", т.е. диаметр шарообразного зерна O_3 , объем которого равен объему зерна неправильной формы:

Формала

Форма зерна зависит от природы минералов. Минеральные зерна россыпных месторождений под воздействием русловых потоков воды обычно имеют скатанную форму. Зерна минералов руд коренных месторождений имеют неправильную форму, иногда присущую форме кристаллов. Уголь имеет угловатую форму, сланец - пластинчатую, асбест - игольчатую, магнетит - близкую к кубической.

Форма зерен характеризуется коэффициентом формы, представляющим собой отношение поверхности равновеликого шара S_3 (эквивалентного диаметру зерна) к поверхности зерна неправильной формы S (размеру зерна неправильной формы) : $\phi = S_3/S = 4,87V^{1/3}/S$.

Значения коэффициента формы частиц ϕ [41]

При шарообразной форме	1,0
При округлой, окатанной	0,8-0,9
При угловатой	0,7-0,9
При пластинчатой	0,6-0,7

В качестве сред гравитационного обогащения полезных ископаемых используются: вода, воздух, тяжелые жидкости, суспензии, жидкий электролит, помещенный в скрещенные электрическое и магнитное поля. Среды характеризуются реологическими параметрами (плотностью, вязкостью, предельным сопротивлением сдвигу, устойчивостью) и др.

Перечисленные свойства сред оказывают влияние на скорость перемещения разделяемых частиц, эффективность разделения и используются в обогащательных аппаратах. Расслоение зерен достигается по одному из разделительных признаков путем гидро- и аэродинамических воздействий на минеральную смесь. В качестве разделительных признаков могут служить: 1) реологические параметры среды разделения; 2) реологические параметры среды, подверженной одновременно действию электрических и магнитных полей; 3) скорости движения зерен в пульсирующем потоке жидкости; 4) скорости движения зерен в струе жидкости, текущей по наклонной плоскости; 5) скорости движения зерен в вертикальном потоке жидкости.

Классификация гравитационных методов обогащения

1. Расслоение в средах: гидравлических, пневматических, тяжеложидкостных, суспензионных гидравлических и пневматических, электролитных (магнитогидродинамическая сепарация).
2. Расслоение зерен в пульсирующем потоке среды разделения: отсадкой гидравлической и пневматической, обогащением в виброжелобах, пневматической сепарацией, обогащением в пульсаторах;
3. Расслоение зерен в струе жидкости, текущей по наклонной плоскости: а желобах, в шлюзах, в струйных концентраторах, на концентрационных столах, в винтовых сепараторах.
4. Расслоение зерен в криволинейных потоках среды разделения: в гидроциклонах, в центрифугах.
5. Разделение зерен в вертикально восходящих потоках среды разделения : классификация гидравлическая и пневматическая.
6. Осаждение зерен в средах разделения: сгущение.
7. Промывка [41] .

4.4.4 Magnetism of minerals and magnetic separation

Магнитные свойства минералов возникают и проявляются в магнитном поле. Только немногие минералы обладают намагниченностью, достаточной, чтобы притягивать магнитные порошки или железные опилки. Большинство же минералов проявляет магнитные свойства только в сильном магнитном поле с высокой напряженностью.

Магнитная индукция, которую создает магнитное поле, изменяется в присутствии минерала. Мерой ее изменения служит магнитная проницаемость минералов μ и связанная с ней магнитная восприимчивость $\chi = \mu - 1$, определяющая зависимость получаемой в минерале намагниченности M от напряженности магнитного поля H : $M = \chi H$, или $\chi = M/H$.

Магнитная восприимчивость χ и намагниченность зависят от числа неспаренных электронов, каждый из которых характеризуется определенным магнитным моментом (спином), или магнетомом Бора: $\mu_B = e h / 4 \pi m$, где e — заряд, m — масса электрона, h — постоянная Планка. В зависимости от величины магнитной восприимчивости и намагниченности минералов и характера их изменчивости в магнитном поле различной напряженности при нагревании или охлаждении выделяют несколько типов минералов, соответствующих различным видам магнетизма [29].

По магнитной восприимчивости и характеру зависимости магнитных свойств от напряженности внешнего магнитного поля минералы делятся на диа-, пара- и ферромагнитные. Кроме того, выделяют немагнитные, слабо- и сильномагнитные минералы, удельная магнитная восприимчивость которых составляет соответственно менее 10^{-6} и более $6 \cdot 10^{-4}$ см³/г. Классификация условна и определяется уровнем техники магнитного разделения.

Диамагнитные минералы имеют отрицательную магнитную восприимчивость, и их намагниченность $J = -\chi H$ направлена противоположно внешнему полю. Диамагнитны многие соли, окислы, сульфиды и другие минералы, не содержащие парамагнитных ионов. Удельная магнитная восприимчивость диамагнитных минералов 10^{-6} — 10^{-8} см³/г. Диамагнетизм является общим свойством всех тел, но во многих случаях он перекрывается пара- или ферромагнетизмом. В силу малости диамагнитные минералы при магнитной сепарации попадают в разряд немагнитных [44].

Минералы-диамагнетики выталкиваются из магнитного поля. Наиболее сильно диамагнитные свойства проявлены у самородного висмута, графита, в меньшей степени — у самородного серебра и золота, флюорита, кальцита, кварца и др. [331].

Минералы-парамагнетики характеризуются тем, что в их состав входят ионы с неспаренными электронами (в основном элементы с незаполненными d - или f -уровнями) и хаотичной ориентацией спинов. Поэтому в отсутствие магнитного поля магнитные моменты скомпенсированы и минералы не обнаруживают намагниченности. В магнитном поле вследствие ориентации спинов минералы намагничиваются положительно и притягиваются в направлении магнитного поля. При нагревании парамагнитных минералов вследствие разупорядочения спинов намагниченность и магнитная восприимчивость уменьшаются. С ростом напряженности магнитного поля

намагниченность увеличивается. К парамагнетикам относятся умеренно магнитные минералы — ильменит, гематит, хромит, вольфрамит, сидерит, пиролюзит, а также железосодержащие силикаты [331]. Минералы-парамагнетики слабомагнитны, их удельная восприимчивость не превосходит 10^{-4} см³/г. Основной вклад в намагниченность парамагнетиков вносит электронный парамагнетизм входящих в их состав ионов с незаполненной внутренней оболочкой (переходные и редкоземельные элементы), а также атомов, ионов и свободных радикалов, имеющих нечетное число электронов. Для металлов существенным является парамагнетизм электронов проводимости. В некоторых случаях, если отсутствуют парамагнитные ионы, проявляется слабый температурно-независимый парамагнетизм, вызванный поляризацией электронных оболочек (например, у рутила) [441].

Парамагнитные кристаллы обнаруживают анизотропию магнитных свойств, обусловленную структурой кристалла и состоянием электронных оболочек ионов-магнитофоров.

Минералы-ферромагнетики содержат ионы переходных элементов с неспаренными спинами, магнитные моменты которых ориентируются кристаллическим полем в пределах магнитных доменов; их можно уподобить микромагнитам размером от микрометра до миллиметра. Магнитные моменты доменов в отсутствие магнитного поля имеют различную ориентацию, и поэтому намагниченность, например, чистого самородного железа не проявляется. В магнитном поле домены, подобно спинам в парамагнетиках, ориентируются, что вызывает разориентацию доменов у одних минералов сразу, у других — спустя некоторое время, а у третьих — сохраняется остаточная намагниченность. Это связано с разной подвижностью магнитных доменов в разных минералах, зависящей от наличия дислокаций, включений других минералов, например продуктов распада твердых растворов, зональности или мозаичности кристаллов и других неоднородностей. Стабильность остаточной намагниченности выражается через энергию, которую необходимо затратить для размагничивания, называемую коэрцитивной силой. Минералы ферромагнетики характеризуются высоким положительным значением магнитной восприимчивости, сильно зависящей от напряженности магнитного поля и температуры. Так же как в парамагнетиках при нагревании происходит спиновое разупорядочение, в ферромагнетиках разориентируются магнитные домены, а при некоторой температуре (точка Кюри) магнитные моменты полностью компенсируются и намагниченность исчезает (ферромагнетик превращается в парамагнетик).

К ферромагнетикам с очень высокой намагниченностью относятся самородное железо, ферроплатина, железосодержащее золото [33].

Особые свойства ферромагнетиков связаны с так называемым обменным взаимодействием между электронами, в результате которого взаимно ориентируются элементарные магнитные моменты.

Minerals-antiFerromagnetics are distinguished by the fact that under the influence of the crystalline field the spins of the neighbouring ferromagnetic ions have an antiparallel orientation. Above a certain temperature (Neel point) partial disordering takes place. It is accompanied by an insignificant increase in the magnetic susceptibility. Antiferromagnetics comprise certain sulphides, pyrite FeS_2 , chalcopyrite CuFeS_2 , troilite FeS ; oxides-ilmenite FeTiO_3 , as well as other minerals, containing the ions of iron, manganese and a number of rare-earth elements: tourmaline, monazite, orthite, sphene, pyrochlore and others.

Mineral-ferrimagnetics, just as is the case with antiferromagnetic, are characterized by the opposite orientation of spins, but are distinguished by an incomplete compensation of magnetic moments. Magnetization of ferrimagnetic is proportional to the number of redundant ions of the transition elements with unpaired spins. In magnetite $\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}_2\text{O}_4$ for instance 8 Fe^{3+} ions (C.N.=6), 8 Fe^{3+} ions (C.N.=6) and 8 Fe^{2+} ions (C.N.=4) fall on an elementary cell. The spins of ions of iron in the octahedral and tetrahedral coordination have an opposite orientation, but they are wholly compensated only with Fe^{3+} ions (antiferromagnetism). The Fe^{2+} ions in the octahedral coordination have four electrons on the three lower d -levels. Two of these electrons are antiparallel, while on the upper levels there are two unpaired electrons, which is congruous with the high-spin configuration.

Thus, the magnetic moment of each of the 8 Fe^{2+} ions is equal to the product of the four unpaired spins by the Bohr magneton. The magnetization of magnetite M , referred to the volume of the elementary cell V and equal to the product of the N number of Fe^{2+} ions by the magnetic moment of each ion (μ_B) can be calculated by the formula

$$M =$$

Ferrimagnetic minerals together with the ferromagnetic ones refer to the strongly magnetized minerals, but are distinguished by the value of magnetization, which is mainly connected with the presence of nonmagnetic cations and anions. Among them magnetite possesses maximum magnetization, and easily attracts the magnetic needle.

Titanomagnetite, pyrrhotite, jacobsonite, maghemite, cubanite and other rarer minerals are less magnetic. Domain magnetic structure is typical of all of them, but the mobility of domains is exceptionally low. Hence, ferrimagnetic minerals are characterized by a high degree of *residual magnetization* and reveal magnetization in the absence of the magnetic field. The orientation of the magnetic moments in them coincides with the direction of the magnetic field at the moment of their formation.

The magnetic memory of minerals serves to reestablish the directions of the paleomagnetic field of the Earth, and is widely used

in reconstructing the positions of the magnetic poles in various geological epochs, as well as the classification of sedimentary and igneous rocks according to age. The diagnostic importance of the magnetic properties of minerals is restricted to the identification of only some of the strongly magnetic minerals, such as the said ferro- and ferri-magnetic substances, whose residual magnetization is high.

Значительный вклад в магнитные свойства слабомагнитных минералов вносят примеси и включения. Вхождение в решетку, например, примесных ионов переходных металлов или редких земель приводит к появлению парамагнетизма, характеризующего данный минеральный вид. Включения других минералов также приводят к появлению магнитной восприимчивости (44). Способность к намагничиванию под действием магнитного поля определяется гл. обр. содержанием включений ферромагнитных минералов (в осн. минералов титаномагнетитовой группы). На величину M_v влияет также форма и размер зёрен ферромагнитных минералов, расположение зёрен друг относительно друга.

При измерении магнитной восприимчивости она может меняться в одной и той же горной породе в зависимости от величины магнитного поля и магнитной предыстории породы. Для г. п. наиболее существенна начальная M_v (в слабом магнитном поле). Поскольку M_v ферромагнитных минералов существенно зависит от намагничивающего поля, то вводят дифференциальную M_v , которая характеризует зависимость намагниченности от напряжённости поля в каждой точке кривой намагничивания. В процессе намагничивания и размагничивания ферромагнетиков под действием магнитного поля в их намагниченности могут происходить обратимые и необратимые явления, в связи с чем различают обратимую и необратимую M_a . На практике при магнитном обогащении используют M_v , рассчитанную на единицу объёма (объёмная M_v) или массы г. п. (удельная M_v).

Наиболее высокими значениями M_v характеризуются железистые кварциты (до 0,2), В интрузивных породах, где содержание оксидов железа возрастает по мере увеличения основности, M_v увеличивается от кислых разностей к основным (у гранитов в осн. не превышает 10, а у габбро достигает 10). Ультраосновные породы характеризуются наиболее широким диапазоном изменения восприимчивости: от слабо до очень сильно магнитных, причём их серпентинизация приводит к сильному увеличению восприимчивости (до 10). У метаморфич. пород M_v , как правило, невелика и не превышает 5-10. Наименьшими значениями восприимчивости характеризуются хемогенные осадочные породы (до $3 \cdot 10^{-5}$).

Для технологического использования представляет интерес возможность значительного изменения магнитной восприимчивости некоторых слабомагнитных минералов путем термообработки, например увеличение магнитной восприимчивости сфена, рутила и лейкоксена в результате кратковременного восстановительного обжига.

Шкала магнитной обогатимости минералов построена на рис. 4.11, где по оси ординат отложен логарифм удельной магнитной восприимчивости и выделены сильномагнитные, среднемагнитные, слабомагнитные и немагнитные минералы. При существующих методах магнитного обогащения разделение в сепараторах происходит главным образом по этим группам. Иногда удается разделить слабомагнитные минералы при значительной разнице их магнитной восприимчивости.

Методом сухой магнитной сепарации обогащаются в основном магнетитовые и титаномагнетитовые руды, а также руды редких металлов. Мокрая магнитная сепарация применяется для обогащения сильно- и слабомагнитных руд [35].

Полиградиентные сепараторы, основанные на фильтрации пульпы через слой магнитных шаров, позволяют значительно увеличить напряженность и градиент магнитного поля. поверхность, на которой происходит разделение, уменьшить относительную скорость движения частиц, а следовательно. уменьшить крупность обогащаемого материала.

МАГНИТНАЯ СЕПАРАЦИЯ осно-ванна на использовании различия в магнитных свойствах (величинах магнитной восприимчивости, остаточной индукции, коэрцитивной силы и др.) разделяемых компонентов в неоднородном постоянном или переменном магнитном полях.

Механизм разделения - состоит в том, что минеральные зёрна, обладающие более высокой магнитной восприимчивостью, притягиваются к полюсам магнитной системы магнитных сепараторов и с помощью транспортирующих устройств перемещаются в приёмные устройства магнитных продуктов, а немагнитные или слабомагнитные зёрна потоком выносятся в приёмные устройства немагнитных продуктов.

Магнитная сепарация проводится преим. в неоднородных посоянных магнитных полях и является основным методом обогащения железных (ок. 70% а мире и 90% в СССР) и марганцевых руд (более 90% а СССР)

Для руд цветных и редких ме-таллов в качестве доводочных операций после гравитац. обогащения.

В зависимости от величины магнитной восприимчивости материала М. с. подразделяется на слабомагнитную и сильномагнитную, от среды, в к-рой производится разделение,— на мокрую и сухую М. с. Для увеличения контрастности магнитных свойств разделяемой смеси применяют термообработку (магнетизирующий обжиг) в окислительной (сидеритовые, карбонатные и др. руды) или восстановительной (оксидные руды) атмосферах.

В зависимости от физ.-хим. характеристики разделяемого материала и его крупности используют разл. типы магнитных сепараторов (баоабанные, валковые, ленточные, дисковые, роторные и др.).

4.4.5 Электрические свойства минералов и электросепарация.

Электрические свойства минералов используются в процессах электрической сепарации и флотации или оказывают влияние на ход этих процессов. Для электросепарации наиболее существенны электропроводность, диэлектрическая проницаемость, электризация трением. В процессах адсорбции флотореагентов и флотации имеют значение свойства, зависящие от уровня электрохимического потенциала, ширины запрещенной зоны, концентрации и типа примесей. Это проявляется, в частности, в наблюдаемом в ряде случаев влиянии концентрации и знака носителей заряда на адсорбцию собирателей и естественную гидрофобность полупроводниковых минералов, к которым относится большое число сульфидов, окислов и др.

Мерой электропроводности служит удельное электросопротивление ρ или удельная электропроводимость $X = 1/\rho$. В зависимости от величины электропроводности и типа электронного строения все минералы подразделяются на проводники с $\rho = 10^{-2} - 10^{-1} \text{ Ом} \cdot \text{м}$, полупроводники с $\rho = 10^{-1} - 10^2 \text{ Ом} \cdot \text{м}$, диэлектрики с $\rho = 10^3 - 10^9 \text{ Ом} \cdot \text{м}$. К минералам-проводникам относятся главным образом самородные металлы с металлическим типом химической связи. Валентная зона у проводников занята электронами наполовину и частично перекрывается зоной проводимости. У диэлектриков валентная зона целиком занята электронами. От зоны проводимости она отделена широкой зоной запрещенных состояний с энергией в несколько электронвольт. Полупроводники отличаются сравнительно узкой зоной запрещенных состояний (обычно менее 3 эВ) и частичным заполнением электронами зоны, лежащей ниже зоны проводимости. Если в частично заполненной зоне число электронов невелико, то они относятся к л-типу с электронной проводимостью, а если преобладают, то к р-типу с дырочной проводимостью.

В полупроводниках электропроводность особенно зависит от содержания примесей и структурных дефектов и резко увеличивается с ростом температуры. Собственная проводимость

полупроводников связана с переходом при нагревании части электронов из валентной зоны в зону проводимости с образованием равного числа свободных электронов и дырок. Примесная проводимость обусловлена ионизацией изоморфных примесей с избыточными зарядами. Избыточные заряды возникают также в нестехиометричных минералах. В полупроводниках и диэлектриках при высоких температурах возможна также ионная проводимость, которая осуществляется по вакансионному механизму [33].

Поляризация и диэлектрическая проницаемость минералов связаны со смещением положительных и отрицательных зарядов в противоположные стороны под действием электрического поля. Поляризация возникает в минералах-диэлектриках и не сопровождается электронной проводимостью. Различают электронную (асимметричное смещение электронов относительно ядер), ионную (смещение ионов разного знака), ориентационную (ориентация диполей) поляризации. Мерой поляризации служит диэлектрическая проницаемость. Примеси и дефекты практически не влияют на диэлектрические свойства. С поляризацией связана электризация минералов, т.е. появление на их поверхности электростатических зарядов того или иного знака. В случае контакта с поверхностью минерала, имеющей противоположный заряд, происходит притяжение минеральных частиц. В отличие от них проводящие минералы на контакте, например, с заземленной поверхностью отдают отрицательный заряд и приобретают положительный, в результате чего происходит отталкивание. Эти различия между минералами-диэлектриками и проводящими минералами (обычно рудными), используются при обогащении методом электростатической сепарации.

Электростатические заряды на поверхности минералов-диэлектриков возникают также в результате термических и механических воздействий.

В основу шкалы электрических методов обогащения положена удельная электропроводность минералов (рис.4.11). Эта величина у отдельных разновидностей одного и того же минерала колеблется в значительно большей степени, чем плотность и магнитная восприимчивость. В литературных источниках также приведены различные значения удельной электропроводности; причем расхождения наблюдаются значительные. Поэтому при исследовании на обогатимость рекомендуется определять удельную электропроводность минералов данной руды и вносить в шкалу соответствующие поправки.

К свойствам минералов, определяющим их электрический заряд, а следовательно, и разделение, относятся электропроводность, диэлектрическая проницаемость, электризация трением (трибоадгезионный эффект), контактный потенциал и пьроэлектрический эффект. Кроме того, существует пьезоэлектрический эффект и униполярная (детекторная) проводимость кристаллов, которые пока не используются в процессах обогащения.

В сводных таблицах минералы характеризуются широкой областью значений электропроводности и диэлектрической проницаемости. Например, для ряда образцов галенита по опубликованным данным удельное сопротивление $\rho = 10^{-10} - 10^0 \text{ Ом} \cdot \text{м}$. В природных образцах галенита наблюдается как электронная, так и дырочная проводимость, в широких пределах меняется концентрация носителей заряда, различны коэффициенты термоэлектродвижущей силы (т.э.д.с.), зависимость сопротивления от температуры и т.д. Для сравнительно чистых кристаллов касситерита удельное сопротивление менялось от 10^{-10} до $10^0 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ и одновременно отмечены изменения других электрофизических характеристик. При изменениях относительной диэлектрической проницаемости ϵ разброс также велик, хотя и меньше, чем по электропроводности [44].

Для некоторых минералов диэлектрическая проницаемость заметно зависит от частоты переменного тока. Например, для образцов доломита при измерениях на частоте 50 Гц получены $\epsilon = 6,7 - 7,2$, а при измерениях на частоте 100 Гц — $\epsilon = 11,2$.

На результаты электрических измерений большое влияние оказывают температура и влажность. Учет влажности особенно важен для гигроскопичных и пористых образцов, так как при измерениях диэлектрической проницаемости добавляется $\epsilon \sim 80$ воды. При измерении

сопротивления диэлектриков поверхностная водная пленка может изменить результат на несколько порядков [44].

Электросепараторы применяются для разделения смеси сухих минералов на составляющие компоненты, а также для разделения по крупности (электроклассификация).

Методы электрической сепарации: электростатический (электростатическое поле; частицы заряжаются контактным или индукционным способом) ; коронный (поле коронного разряда; частицы заряжаются ионизацией) ; диэлектрический (электростатическое поле; незаряженные частицы разделяются под действием пондеромоторных сил); комбинированные: коронно-электрический (поле коронного разряда и электростатическое поле; частицы заряжаются ионизацией и другими способами); коронно-магнитный (поле коронного разряда и магнитное поле; частицы заряжаются ионизацией) ; трибоадгезионный (частицы заряжаются за счет трибоэлек-трического эффекта, адгезии и др.) [35] .

Для подготовки материала к электросепарации (в зависимости от характеристики исходного материала и условий его обработки) могут применяться: сушка, обеспыливание, классификация по крупности, обработка поверхностно-активными веществами и др. Подсушка обрабатываемого материала устраняет влияние влажности атмосферного воздуха, стабилизирует поведение сепарируемых частиц и обеспечивает свободное перемещение их в сепараторе под влиянием механических и электрических сил [35].

Эффективность сепарации в меньшей степени определяется свойствами самих минералов (веществ) и в большей — состоянием их поверхности. . Естественное состояние последней можно изменить, например, очисткой поверхности частиц, удалением некоторых составных частей и образованием поверхностных пленок с помощью реагентов, селективно действующих на различные вещества. Если при очистке поверхности частиц удаляемые составные части не могут улетучиваться, рассеиваться или сошлифо-вываться, то для очистки требуется перемешивание в пульпе.

Обрабатывать поверхностно-активными и пленкообразующими веществами можно как при сухом (газообразном), так и влажном (в виде раствора) состоянии. В этом случае необходима последующая сушка обработанного материала.

Поверхность основных пегматитов обрабатывают фтористоводородной кислотой и фтористоводородной солью (от 100 г/т и более). Минералы, загрязненные железными соединениями, можно протравливать серной кислотой или гидросульфитом цинка. Для селективного образования пленок как на основных (улексит, циозит и др.), так и на химически менее активных или нейтральных минералах (кианит, силлиманит, циркон) можно применять бензойную кислоту [35] .

При обработке парами фтористоводородной кислоты смеси кварца и полевого шпата на последнем образуется проводящая пленка фтористого калия и фтористого алюминия, кварц же остается почти без изменения (поверхность его "гравировается", а пары фтористого кремния улетучиваются) При такой же обработке смеси кварца и флюорита на последнем образуется проводящая оболочка из фторидов. После обработки этим же способом сподуменовой (литиевой) руды сподумен становится более электропроводным, чем сопутствующие ему альбит, микроклин и кварц. Улучшается также и отделение циозита от плагиоклаза. При доводке алмазосодержащих концентратов исходный материал предварительно обрабатывается водным раствором хлористого натрия [35] .

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СЕПАРАЦИЯ-процесс разделения сухих частиц п. и. или материалов в электрич. поле по величине или знаку заряда, образованного на частицах в зависимости от их электрич. свойств, хим. состава, размеров и т. п. Применяется для доводки черновых концентратов алмазных и редкометалльных руд: титан-цирконнепых, тантало-ниобиевых оловянно-вольфрамовых, редкоземельных (монациг-ксенотимовых). В зависимости от способа образования на частицах заряда и его передачи в процессе Э. с. различают электростатическую, коронную, диэлектрическую и трибоадгезионную сепарации.

При электростатической сепарации разделение производится в электростатическом поле, частицы заряжаются контактным или индукционным способами. Коронная сепарация проводится в поле коронного разряда, частицы заряжаются ионизацией.

Трибоадгезионная сепарация основана на различии в адгезии частиц после их электризации трением. Трение может создаваться при транспортировании частиц по спец. подложке, в кипящем слое при соприкосновении частиц друг с другом.

Относительно малая распространенность Э.с. объясняется ее высокой энергоемкостью, необходимостью эксплуатации сложного высоковольтного оборудования, а также требованиями к тщательной предварительной просушке материала, что трудно обеспечить на обогатительных фабриках, использующих главным образом мокрые процессы.

Диэлектрическая сепарация проводится за счет ponderomotive сил в электростатическом поле; при этом частицы с различной диэлектрической проницаемостью движутся по различным траекториям.

Диэлектрическая постоянная определяется отношением напряженности электрич. поля в минералах и г. п. к напряженности поля в вакууме. Для большинства порообразующих минералов (в т. ч. всех силикатов) диэлектрич. постоянная изменяется от 3 до 10, редко до 25, у влажных пород ее значение достигает 40.

Процесс для диэлектрической сепарации основан на различии диэлектрических постоянных минералов и используется для минералогического изучения или для выделения минералогических фракций. Промышленное применение в обогащении полезных ископаемых процесса диэлектрической сепарации возможно при разделении тонкоизмельченных ценных минералов (шламов) в конечных доводочных операциях.

Минералы с различной диэлектрической постоянной помещают в не проводящую электрический ток жидкость, имеющую диэлектрическую постоянную, промежуточную по величине между диэлектрическими постоянными разделяемых минералов, и создают электрическое поле с радиально расходящимися линиями. Минеральные частицы поляризуются, образуя диполь, один конец которого обращен в сторону сильного поля, а другой — в сторону слабого. В результате частицы с диэлектрической постоянной, более высокой, чем у жидкости, будут двигаться в сторону более интенсивного поля, а частицы с более низкой диэлектрической постоянной — в сторону слабого. Это движение поляризованных частиц в сторону наибольшей интенсивности можно назвать диэлектрофорезом(35).

4.5 Физико-химические свойства и флотуемость минералов.

Флотация.

^4.5.1-Кристаллохимическая характеристика поверхности.

Поверхность минеральных частиц, образовавшаяся в результате рудо-подготовительных операций — дробления, измельчения, промывки, — обладает рядом важных свойств, на которых основаны процессы флотации, флокуляции, электросепарации. Для флотации наиболее существенна смачиваемость и адсорбционная способность поверхности минералов, которые определяются в первую очередь кристаллохимическими свойствами, а затем морфологическими особенностями - микронеоднородностью, дефектами кристаллической решетки, типом проводимости.

Энергия кристаллов, как и других фаз, складывается из внутренней и внешней поверхностной энергии. Поскольку поверхность фазы характеризуется разрывом или ослаблением связей между компонентами фазы, она вносит положительный вклад в суммарную энергию фазы. Поверхностная энергия фаз связана со свободной поверхностной энергией, которая определяется поверхностным натяжением σ (эрг/см² или дин/см) - работой, затрачиваемой на образование 1 см² поверхности.

When minerals interact with various chemical reagents-in liquid, gaseous and even solid states-there is a change or disintegration (decomposition) of minerals, uneven as far as its character and degree are concerned. '

The change and destruction of minerals as a result of various external factors usually begins with the surface of mineral grains. The impact of these forces on minerals is determined by the micromorphological and crystallochemical characteristic features of the surface and largely depends on its macro- and micro-heterogeneity as well as defectiveness.

Поверхностная энергия кристалла численно равна половине энергии разорванных химических связей и зависит от межатомных расстояний и заряда структурных единиц. В общем случае поверхностная энергия кристаллов меньше на плоскостях разрыва с максимальным межатомным расстоянием, т.е. на плоскостях спайности с низкими кристаллографическими индексами, и особенно поверхности скола произвольной ориентации характеризуются более высокой энергией. В анизотропных кристаллах грани с различными индексами (hkl) и спайные сколы всех возможных направлений для данного кристалла соответственно будут обладать и различной поверхностной энергией.

Поверхностная энергия тесно связана со свободной поверхностной энергией, которая определяется поверхностным натяжением. В однотипных в химическом отношении минералах поверхностная энергия уменьшается по мере увеличения степени совершенства спайности. Аналогична зависимость поверхностной энергии и твердости, обусловленной прочностью химической связи: чем выше твердость, тем больше поверхностная энергия. Однако оценка прочности химической связи по разным направлениям весьма приближительна. Валовая же прочность в принципе может быть рассмотрена на основе термодинамических данных, непосредственно связанных с кристаллохимическими особенностями минералов (11).

Сравнение прочности химических связей можно производить только среди минералов одного структурного типа, например кальцита, доломита, родохрозита, магнезита, сидерита, а арагонит уже выпадает из рассмотрения, так как в разных модификациях и структурных типах реализуются различные способы упаковки атомов (11).

При низкой поверхностной энергии на плоскости спайности (весьма совершенной) минералы обладают природной гидрофобностью: графит, молибденит, тальк, пиррофиллит и др. Весьма совершенная спайность в названных минералах объясняется гетеродесмичностью межатомных связей. В пределах отдельных слоев и слоистых[^] пакетов преобладают жесткие ковалентные связи, а между ними остаточные, ван-дер-ваальсовские, очень слабые. Особенность поверхности скола в данном случае заключается в почти идеальной скомпенсированности зарядов в пределах слоев или пакетов.

При расколе кристаллических зерен минералов с преимущественно ионными или ионно-ковалентными типами связи, в частности галоидов и кислородных солей, а также силикатов, чаще всего разрываются связи катион-анион и поверхность скола приобретает избыточный (нескомпенсированный) положительный или отрицательный заряд. Величина такого заряда и количественное соотношение катионов и анионов на "вскрытой" поверхности определяют в конечном счете величину и знак электростатического потенциала поверхности скола-

Для минералов с преимущественно ионными связями в кристаллической структуре кристаллохимическая оценка их флотационной активности[^] связана с атомным строением поверхности скола[^] При этом учитываются в основном стерические факторы, а распределение зарядов связывается с электростатическим взаимодействием. Открывшаяся в последние годы возможность оценки типа и прочности химической связи (с учетом гетеродесмичности) в кристаллических структурах позволяет использовать кристаллохимический анализ при объяснении процесса флотации не только для кристаллов с ионным строением, но и для более сложных объектов, таких, как силикаты (11].

В силу разнородности и большого разброса в межатомных расстояниях на случайных сколах поверхностная энергия не только выше, чем на плоскостях спайности, но имеет более широкий диапазон значений [11].

Оценка знака и величины электростатической составляющей поверхностного потенциала может быть найдена в соответствии с кристаллохимическими данными. Для этого по координатам атомов в соответствующей кристаллической структуре минерала строятся серии проекций, параллельные поверхности граней спайности или излома и перпендикулярные к ним. Первые дают картину распределения и величину избыточных зарядов разного знака, вторые — положение атомов относительно поверхности скола. Наибольший избыточный заряд даже при одинаковом количественном соотношении "плюса" и "минуса" вносят ионы, выступающие над другими и достаточно удаленные от ионов противоположного знака. Они же являются наиболее вероятными центрами адсорбции флотационных реагентов [33].

При расколах зерен минералов реализуются различные варианты распределения зарядов. В слоистых структурах, подобных тальку, на поверхности совершенной спайности обнажаются полностью скомпенсированные электростатические ионы кислорода. В основных структурах (сульфаты, карбонаты, фосфаты, вольфраматы) по причине прочности ковалентных связей внутри комплексов $[SO_4]^{4-}$, $[CO_3]^{4-}$, $[WO_4]^{4-}$, $[PO_4]^{3-}$ — обычно разрываются более слабые ионные связи катион—комплексный анион. Поэтому на поверхности сколов оказываются ионы кислорода комплексного анионного радикала (А) и катиона (К). В этом случае на ионах кислорода возникает избыточный отрицательный заряд с максимальной величиной до $-1/2$ при условии разрыва всех связей катион-кислород радикала. Величина избыточного положительного заряда на катионах в смешанной сетке К-А зависит от координации этого катиона и числа разорванных связей с анионами. В структурах с дополнительными анионами O^{2-} , OH^- , Cl^- , F^- и др., выходящими на поверхность скола, создается весьма существенный отрицательный вклад в заряд поверхности.

В цепочечных и ленточных структурах совершенная спайность обычно проходит вдоль бесконечных кремнекислородных радикалов $[SiO_3]^{2-}$ и $[SiO_4KOH]^-$. При разрыве связей по спайности, например, в пироксенах на поверхности скола обнажаются два типа атомов кислорода: мостиковые, разделенные двумя атомами кремния пироксеновой цепочки [], и боковые, входящие в координацию щелочноземельных катионов (Ca, Fe, Мд). Первые из них характеризуются полностью скомпенсированным зарядом. Боковые атомы кислорода в цепочечных радикалах при разрыве связи $Si...O...K$ испытывают некоторый дефицит отрицательного заряда, и соответственно атомы кремния приобретают избыточный положительный заряд. Помимо этого, скол вскрывает и крупные двухвалентные катионы, которые также вносят свой вклад в распределение и знак поверхностного избыточного заряда.

Любые сколы в каркасных структурах типа кварца и алюмосиликатов из-за разрыва связей $Si...O... (Si, Al)$ будут характеризоваться либо избытком отрицательного заряда в случае выхода на поверхность ионов кислорода, либо преобладанием положительного заряда вследствие обнажения атомов кремния или алюминия. Незначительным избыточным зарядом обладают и высококоординированные крупные катионы К и K^+ , выходящие на поверхность скола. Возникающие положительные заряды в каркасных структурах легко компенсируются за счет присоединения гидроксильной группы и выщелачивания крупных ионов, обнажающихся на поверхности скола [11].

При кристаллохимической оценке заряда поверхности следует учитывать возможность самокомпенсации избыточных поверхностных зарядов также за счет перераспределения (переноса) зарядов между катионами.

Процесс самокомпенсации осуществляется, например, в пироксенах, где полиэдры Ca^{2+} , Md^{2+} , Fe^{2+} и Mn^{2+} образуют сдвоенные зигзагообразные колонки с общими ребрами; аналогичные мотивы имеются и в структуре гранатов, где колонки состоят из октаэдров Al^{3+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} и восьмивершинников Ca^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} . Возникающий избыточный положительный заряд в этом

случае может компенсироваться путем захвата электрона соседнего двухвалентного иона, т.е., по существу, окисления. Еще большее значение самокомпенсация приобретает в минералах с полупроводниковыми и металлическими свойствами, т.е. в большинстве сульфидов, в некоторых окислах и самородных металлах. Как следствие этого, увеличивается отрицательный заряд поверхности [11].

4.5.2 Гидратация поверхности минералов.

Wettability of minerals wholly depends on the crystallochemical characteristics and type of non-compensated chemical bond typical of the surface of chippings. *Hydropilic* minerals are easily wetted in water as compared with the *hydruphobic* ones, that are not wetted and are driven out as to the borderline separating the liquid from the air. This property of the minerals is used when the *floatation enrichment of ores* takes place. Mineral particles with natural *floatability-hydrophobic* ore minerals-become adhesive to air-bubbles, come on the surface and concentrate in the foam, which together with the ore minerals is mechanically separated from the hydrophilic minerals. Hydrophobic minerals include metals with fully compensated charges (gold, copper, platinum and others), layered minerals with a markedly perfect cleavage and the molecular crystals with weak hydrogen bonds or van der Waals bonds (graphite, talc, molybdenite, sulphur, realgar and others). Weak hydrophobic minerals include minerals-semiconductors with a complete or partially compensated covalent or covalent-metallic bonds (sulphides-galena, sphalerite, pyrite, chalcopyrite and others, as well as diamond). Natural floatability is not characteristic of hydrophilic minerals-dielectrics with uncompensated strong ionic or ionic-covalent bonds (barite, calcite, quartz, scheelite, feldspar, spodumene etc.).

Кристаллы природных минералов в процессе измельчения контактируют с жидкой фазой флотационной пульпы, которая представляет собой водный раствор различных ионов и молекул. На поверхности минерала образуется гидратный слой, если минерал имеет достаточно гидрофильную поверхность.

Вода является одним из сильнейших полярных растворителей (диэлектрическая проницаемость - 80). Кулоновское взаимодействие катионов и анионов кристаллической решетки уменьшается в восемьдесят раз, что объясняет сильную растворяющую способность воды по отношению к ионным кристаллическим решеткам. Ион, отрываясь от поверхности кристалла вследствие тепловых флуктуаций или какого-либо другого взаимодействия, попадает в водную фазу, где его электростатическое поле ослабляется.

Присутствующие на поверхности минерала катионные и анионные узлы обычно сильно гидратированы молекулами воды жидкой фазы. В первом приближении энергия кристаллической решетки равна сумме энергий гидратации обоих ионов решетки. Аквакомплексы нейтрализуют электростатические поля ионов жидкой фазы примерно в той же степени, в какой ионы нейтрализуют друг друга в кристаллической решетке.

Образование гидратированной поверхности связано с поверхностной энергией, которая определяет процесс взаимодействия молекул воды с частицей минерала. С макроскопической точки зрения изменение гидрофильных и гидрофобных свойств поверхности определяется соотношением работы адгезии A_d и когезии A^* на границе раздела фаз. Для гидратированной поверхности $A > A^* = 2\sigma$, а в случае гидрофобной поверхности справедливо соотношение $A_d < A^* = 2\sigma$.

Работа когезии затрачивается на преодоление межмолекулярных сил при образовании новой границы раздела жидкость — газ (Ж—Г), которая численно равна работе разрыва связи между молекулами воды на единице вновь образованной поверхности раздела фаз [40].

Равновесие между фазами в трехфазном контакте определяется уравнением конечного краевого угла смачивания $\cos \theta = (\sigma_{\text{ж.г}} + \sigma_{\text{ж.ж}}) / \sigma_{\text{т.ж}}$ где θ — краевой угол смачивания; $\sigma_{\text{т.г}}$, $\sigma_{\text{ж.г}}$, $\sigma_{\text{ж.ж}}$ — соответственно поверхностные натяжения между контактирующими фазами. Для макроскопически неоднородной частицы минерала величины () не являются постоянными, а изменяются на различных участках поверхности [40]. Краевой угол смачивания будет приближенно определяться суммарной характеристикой межфазового натяжения вдоль периметра трехфазного контакта, и уравнение Дюпре примет вид

$\cos \theta =$

Конденсированная система стремится построить свою поверхность с минимальной затратой энергии. Жидкость будет посылать на свою поверхность преимущественно те ионы и молекулы, которые обеспечивают минимум свободной энергии поверхности раздела фаз [40].

Различие концентрации на поверхности и в объеме жидкой фазы определяется уравнением адсорбции Гиббса

$$\Gamma = RT \ln C / C'$$

где C — концентрация ионов или молекул, растворенных в воде; σ — поверхностное натяжение; R — универсальная газовая постоянная; T — абсолютная температура.

Ионы, имеющие большой размер и малый удельный заряд, действуют разрыхляюще на квазикристаллическую структуру воды и уменьшают связанность молекул воды между собой. Энергетическое поле поверхности влияет на колебательные и трансляционные движения молекул воды. В пограничном слое жидкости возникает поток частиц, направленный на уменьшение свободной энергии границы раздела фаз. Ионы, обладающие, отрицательной гидратацией, нарушают ближнюю тетраэдрическую упорядоченность молекул воды, причем нарушение ближней упорядоченности нередко распространяется на вторую и даже более дальние координационные сферы квазикристаллической решетки воды (до 30—50 Å). Дальнее нарушение ближней упорядоченности молекул воды, окружающих ион с отрицательной гидратацией вызывает возникновение энергетического поля, образованного постепенным изменением порядка в структуре жидкости под действием иона.

В случае контакта воды с поверхностью частицы минерала, обработанного гидрофобизирующим реагентом, строение приповерхностного слоя имеет также разупорядоченную структуру вследствие несмачиваемости аполярных частей дифильных молекул реагента-собираателя. Поверхностная энергия аполярных частей молекул реагента-собираателя несоизмеримо меньше поверхностной энергии воды.

В результате разности свободных энергий поверхности твердого тела и поверхности воды, находящейся в контакте с твердым телом, возникает компенсирующее энергетическое поле, вектор которого зависит от знака разности свободных энергий контактирующих фаз.

Присутствие энергетического поля около гидрофильной поверхности является основной причиной возникновения слоя противоионов, которые компенсируют различие свободных энергий поверхностей твердого тела и водной фазы.

4.5.3 Адсорбционная способность минералов.

The adsorbent ability of minerals is varied in its nature and is manifested in that minerals adsorb on their surface molecules and ions. The adsorbent ability is particularly great with the dispersed minerals due to a large density surface, measured in the units of area by the units of mass (cm^2/g). Adsorption is said to be *chemical* if strong chemical bonds are formed between the adsorbent and the adsorbate. *Physical* adsorption is the other type of adsorption, which is characterized by the fact that the adsorbent molecules can be easily scraped. In the first case adsorption can be likened as to the formation of chemical composition, containing combined atoms, belonging to both the adsorbent and the adsorbate

simultaneously. In the second case these compositions are not formed. *Hygroscopicity*, i.e. the adsorption of moisture by the insoluble minerals can be referred to as an example of physical adsorption of water. "

Для образования прочной адсорбционной связи при хемосорбции необходимо, чтобы электрон анионного реагента перешел в кристаллическую решетку минерала. В случае катионного реагента электрон, образующий связь, переходит на катион флотационного реагента. Переход электрона аниона реагента наиболее вероятен в области катионного узла поверхности кристаллической решетки вследствие наибольшей концентрации свободных электронных орбит на данном участке решетки. Эта способность позволяет выделить зону электронных переходов, которая ограничена с одной стороны поверхностью кристалла минерала, а с другой - слоем ориентированных ионов и молекул жидкой фазы флотационной пульпы [40].

Количество анионов реагента, способных закрепиться на катионных узлах кристаллической решетки минерала, зависит от состава, концентрации и химической природы компонентов жидкой фазы вблизи поверхности частиц минералов. В жидкой фазе пульпы присутствуют анионы, способные конкурировать с анионами реагента в образовании адсорбционной связи. Закрепление аниона реагента определяется временем пребывания в зоне электронных переходов и в адсорбированном состоянии или прочностью связи этого аниона с катионным узлом кристаллической решетки. Нахождение аниона реагента в адсорбированном состоянии обусловлено подвижным характером равновесия границы раздела твердой и жидкой фаз [40].

The use of various floatation reagents makes it possible to change (or vary) the natural floatability of minerals which enables one to

enrichment. The use of apolar reagents (organic oils, kerosene *and* others) improves the floatability of hydrophobic minerals, which are adhesive to the drops of these substances.

The chemical adsorption of polar anion and cation reagents is used in the floatation of weak hydrophobic and hydrophilic minerals. The former are attached to the surface of the minerals with redundant negative charges, while the latter to the positive ones. As a result each grain is found to be in the environment of molecules, the free ends of which are not wetted by water, and consequently the hydrophobic nature and the floatability of the mineral is increased. Various surface defects, due to the locally uncompensated charges linked with them, exercise a considerable influence on the adsorption of floatability of minerals. Since most of the mineral chippings occur along the more defective directions of crystalline grains, the concentration of defects on the surface of fractured mineral particles can be highly substantial.

Floatation, at present, is the most widespread means of enriching mineral raw material: 90% of all nonferrous and rare metal ores are enriched by means of floatation, which makes it possible to process the exceptionally poor, with complex content as finely impregnated ores of copper, lead, zinc, molybdenum, tungsten, tin and other metals.

При контакте полупроводника с раствором через границу раздела фаз в общем случае могут переходить как электроны, так и положительно или

отрицательно заряженные ионы. Увеличение работы выхода электронов из кристалла всегда способствует уменьшению положительного или увеличению отрицательного потенциала поверхностного слоя минерала, и обратная картина наблюдается при увеличении работы выхода электронов из раствора.

В случае флотации минералов-полупроводников можно регулировать процесс закрепления ионогенного реагента-собирателя на поверхности минерала путем изменения работы выхода электрона из раствора. Данное положение можно проследить при добавлении в водную фазу пульпы реагентов-окислителей или восстановителей [40].

Кислород, являясь основным, акцептором электронов, вызывает смещение величины химического потенциала электронов и приводит к повышению концентрации свободных электронных вакансий. Обратная картина наблюдается при введении в процесс восстановителя: уменьшается концентрация кислорода, падает работа выхода электрона из воды, величина контактного потенциала смещается в отрицательную сторону, повышается концентрация

электронов в поверхностном слое минерала, что приводит к уменьшению сорбции анионного реагента [40]. На этом принципе основан метод электрообработки флотационных пульп и растворов реагентов.

Различают химическую адсорбцию с образованием прочных химических связей между адсорбентом и адсорбатом, и физическую адсорбцию, при которой адсорбируемые молекулы могут быть легко удалены. В первом случае адсорбцию можно уподобить образованию химического соединения, содержащего общие атомы, принадлежащие и адсорбенту и адсорбату одновременно. Во втором случае такие соединения не образуются. Гигроскопичность, т.е. поглощение влаги из воздуха нерастворимым минералом, может служить примером физической адсорбции воды (каолинит, галлуа-зит и другие глинистые минералы). [11].

/4.5.4. Флотируемость минералов

Смачиваемость минералов зависит полностью от кристаллохимических особенностей и типов нескомпенсированной химической связи, характеризующих поверхность сколов. Гидрофильные минералы легко смачиваются водой в отличие от гидрофобных, которые не смачиваются и вытесняются на границу раздела жидкость—воздух. К гидрофобным минералам относят металлы с полностью скомпенсированными зарядами (золото, медь, платина и др.), слоистые минералы с весьма совершенной спайностью и молекулярные кристаллы со слабыми водородными или вандер-ваальсовыми связями (графит, тальк, молибденит, сера. реальгар и др.). К слабо гидрофобным минералам относятся минералы-полупроводники с полностью или частично скомпенсированными ковалентными или ковалентно-металлическими связями (сульфиды—галенит, сфалерит, пирит, халькопирит, и др., а также алмаз). Естественной флотируемостью не обладают гидрофильные минералы — диэлектрики с некомпенсированными сильными ионными или ионно-ковалентными связями (барит, кальцит, кварц, шеелит, полевые шпаты, сподумен и т.д.) . • Применение флотореагентов позволяет изменять естественную флотируемость минералов, что дает возможность отделять друг от друга гидрофильные минералы в процессах обогащения. Использование аполярных реагентов (органических масел, керосина и др.) улучшает флотируемость гидрофобных минералов.

При исследовании обогатимости руд флотацией наиболее трудным является выбор режимов и реагентов. Флотационное извлечение минералов во многих случаях зависит не только от флотируемости того или иного минерала, но и от состава сопутствующих компонентов, а также от генезиса, вкрапленности, наличия изоморфных примесей в минерале и других факторов [5].

Примерное представление о флотируемости минералов различных классов дает классификация М.А. Эйгелеса (табл. 4.3). Более подробные рецептуры реагентов, разработанные С.И. Митрофановым [34] и Г.С. Бергером [17] и обобщены в [5] .

Таблица 3.5 Классификация минералов по флотационным свойствам

Точная классификация минералов по флотируемости представляет большие трудности. Универсальность флотационного метода, разнообразие реагентов и условий флотации не позволяют создать формальную шкалу флотационного обогащения. Тем не менее для создания вспомогательных флотационных шкал можно использовать известную последовательность флотируемости минералов некоторыми собирателями, а также природную флотируемость минералов. Флотореагенты обычно не нарушают, а усиливают разницу в природной флотируемости минералов.-Так, природно-гидрофобные минералы можно расположить в следующий ряд убывающей флотируемости аполярными реагентами: каменный уголь, самородная сера, графит, молибденит, реальгар, висмут, тальк, алмаз. Остальные промышленные минералы извлекаются в присутствии гетерополярных собирателей. Минералы можно расположить также по убывающей флотируемости ксантогенатами в ряд: энаргит, халькозин, ковеллин, аргентит, халькопирит, сфалерит (активированный медью), марказит, пирит, арсенопирит, прустит,

стефанит, пирротин, сфалерит (неактивированный). Этот ряд, известный из работ Таггарта, можно изменить подбором специальных реагентов-собирателей и активаторов. Однако при первичных исследованиях обогатимости, а в ряде случаев при разработке технологических схем следует учитывать приведенную последовательность, как наиболее вероятную для селективной флотации минералов.

В последнее время при селективной флотации возникла тенденция резкого сокращения расходов собирателей, а в ряде случаев применения без-реагентной флотации только со вспенивателем, что позволяет получать в голове процесса первичный богатый продукт, состоящий из легкофлотируемых минералов. Эта тенденция не только удовлетворяет требованиям последующей доводки, но также имеет большое экономическое и экологическое значение.

Рассматривая ряд Таггарта, видим, что наиболее природно-гидрофобные сульфидные минералы (молибденит и галенит) могут быть сфлотированы без собирателя при отсутствии окисления поверхности или при восстановлении окисленных форм с помощью сульфидизатора.

Далее по .природной флотируемости идет группа медных минералов, которая флотируется только с применением гетерополярных собирателей. Принципиально существует возможность повышения эффективности обогащения методом безреагентной флотации с применением только вспенивателя.

Создание подобных рядов минералов, флотируемых другими реагентами, пока затруднительно ввиду отсутствия систематизированных данных. Однако возможность подобных зависимостей может быть использована при практических исследованиях. Известно, что минералы промышленных месторождений могут значительно отличаться по природной флотируемости от чистых разновидностей. Поэтому при оценке флотируемости минералов теми или иными реагентами составленные ряды рекомендуется корректировать данными, полученными экспериментально [5].

4.5.5 Флотационные реагенты.

Ф. Р .-химические вещества, добавляемые в пульпу при флотации для регулирования взаимодействия частиц с пузырьками газа, химических реакций и физико-химических процессов в жидкой фазе, на границах раздела фаз и в пенном слое с целью создания условий селективного разделения минералов. В соответствии с функциональным назначением Ф.р. различают собиратели, пенообразователи и регуляторы. способна к хим. взаимодействию). Собиратели предназначены для гидрофобизации минеральных частиц. Подразделяются на аполярные и полярные вещества. Аполярные-углеводородные жидкости преимущественно нефтяного происхождения(керосин, топливные масла ит.п.) усиливают природную гидрофобность таких аполярных минералов ,как самородная сера, тальк, молибденит, графит, алмаз. Для полярных С. Характерна ассиметричная структура молекулы, состоящей из двух частей- аполярной и функционально полярной. Функциональная полярная или гидрофильная группа склонна к хим. диссоциации или хим. взаимодействию. Полярные С. подразделяются на анионные и катионные соединения в соответствии с зарядом - полярной части (многие из них активны и в молекулярной форме); применяются при флотации руд цветных металлов и др. п. и. (табл4.3)

Адгезионный характер закрепления аполярных С. за счёт сил Ван-дер-Ваальса усиливается при диспергировании капелек эмульсии С. (напр., ультразвуком). Большинство аполярных С. содержит полярные вещества, поэтому их взаимодействие с минеральными частицами и пузырьками воздуха имеет более сложный характер, т. к. наряду с адгезионным происходит и хим. взаимодействие.

. Регуляторы применяются для повышения избирательности закрепления собирателей на поверхности определённых минералов, увеличения прочности этого закрепления, снижения расхода собирателя и изменения характера пенообразования. Когда регулятор действует непосредственно на поверхность минерала, способствуя лучшему закреплению на нём собирателя и активируя флотацию, он наз. активатором. Напр., добавление сульфида натрия сульфидизирует поверхность оксидных минералов цветных металлов и позволяет закрепиться на них молекулам

ксантогената. Регулятор, затрудняющий взаимодействие минерала с собирателем, наз. подавителем, или депрессором. Напр., жидкое стекло предотвращает закрепление мыл на силикатных минералах, подавляя их флотацию; известь и цианиды подавляют флотацию пирита. Кроме активаторов и подавителей, имеются реагенты-регуляторы, придающие среде определённую щёлочность и кислотность (регуляторы среды). Регуляторы, разобшающие (пептизирующие) частицы микронных размеров (тонких шламов), напр. силикат натрия. уменьшая их отрицат. действие на фло-тацию, наз. реагентами-пептизаторами и чаще всего являются неорганич. соединениями, реже используют органич. регуляторы

. При флотации применяют определённый ассортимент реагентов и порядок их подачи, что составляет основу флотационного режима. Обычно в пульпу добавляется регулятор, затем собиоатель и впоследствии пенообразователь. Выдерживается оптимальное время контакта пульпы с каждым реагентом. Во многих случаях действие реагента комплексное и приведенная классификация условна.^.

(Адсорбционная способность поверхности всегда специфична по отношению к определенным типам реагентов, растворенных или эмульгированных в водной фазе. Реагенты-собиратели (рис.4.12) и флокулянты (рис.4.13) взаимодействуют с поверхностью минералов непосредственно или с помощью реагентов-регуляторов(рис.4.14). В некоторых случаях для флотации достаточно присутствия реагента-пенообразователя(рис.4.15).

4.5.6 Флотационные процессы.

Флотация-основной метод обогащения руд. Флотация применяется также для очистки воды от органич. веществ (нефти, масел), бактерий, тонкодисперсных осадков солей и др. Помимо горноперерабат. отраслей пром-сти Ф. используется в пищевой, хим. и др. отраслях для очистки пром. стоков, ускорения отстаивания, выделения твёрдых **взвесей** и эмульгир. веществ и т. п. Широкое применение Ф. привело к появлению большого кол-ва модификаций процесса по разл. признакам (рис.4.16).

Первой была предложена масляная Ф. (В.. Хайнс, Великобритания, 1860). Для её осуществления измельченная руда перемешивается с маслом и водой; при этом сульфидные минералы избирательно смачиваются маслом, всплывают вместе с ним и снимаются с поверхности воды, а породы (каарц, полевые шпаты) тонут в воде. В России масляная Ф. была использована для обогащения графитовой руды (г. Мариуполь, 1904). Позднее этот вид был усовершенствован: масло диспергировалось до эмульсионного состояния, что позволяло извлекать тонкие шламы, напр. марганцевых руд. Способность тонких гидрофобных частиц удерживаться на поверхности воды, в то время как гидрофильные тонут в ней, была использована для создания плёночной Ф. (А. Нибелиус, США, 1892; А. Мак-Куистен, Великобритания, 1904). Плёночная Ф. не имела большого практич. использования, но явилась праобразом пенной Ф., как с точки зрения использования межфазной границы вода — воздух, так и с точки зрения использования флотационных РЕАГЕНТОВ, поскольку было замечено, что плёночная Ф. проходит значительно эффективнее в присутствии небольших количеств масла. В процессе пенной Ф. обработанные реагентами частицы выносятся на поверхность воды пузырьками воздуха, образуя пенный слой, устойчивость которого регулируется добавалением пенообразователей. Для образования пузырьков предлагались разл. методы: образование углекислого газа за счёт хим. реакции (С. Поттер, США, 1902), выделение газа из раствора при понижении давления (Ф. Элмор, Великобритания, 1906) — вакуумная Ф., энергичное перемешивание пульпы (механич. Ф.), пропускание воздуха сквозь мелкие отверстия (пневматич. Ф.). Тонкодиеперсные пузырьки для Ф. из растворов получают также при электролитич. разложении воды с образованием газообразных кислорода и водорода (электрофлотация).

Разнообразные способы образования газовых пузырьков и комбинации этих способов соответствуют разл. типам флотационных машин. Соединение камер флотационных машин в определённой последовательности с направлением потоков пенных и камерных продуктов на

перефлотацию, доизмельчение, перечистную или контрольную Ф. составляет схему Ф., которая позволяет получить концентрат требуемого качества при заданном извлечении полезного компонента.

Для проведения пенной Ф. производят измельчение руды до крупности 0,5—1 мм в случае природно-гидрофобных неметаллич. п. и. с небольшой плотностью (сера, уголь, тальк) и до 0,1—0,2 мм для руд металлов. Для создания и усиления разницы в гидратированности разделяемых минералов и придания пене достаточной устойчивости к пульпе добавляются флотационные реагенты. Затем пульпа поступает во флотац. машины. Образование флотационных агрегатов (частиц и пузырьков воздуха) — аэро-флокул происходит при столкновении минералов с пузырьками воздуха.

На Ф. влияют ионный состав жидкой фазы пульпы, растворённые в ней газы (особенно кислород), темп-ра и плотность пульпы. На основе изучения минералого-петрографич. состава обогащаемого п. и, выбирают схему Ф., реагентный режим и степень измельчения, к-рые обеспечивают достаточно полное разделение минералов. Лучше всего Ф. разделяются зёрна размером 0,1—0,04 мм. Более мелкие частицы разделяются хуже, а частицы мельче 5 мк ухудшают Ф. более крупных частиц. Отрицательное действие частиц микронных размеров уменьшается специфич. реагентами. Крупные (1—3 мм) частицы при Ф. отрываются от пузырьков и не флотируются. Поэтому для Ф. крупных частиц (0,5 —5 мм) в СССР разработаны способы пенной сепарации, при к-рых пульпа подаётся на слой пены, удерживающей только гидрофобизир. частицы. С той же целью созданы флотационные машины кипящего слоя с восходящими потоками аэрирован. жидкости.

Во флотационных машинах часто происходит побочный процесс — осаждение гидрофобных частиц на стенках и особенно деревянных деталях, т. н. Ф.твёрдой стенкой. Этот эффект был положен в основу метода флотации тонких шламов (—10 мкм) с • помощью носителя — гидрофобных

- частиц флотационной крупности, селективно взаимодействующих с из-влекаемыми шламами; образующиеся . агрегаты подвергались обычной пенной Ф.

Для очистки воды, а также извлечения компонентов из разбавленных растворов в 50-х гг. был разработан . метод ионной флотации.

Гидрофобизационный эффект используется также при обогащении на липких поверхностях при адгезионной сепарации (алмазов, глин, растворимых солей).

ФЛОТОГРАВИТАЦИЯ- комбинированный процесс, совмещающий флотацию () и грааитацию. ФГ.. осуществляется на концентрационных столах, винтовых сепараторах, ленточных шлюзах, концентраторах и отсадочных^ машинах, в к-рых, благодаря обработке флотационными реагентами и введению в пульпу пузырьков воздуха образуются аэрофлокулы определенных минералов, имеющие меньшую плотность, чем частицы, не взаимодействующие с воздушными *пузырьками*. Создаваемое при этом различие в плотности способствует *более эффективному* разделению частиц мине-ралов. меньшей крупности, чем при гравитационном обогащении.-

ПЕННАЯ СЕПАРАЦИЯ -процесс разделения частиц минералов по смачиваемости при их прохождении сверху вниз сквозь слой движущейся

пены, образованной на поверхности аэрированной жидкости. Гидрофобные частицы концентрируются в верх. слое пены, а гидрофильные — вымываются из пены потоками жидкости, поступающей на пену с пульпой сверху. В пене создаются условия противоточного движения частиц и пузырьков, интенсифицирующих процесс разделения.

При П. с. разделение определяется разл. скоростью прохождения частиц через пену в зависимости от свойств' поверхности частиц (природной *или* создаваемой реагентами). Крупность материала, извлекаемого в процесса П. с., составляет, напр., для фосфорита от 0,2 до 1,2 мм, марганцевых минера лов от 0,2 до 2,5 мм, силвина от 1 до 5 мм, сульфидов тяжёлых металлов *от'* 0,3 до 2,5 мм, серы самородной и угля от 0,5 до 5 мм. Высокая скорость разделения в процессе П. с. определяется небольшим временем и расстоянием^ движения свободных частиц навстречу^

пузырькам, снижением длины пути минерализованных пузырьков до их вывода в концентратный желоб. Особенность кинетики П. с. связана и с тем, что извлечение ценного компонента из единицы объема пульпы при последоват. операциях П. с. меняется незначительно, несмотря на постоянное

снижение содержания извлекаемого компонента в питании аппаратов.

Время разделения минералов в пенном слое зависит от скорости удаления из пены гидрофильных частиц, причём крупные частицы выпадают в 4—5 раз быстрее, чем мелкие. Кинетика П. с. во многом определяется несущей способностью пены, т. е. величиной силы, с которой выталкиваются вверх гидрофобные частицы, помещённые на пену или в пену. Она зависит от ряда факторов, среди которых основными являются поверхностные свойства частиц. Процесс П. с. имеет общие с флотацией физ.-хим. основы, но отличается гидродинамич. режимом в зоне образования комплекса «минерал—пузырёк». При движении пульпы через пену создаются благоприятные условия для столкновения и закрепления частиц на воздушных пузырьках благодаря увеличению вероятности их соударения и минерализации, отсутствию центробежных и инерционных сил отрыва частицы от пузырька в пене. Крупность извлекаемых частиц в 5—10 раз выше, чем при флотации.

4.6 Химические и термические свойства минералов. Гидрометаллургия.

^4.6.1. Растворимость в неорганических растворителях

The chemical stability of minerals depends on their constituent features and the selectively acting parameters of the chemical environment—concentration, acidity-and-alkalinity, redox potential, temperature and pressure. Under the influence of the chemical environment minerals are either partially or completely dissolved, hydrated, oxidized or reduced, evaporated, and enter into chemical reactions with the formation of new forms of matter.

The solubility of minerals is usually determined in relation to water and water solutions of acids (sulphuric, nitric, hydrochloric, hydrofluoric, acetic), alkali (KOH, NaOH) and various salts (mainly Na_2CO_3). Minerals that are hard to dissolve in aqueous solutions are first melted with sodium carbonate, phosphate, borax, or sodium fluoride in order that alloys soluble in water or aqueous solutions of acids or alkali could be produced.

The rate at which minerals are dissolved depends on the size of grains. Hence, they are first ground and grinded. In the process of heating the solubility of minerals increases.

Химические свойства минералов определяют возможность применения гидрометаллургических процессов. В последнее время, помимо обычного выщелачивания, все большее распространение получают методы предварительной подготовки минералов, изменяющие их растворимость, бактериальная и термическая обработка.

Химическое изменение структуры или поверхности минералов позволяет воздействовать также на их магнитные и флотационные свойства. Особый интерес представляют электрохимические методы. В этом случае возможны не только химические поверхностные реакции, но и более тонкий механизм компенсации или создания дефектов кристаллической решетки.

Выщелачивание руд в широких масштабах возможно только дешевыми растворителями. Более дорогие (органические экстрагенты) применяются для доводки концентратов или очистки растворов.

В табл. 4. приведена растворимость минералов в различных растворителях. Минералы по растворимости разделены только на две группы: хорошо растворимые и плохо растворимые. Внутри этих групп растворимость минералов неодинакова. Это связано с множеством факторов, определяющих скорость растворения природных минералов, а именно: степенью окисленности, наличием изоморфных включений и примесей, крупностью частиц..^..^ -

Minerals are less soluble in water. Those that are easily dissolved in water include nitrates, chlorides, fluorides, borates, sulphates and the carbonates of alkali and some other metals.

Таблица 4 Растворимость минералов в неорганических растворителях

4.6.2. Окислительно -восстановительные свойства.

Окислительно-восстановительные реакции между минералами и различными реагентами возможны, если в состав минералов входят атомы элементов, которые могут изменить свой заряд. Изменение растворимости сульфидных минералов связано с реакциями окисления, которые могут осуществляться самопроизвольно в результате окислительного обжига и спомощью бактерий.

В работах И.Н. Плаксына и его сотрудников показано, что окисляемость поверхности минералов в значительной степени влияет на их флотационные свойства.

Скорость химического, а также бактериального окисления сульфидов зависит от энергии кристаллической решетки и электронного потенциала.

Значительно легче окисляются сульфиды, имеющие более низкую энергию кристаллической решетки. Чем ниже энергия кристаллической решетки, тем выше и растворимость сульфида (табл. 4.).

По величине электродных потенциалов минералы располагаются в ряд, который соответствует их способности к окислению (табл.4.).

Определены следующие ряды убывания скорости окисления минералов [26]:

а) по величине электродного потенциала при отсутствии буферных окислительно-восстановительных систем для кислых и щелочных сред: марказит, пирит, ковеллин, халькопирит, арсенопирит, борнит, халькозин, пирротин, галенит, пентландит, шмальтин, молибденит, сфалерит;

б) в водовоздушной среде: галенит, пирит, халькопирит, пирротин, халькозин, сфалерит;

в) в растворе 0,125 н. H^+SO^+ : пирротин, тетраэдрит, галенит, сфалерит, халькопирит, арсенопирит, марказит, пирит;

г) по степени окисляемости в растворе 0,05 н. H^+SO^+ : пирротин, сфалерит, галенит, халькопирит, пирит;

Таблица 4 . Растворимость сульфидов и сульфатов

Таблица 4 Электродные потеичилы в дистиллированной воде по отношению к медному электроду

д) в растворе 0,1 н. сернокислого железа: пирротин, тетраэдрит, галенит, арсенопирит, сфалерит, пирит, энаргит, марказит, халькопирит.

По результатам расчета изобарно-изометрических потенциалов реакций сульфатизации сульфидов а пределах 100 - 200° С минералы располагаются в следующем порядке: пирротин, галенит, сфалерит, халькопирит, пирит, ковеллин, халькозин.

4.6.3. Бактериальные методы изменения растворимости

. -Разработанные методы бактериального выщелачивания руд основаны на окислении сульфидных минералов с помощью бактерий до растворимого состояния. Помимо обычной геолого-минералогической характеристики, для применения бактериального выщелачивания необходимо знать распространение или возможность расселения соответствующих групп микроорганизмов в месторождении [26] . Свойства и применимость микроорганизмов для переработки руды приведены в [26]. Однако механизм окисления зависит не только от свойств бактерий, но и от ряда других условий.

Поверхностно-активные вещества и некоторые минеральные соли также ускоряют процесс окисления. Th. ferrooxidans нуждается в минеральных солях, особенно фосфатах и аммонийных. Сера, обработанная фосфолипидом-фосфатидилинозитом, окисляется быстрее, чем не обработанная. Для сульфидов меди, цинка и никеля эффективны твин-20 (полиоксиэтиленовая производная сложного эфира, спирта, сорбита и лауриновой кислоты от 0,003-до 0,004-ной) и тритон X-100 [26] .

4.6.4. Термохимические свойства

При нагревании минералов входящие в их состав атомы смещаются относительно равновесного положения и колеблются с определенной частотой. Между колеблющимися атомами силы отталкивания и притяжения также меняются, соответственно кинетическая энергия переходит в потенциальную и обратно [33].

Теплоемкость минералов определяет величину энергии, которую необходимо затратить, чтобы нагреть 1 моль на 1° .

Тепловое расширение определяется ростом амплитуды колебаний атомов при нагревании минералов. Соответственно увеличивается расстояние между атомами и уменьшается прочность химической связи. Коэффициент линейного расширения — величина анизотропная и зависит от кристаллической структуры минералов. Тепловое расширение связано также со смещением атомов из равновесного положения и переходом в интерстиционные позиции, т.е. с образованием тепловых дефектов — анионных вакансий и интерстиционных атомов. Концентрация тепловых дефектов находится в экспоненциальной зависимости от температуры. Поэтому большей концентрации вакансий в структуре минералов соответствует большее тепловое расширение [33].

Плавление минералов происходит с увеличением расстояния между атомами и увеличением удельного объема минерала. Исключение составляют лед и висмут, имеющие более плотную структуру в жидком состоянии. Теплота плавления — энергия, которая необходима, чтобы разрушить кристаллическую структуру с образованием расплава при некоторой характерной для каждого минерала температуре плавления. Температура плавления уменьшается с увеличением концентрации точечных дефектов и изоомфных примесей [33].

Нагревание минералов обычно сопровождается диффузионными перемещениями атомов. В некоторых из них при этом происходят явления разупорядочения, в других — гомогенизации фаз (срастаний продуктов распада твердых растворов), в третьих — фазовые превращения — полиморфные переходы, часто сопровождающиеся увеличением объема, например при полиморфном превращении арагонит → кальцит.

Термическое разложение минералов происходит ниже температуры плавления и выражается в термической диссоциации, например, кальцита $\text{Ca}[\text{CO}_3] \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ или гематита $\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow 2\text{Fe} + \frac{3}{2}\text{O}_2$ и термической дегидратации минералов, содержащих воду, например гипса $\text{Ca}[\text{SO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}] \rightarrow \text{Ca}[\text{SO}_4] + \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$. При нагревании на открытом воздухе, т.е. в окислительной среде, некоторые минералы окисляются или сгорают. В отдельных случаях при нагревании некоторых сульфидов, окислов и солей вместе с их диссоциацией или окислением выплавляется металл (королек). Сублимация или испарение минералов при нагревании наблюдается у самородной ртути, киновари, реальгара, аурипигмента, а также графита, висмута, золота и других металлов, особенно в восстановительных условиях и в вакууме [33]. Термические методы изменения свойств минералов приведены в табл.4. [39].

Нагревание может применяться также для сортировки по инфракрасному излучению (инфракрасная сепарация). Метод основан на том, что минералы и горные породы обладают различной теплоемкостью и поглощают различное количество тепловой энергии. Различна и интенсивность испускаемого инфракрасного излучения.

Таблица 4 Термические методы изменения свойств минералов [15]

4.6.5 Выщелачивание

Выщелачивание производят с целью селективного перевода в растворенное состояние металлов для их последующего извлечения или удаления вредных примесей. В. подвергают руды и продукты их обогащения (концентраты, промпродукты, хвосты), продукты пирометаллургич. передела (огарки, штейны, анодные шламы и т.д.) а также отходы, образующиеся при обработке металлов и сплавов. В. широко используют в произ-ве урана, золота, меди, цинка, молибдена, вольфрама, алюминия и др. металлов. При необходимости перед В. (или во время него) материал подвергают дроблению и измельчению, а также хим. обработке т. н. вскрытию, для перевода

извлекаемого компонента из труднорастворимого соединения в легкорастворимое. Для этого используют различные виды обжига (окислительный, восстановительный, хлорирующий, сульфатизирующий), спекание, окисление или восстановление в пульпе. Пример вскрытия: окислит. обжиг сульфидных концентратов, в процессе к-рого металл[^] переходит в форму окисла, легко растворяющегося в водных растворах щелочей (В. молибдена) или кислот (В.[^] цинка). Обычно В. осуществляют с помощью водных растворов неорганич. кислот (серной, соляной, азотной), щелочей (едкий натр, аммиак) и солей[^] (углекислый натрий или аммоний, цианиды и др.). Растворитель выбирается[^] исходя из свойств и состава материала[^] с учётом селективности, токсичности, стабильности состава, коррозионного[^] действия, возможности регенерации и* др. свойств, а также его стоимости[^] и дефицитности. Иногда В. представляет собой простое растворение (напр[^] водное В. соединений тяжёлых металлов после сульфатизирующего или хлорирующего обжига). В большинстве случаев растворение при В. сопровождается следующими процессами: комплексообразованием (напр., при цианировании золота, обработке сульфидов.[^] никеля аммиачными растворами); обменной реакцией (при В. окислов или[^] карбонатов металлов растворами кислот); окислительно-восстановит. реакцией (при В. электроотрицат. металлов кислотами; В. сульфидов кислыми растворами).

Процесс В. состоит из трёх стадий[^] подвода реагирующих веществ к твердой поверхности; хим. реакции; отвода растворимых продуктов реакции в раствор. Чаще всего В. протекает в диффузионной области, т. е. скорость[^] процесса контролируют первая и[^] третья стадии. Однако возможны также кинетич. режим, при к-ром самой медленной стадией является хим. реакция пульпы (и следовательно скорость процесса определяется закономерностями хим. Кинетики), а также смешанный диффузионно-кинетический режим

Повышение эффективности В. возможно за счёт механохим., ультразвуковых, термич. воздействий, при совмещении В. с ионным обменом (т. н. сорбционное В.), при воздействии высоких темп-р (до 300°C) и давлений

(до 0,5 МПа), достигаемых в автоклавах а также благодаря[^] воздействию определ. видов бактерий. Для выщелачивания руду обычно измельчают до — (0,074—0,2 мм) (за исключением подземного и кучного выщелачивания). Скорость выщелачивания можно также увеличить путем интенсивного перемешивания, нагревания, проведения процесса в мельницах, автоклавах и т. д.

Выщелачивание цветных металлов из руд включает окисление сульфидных минералов с последующим растворением образовавшихся солей металлов. Наиболее легко выщелачиваются металлы, находящиеся в руде в виде окислов. В качестве растворителя используются в основном растворы серной кислоты. Редкие элементы, изоморфно замещающие Си, РЬ, Zn и т.п. в кристаллической решетке, при выщелачивании переходят в раствор.

Кучное выщелачивание-способ переработки хим. или бактериальным выщелачиванием попутно[^] добытых забалансовых и бедных балан- ' совых крупнокусковых руд, заскладированных в отвалах, извлечение из' к-рых полезных компонентов обычными обогатительными или гидрометаллургич. методами (выщелачивание в пачуках, автоклавах и др. аппаратах) нерентабельно.

Применяют для извлечения меди, золота и урана. Ведутся экспериментальные работы по его использованию для извлечения др. металлов.

При К. в. в качестве реагентов используют водные растворы минеральных (серной, азотной, соляной) и органических (напр., уксусной) кислот, соды, солей аммония и др.

[^]Площади для размещения куч, отвалов руд подготавливают с обеспечением соответствующих уклонов в сторону растворосборников; покрывают гидроизолирующим материалом (глина, асфальт, цемент, твердеющие растворы синтетич. Смол др.), сооружают дренажную систему в виде перфорированных труб из материалов, инертных к действию[^] выщелачивающих реагентов. Высоту куч, отвалов и способ отсыпки руд (бульдозерами, автосамосвалами, экскаваторами и др.) выбирают в зави-

симости от их физ.-механич. свойств, способности к уплотнению.

В зависимости от физ.-механич. свойств руд возможны два режима К. в.: инфильтрационный и фильтрационный. Инфильтрационный режим применяют при К. в. крепких руд, не подверженных уплотнению. При небольшой плотности орошения таких руд выщелачивающим реагентом он не заполняет полностью все пустоты (как при фильтрационном режиме), а лишь смачивает или покрывает тонкой плёнкой поверхность рудных кусков, заполняет капилляры и постепенно стекает к днищу площадки. При инфильтрационном режиме К. в. с помощью спец. оросит. устройств (перфорированных шлангов, форсунок, разбрызгивателей и др.) подачу реагента проводят циклично, чередуя циклы орошения и выстаивания. Продолжительность циклов может быть разной (зависит от минерального и вещественного состава руд). Для руд с локализацией оруденения по трещинам размер куска при К. в. существ. роли не играет, т. к. кусковатость отбитой горн. массы соответствует ес-теств. кусковатости массива. Для вкрапленного оруденения решающими факторами а процессе инфильтрационного К. в. являются скорость и глубина проникновения раствора реагента в глубь рудного куска.

Предварительное грохочение руды с выделением в отвалы крупного материала с низким содержанием металла позволяет в ряде случаев снизить расходы на переработку и увеличить производительность установки К. в. В др. случаях грохочение, сортировка руды и додрабливание крупных фракций приводят к значит. увеличению извлечения металла (иногда в 1,5—1.7 раза). Фильтрационный режим применяют при К. в. песчано-глинистых руд, подверженных уплотнению. При этом подачу реагента осуществляют по скважинам, пробурённым с поверхности кучи, отвала.

Для интенсификации процесса К. в. в зависимости от конкретных условий применяют аэрацию куч и отвалов с помощью перфорированных труб, наращиваемых в процессе отсыпки руд; встряхивающие взрывы; повышение темп-ры и напора раствора; ПАВ и др.

При разработке режима бактериального выщелачивания необходимо учитывать следующие факторы.

Состав руд. При наличии минералов, реагирующих с H_2SO_4 , быстро растёт pH. В результате создаются неблагоприятные для бактерий условия (руды вкрапленные, бедные сульфидами и содержащие силикаты и алюмосиликаты, карбонатные и вторичные сульфиды Си — CuS и Cu^+S). Из карбонатных руд медь серной кислотой и бактериальными способами не выщелачивают.

Размеры частиц сульфидов. Скорость окисления увеличивается с уменьшением крупности измельчения. Если процесс проводится не подземным способом, рекомендуется измельчение до 0,07—0,04 мм.

Температура. При повышении температуры бактериальные окислительные процессы замедляются, а химические ускоряются. Оптимальная температура при окислении *Th. ferr'oxidans*: железа — 35 С, халькопирита — 20—35°; синтетических сульфидов меди — 30°, халькозина — 25°, арсенопирита — 30°, сульфидных минералов никеля и цинка — 35°. Процесс окисления медноколчеданных руд интенсифицируется нагреванием руды за счет экзотермических окислительных реакций.

Аэрация и перемешивание ускоряют, в частности, окисление закисного железа. Аэрацию осуществляют продувкой воздуха. Для перемешивания лучше использовать вращающиеся качалки и магнитные мешалки.

ЦИАНИРОВАНИЕ— способ выщелачивания' золота и серебра^, из сравнительно бедных, тонковкрапленных руд, хвостов и др. продуктов обогащения, основанный на селективном растворении металлов в слабых растворах цианидов ($NaCN$, $Ca(CN)_2$, KCN) и последующем осаждении их из растворов на цинковой пыли, ионитах, активированном угле.

Избирательность растворения достигается низкой концентрацией раствора (0,03—0,3% цианида), благодаря чему он мало взаимодействует с др. компонентами руды. Растворение золота и серебра в цианистом растворе происходит в присутствии растворенного в воде кислорода, повышение концентрации кислорода интенсифицирует процесс. Ц. ведётся в щелочной средс, т. к. гидролиз цианида ($CN + H_2O = HCN + OH^-$) приводит к образованию сильнолетучей синильной к-ты, а

также нерастворимого AuCN . Скорость растворения золота возрастает с увеличением концентрации ионов CN и кислорода, при их соотношении, близком к 6. При растворимости кислорода в воде ок. 8 мг/л, это соответствует концентрации KCN , близкой к 0,01%. В основе теории процесса Ц. лежат закономерности кинетики растворения на неоднородной поверхности (при катодной деполяризации кислородом) и диффузионного растворения металлов (при одновременной диффузии цианида и кислорода).

Преимуществами процесса Ц. является его селективность по отношению к золоту, серебру и др. благородным металлам, сравнительно небольшие расходы цианидов (0,2—0,5 кг т руды), нахождение золота, серебра в виде анионных комплексов, легко отделяемых от катионных примесей на ионообменных сорбентах. Не требуется дорогостоящего кислотостойкого оборудования; темп-ры проведения процесса обычные.

Для удаления летучих примесей (сера, сурьма, мышьяк, висмут, ртуть и др.), а также органич. веществ чаще всего перед Ц. применяется обжиг. Сульфиды иногда удаляют предварит. щелочной обработкой либо окислением сульфидов до сульфатов перманганатом калия. В зависимости от влажности металлов Ц. при тонком измельчении проводят в аппаратах с пневматич. перемешиванием (пачуки), при грубом помоле — в механич. реакторах. Ц. тонкодроблёной руды (6—12 мм) производится при её достаточной пористости в перколяторах. Крупнокусковая руда выщелачивается в кучах и отвалах (особенно характерно для США). Ц. золото-урановых руд проводится в сочетании с серноокислотным выщелачиванием урана (ЮАР),

Высокопробное золото выщелачивается хорошо, а наиболее трудно — медистое золото и теллуриды золота. Соли Pb , Bi , Nd , Te ускоряют Ц. Затрудняют процесс сульфиды, а также ионы меди, цинка, железа. Сульфиды образуют роданиды, инертные по отношению к золоту, медь и цинк — растворимые цианиды и плёнки нерастворимых соединений на золоте. Такие же нерастворимые плёнки даёт $\text{Pb}(\text{CN})_2$, ксантогенаты золота, пероксиды кальция.

Крупное золото плохо цианируется, для его извлечения в цикле измельчения используются гравитац. методы (отсадка, центробежные аппараты) с последующей амальгамацией либо цианированием гравитац. концентратов. Кроме сорбции на анионитах для извлечения золота из растворов применяют осаждение (цементацию) цинковой пылью и активир, углём. Платиновые металлы отделяют от золота при его электролизе (платина и палладий концентрируются в электролите, родий, иридий, рутений — в анодных шлаках).

При рудоподготовке широко применяется самоизмельчение руды и совмещение измельчения с Ц., цианирования — с сорбцией (сорбционное выщелачивание). В последние годы процесс приобрел большое значение в связи с технологией извлечения золота и серебра из сплавов электронного скрапа. С процессами выщелачивания тесно связано химическое растворение солей (иногда подземное). Удаление вредных примесей, например, окислов железа при обогащении фосфатов, кварцевых песков, калийных удобрений. Выщелачивание является первой стадией гидрометаллургии, в результате которой получают металлы выделением их из растворов методами экстракции, осаждения электролиза, сорбции и др.

Впервые способами гидрометаллургии извлекали медь из руд м-ния Рио-Тинто (Испания) в 16 в. Позднее были разработаны и внедрены гидрометаллургич. способы получения мн. др. металлов: платины (1827), никеля (1875), алюминия из бокситов — в России (1892), золота — в Новой Зеландии (1889), цинка — в Канаде и США (1914) и др.

В СССР гидрометаллургич. методы применяли в произ-ве Al , Zn , Si , Ni , Co , Cd , U , редких и драгоценных металлов. Более 20% произ-ва Si , 50—70% Zn и Ni , 100% Al , Cd , Co получают гидрометаллургией. По сравнению с пирометаллургическими процессами гидрометаллургия существенно меньше загрязняет атмосферу.

Варьируя условия выщелачивания, получают разл. степени окисления металлов, воздействуют на скорость и пределы растворимости их соединений. Так, соли Fe^{2+} , Cr^{3+} , Al^{3+} при высоких темп-рах образуют малорастворимые соединения (гидролитич. очистка), а

Fe , Ni , Co , Zn , Cd остаются в растворе; оксиды U (IV) и Mo (IV) , в отличие от U (VI) и Mo (VI) , малорастворимы. Регулируя условия окисления сульфидной серы, можно при выщелачивании получить её в элементарной форме или в виде серной к-ты и её солей.

При электролитическом выделении Cu , Ni , Pb и др. На катоде, электроположительные примеси остаются в шламе электродных ванн: Au , Ag , Pt , Bi , Se , Te , As и др. После отделения металлосодержащего раствора и промывки хвостов на фильтрах или в сгустителях осаждают компоненты, мешающие последующим операциям либо загрязняющие продукт (напр., избыток железа в медном электролите увеличивает расход энергии, хотя и не ухудшает состав катодной меди, присутствие Si , Ge . Co в цинковом электролите исключает выделение цинка на катоде). Очистка растворов от нек-рых примесей позволяет сконцентрировать их в осадках и затем извлечь в товарной форме (Co в произ-ве никеля, Cd в произ-ве цинка). При выщелачивании бедного сырья получают разбавленные растворы, непригодные для непосредств. получения товарных металлов по техн. или экономич. поводам. В таких случаях применяют разл. способы концентрирования и предварит. разделения металлов из растворов (напр., цементация металлич. железом меди с последующей флотацией её — метод Мостовича; из неочищ. растворов, отделённых от хвостов выщелачивания окисленных никелевых руд, никель и кобальт осаждают сероводородом в автоклавах). В произ-ве урана, меди, золота и др. металлов используют концентрирование сорбцией на ионообменных смолах; сорбированные металлосодержащие ионы десорбируются (элюируются) небольшим объёмом элюанта с получением концентрированных растворов. Сорбция может быть совмещена с выщелачиванием.